

**ANALISIS LIMPASAN PERMUKAAN DAN TINGKAT
EROSI PADA BEBERAPA KELAS LERENG DI BAWAH
TEGAKAN PINUS**

**ANALYSIS OF SURFACE RUNOFF AND EROSION
LEVEL ON SEVERAL SLOPE CLASSES UNDER PINE
STAND**

ROSMAENI



**SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2018**

**ANALISIS LIMPASAN PERMUKAAN DAN TINGKAT
EROSI PADA BEBERAPA KELAS LERENG DI BAWAH
TEGAKAN PINUS**

Disertasi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Doktor

Program Studi

Ilmu Pertanian

Disusun dan diajukan oleh

ROSMAENI

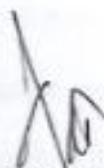
P0100314402

Kepada

**SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2018**

DISERTASI**ANALISIS LIMPASAN PERMUKAAN DAN TINGKAT EROSI
PADA BEBERAPA KELAS LERENG DI BAWAH TEGAKAN
PINUS**

Disusun dan diajukan oleh

ROSMAENI
Nomor Pokok P0100314402telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Disertasi
pada tanggal 16 Agustus 2018
dan dinyatakan telah memenuhi syaratMenyetujui
Komisi Penasihat,Prof. Dr. Ir. Daud Malamassam, M.Agr
PromotorProf. Dr. Ir. Hazairin Zubair, M.S
Ko-PromotorDr. Ir. Usman Arsyad, M.S
Ko-PromotorKetua Program Studi
Ilmu Pertanian,Prof. Dr. Ir. Darmawan Salman, M.SDekan Sekolah Pascasarjana
Universitas Hasanuddin,
Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, penulisan disertasi berjudul Analisis Limpasan Permukaan dan Tingkat Erosi pada Beberapa Kelas Lereng di Bawah Tegakan Pinus, atas pertolongan-Nya jualah dapat terselesaikan.

Terima kasih yang tak terhingga penulis haturkan kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Daud Malamassam, M.Agr, Prof. Dr. Ir. Hazairin Zubair, MS, dan Dr. Ir. Usman Arsyad, M.S., sebagai tim promotor atas arahan dan bimbingannya. Ucapan terima kasih pula kepada Tim Penguji yaitu Bapak Prof. Dr. Yusran Jusuf, S.Hut., M.Si., Prof. Dr. Ir. Iswara Gautama, M.Si., Prof. Dr. Ir. Samuel Arung Paembonan, M.Sc., dan Prof. Dr. Ir. Muchtar Salam Solle, M.Sc., PGD serta penguji eksternal Dr. Asikin Muchtar, M.Si. atas segala masukan, bimbingan dan nasihat dalam rangka perbaikan disertasi ini.

Selanjutnya kami menyampaikan banyak terima kasih kepada Rektor, Pembantu Rektor, Dekan dan Wakil Dekan Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin, Ketua Program Studi Ilmu Pertanian Universitas Hasanuddin, juga terima kasih kepada Bapak Rektor Universitas Sulawesi Barat serta Dekan Fakultas Pertanian dan Kehutanan Universitas Sulawesi Barat.

Kepada Ayahanda Muhammad Nur dan Ibunda Ruhaedah tercinta, mertua Bapak Nadjamuddin (alm). dan Ibu St. Marnah Pase, ananda persembahkan karya ini, semoga jerih payah, bimbingan dan pengorbanannya selama ini mendapat rahmat dan menjadi amal jariyah di

sisi-Nya. Teristimewa kepada suami tercinta Dr. Mursyid SP. MM., dan ananda Adillah Zhilalun Niswah, saya ucapkan terima kasih atas segala dorongan, pengertian, ketabahan dan kesabarannya selama saya menuntut ilmu.

Terima kasih kepada Bapak Baharuddin, S.Pd., M.Pd., Ibu Prof. Dr.Sutinah Made, M.Si, Ibu Dr. Astuti Arif, S.Hut., M.P, kepada adik-adik penulis, dan juga kepada semua pihak yang telah membantu, namun tidak dapat disebutkan satu per satu, semoga bantuannya mendapat pahala di sisi Allah SWT.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari sempurna, namun demikian semoga dapat menjadi bagian kecil kontribusi bagi berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi di masa yang akan datang terutama dalam penemuan jenis pohon kehutanan yang lebih efektif dalam pengendalian limpasan permukaan dan erosi pada lahan-lahan yang kritis.

Makassar, 16 Agustus 2018

Penulis

ABSTRAK

ROSMAENI. *Analisis Limpasan Permukaan dan Tingkat Erosi pada Beberapa Kelas Lereng di Bawah Tegakan Pinus* (dibimbing oleh **Daud Malamassam, Hazairin Zubair dan Usman Arsyad**).

Tujuan penelitian untuk menganalisis efektivitas tegakan pinus dalam mengendalikan limpasan permukaan dan tingkat erosi pada lahan dengan kemiringan lereng $>40\%$, membandingkan limpasan permukaan dan tingkat erosi pada kemiringan lereng $>40\%$ dengan lereng $\leq 40\%$.

Penelitian ini dilakukan mulai bulan Nopember 2016 sampai Maret 2017. Dilakukan di bawah tegakan *Pinus merkusii* hutan Pendidikan UNHAS Kabupaten Maros. Pengukuran limpasan permukaan dilakukan dengan memasang plot berukuran panjang 22 x 4 m pada lereng $<40\%$ dan $>40\%$ masing-masing 3 ulangan. Bagian bawah plot dipasang 3 buah alat penampung berkapasitas 50 liter. Pengamatan limpasan permukaan diambil setiap kejadian hujan, sebanyak 39 kali hujan. Rata-rata volume limpasan permukaan diperoleh dengan menjumlahkan volume tertampung pada 3 bak penampung, kadar suspensi diperoleh dengan cara mengeringkan air limpasan dalam oven suhu 105° . Selanjutnya dihitung erosi aktual (gr) dengan mengalikan total volume limpasan (m^3/plot) dengan kadar suspensi (gr/m^3).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata limpasan permukaan pada lereng $<40\%$ $0,012 m^3/\text{plot}$ dan $0,014 m^3/\text{plot}$ lereng $>40\%$. Rata-rata erosi pada lereng $<40\%$ sebesar $36,74 g/\text{plot}$ atau $0,004 \text{ ton}/\text{ha}/\text{th}$, dan $54,94 g/\text{plot}$ atau $0,006 \text{ ton}/\text{ha}/\text{th}$ pada lereng $>40\%$. Hasil uji beda 2 rata-rata dengan selang kepercayaan 95%, tidak ada perbedaan rata-rata limpasan pada lereng $<40\%$ dan $>40\%$ dan pada erosi terdapat perbedaan untuk lereng $<40\%$ dan $>40\%$. Akan tetapi ketika terjadi peningkatan penutupan maka erosi menjadi lebih kecil meskipun pada lereng di atas 40%. Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa penutupan dapat mengendalikan limpasan permukaan dan erosi.

Kata Kunci: Limpasan Permukaan, Erosi, Intensitas Hujan, Lereng, Tegakan Pinus.

ABSTRACT

ROSMAENI. Analysis of Surface Runoff and Erosion Level on Several Slope Classes under Pine Stand (supervised by **Daud Malamassam, Hazairin Zubair** and **Usman Arsyad**).

The aim of the study was to analyze the effectiveness of pine stands in controlling surface runoff and the rate of erosion on land with a slope >40%, comparing surface runoff and erosion rate on slope >40% by slopes <40%.

This research was conducted from November 2016 - March 2017. It was carried out under the Pine stands on UNHAS Education Forest in Maros Regency. Surface runoff measurements were carried out by installing plots measuring 22 x 4 m on slopes <40% and >40% respectively for 3 replications. The bottom of the plot is installed with 3 pieces of 50 liter capacity storage. Observation of surface runoff is taken every time of rain, as many as 39 times rain. The average surface runoff volume is obtained by summing the volume collected in 3 reservoirs, the suspension level obtained by drying runoff water in the oven at 105⁰. Then the actual erosion (g) is calculated by multiplying the total runoff volume (m³ / plot) with the suspension level (g/m³).

The results showed that the average surface runoff on slopes <40% ie 0.012 m³/plot and 0.014 m³/plot on slope >40%. The average erosion on slopes <40% was 36.74 g/plot or 0.004 tons/ha/year, and 54.94 g/plot or 0.006 tons/ha/year on slopes >40%. The results of the difference test were 2 on average with a 95% confidence interval, there was no difference in the average runoff on slopes <40% and >40% and on erosion there were differences for slopes <40% and >40%. However, when there is an increase on canopy cover, erosion becomes smaller even though the slope is above 40%. Regression analysis results show that canopy cover can control surface runoff and erosion.

Keywords: Surface runoff, erosion, rain intensity, slope, pine stand.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK.....	vi
ABSTRAC.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	8
C. Tujuan Penelitian	8
D. Kegunaan	9
E. Ruang Lingkup Penelitian.....	10
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Limpasan Permukaan	12

B. Erosi.....	16
C. Mengenal Pohon Pinus.....	28
D. Intersepsi	33
E. Kawasan Hutan Lindung	35
F. Kerangka Pikir.....	42
G. Hipotesis	44
BAB III. METODOLOGI	
A. Waktu dan Tempat	45
B. Bahan dan Alat	49
C. Analisis Data	50
D. Defenisi operasional	52
BAB V. PENUTUP	
A. Kesimpulan	82
B. Saran	83
DAFTAR PUSTAKA	84

DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
1.	Skor setiap kelas kelerengan sesuai SK Mentan Nomor 837/Kpts/Um/11/80 (diolah).....	39
2.	Skor setiap kelas jenis tanah sesuai SK Mentan Nomor 837/Kpts/Um/11/80 (diolah).....	39
3.	Skor setiap kelas curah hujan sesuai SK Mentan Nomor837/Kpts/Um/11/80 (diolah).....	40
4.	Analisis regresi hubungan antara limpasan permukaan dengan intensitas, permukaan dengan intensitas, penutupan dan kemiringan(dummy).....	55
5.	Analisis regresi hubungan antara limpasan permukaan dengan intensitas curah hujan, penutupan, kemiringan, Z.intensitas, Z.penutupan pada lereng di bawah 40% dan di atas 40%	56
6.	Analisis regresi hubungan antara erosi dengan intensitas, penutupan dan kemiringan(dummy)	62
7.	Analisis regresi hubungan antara erosi dengan intensitas curah hujan, penutupan, kemiringan (Z, Z.intensitas, Z.penutupan pada lereng di bawah 40% dan di atas 40%	62

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
1.	Kerangka Pikir Penelitian	43
2.	Plot Erosi	48
3.	Grafik hubungan intensitas hujan dengan volume limpasan permukaan pada lereng <40% dan >40%	57
4.	Grafik hasil uji lanjut hubungan intensitas hujan terhadap limpasan pada lereng < 40% dan > 40%.....	58
5.	Grafik hubungan penutupan dengan volume limpasan Permukaan pada lereng <40% dan >40%	59
6.	Grafik hasil uji duncan hubungan penutupan terhadap limpasan pada lereng < 40% dan > 40%.....	60
7.	Rata-rata nilai volume limpasan permukaan pada lereng < 40% dan > 40%	61
8.	Grafik hubungan intensitas hujan dengan erosi pada lereng <40% dan >40%.....	64
9.	Grafik hasil uji duncan hubungan intensitas hujan dengan erosi pada lereng < 40% dan > 40%.....	65
10.	Grafik hubungan penutupan dengan erosi pada lereng <40% dan >40%	66
11.	Grafik hasil uji duncan hubungan penutupan dengan erosi pada lereng < 40% dan > 40%.....	67
12.	Rata-rata nilai erosi pada lereng di bawah 40% dan lereng di atas 40%.....	68

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Teks	Halaman
1.	Tabel regresi hubungan lereng(Z), intensitas hujan dan penutupandenganlimpasan permukaan.....	94
2.	Tabel total rata-rata limpasan permukaan Lereng <40% dan >40%.....	94
3.	Tabel Independent Samples T Test (uji beda 2 rata-rata) limpasan pada lereng < 40% dan > 40%.....	94
4.	Tabel uji duncan hubungan intensitas dengan limpasan pada lereng < 40% dan > 40%.....	94
5.	Tabel uji duncan hubungan penutupan dengan limpasan permukaan pada lereng <40% dan >40%	95
6.	Grafik hubungan curah hujan dengan limpasan permukaan pada lereng < 40% dan > 40%.....	95
7.	Tabel regresi hubungan lereng (Z), intensitas dan penutupan dengan erosi.....	95
8.	Tabel total rata-rata erosi pada lereng < 40% dan > 40%.....	96
9.	Tabel Independent Samples T Test (uji beda 2 rata-rata) erosi pada lereng < 40% dan > 40%.....	96
10.	Tabel uji duncan pengaruh intensitas terhadap erosi pada lereng <40% dan >40%	96
11.	Tabel uji duncan pengaruh penutupan terhadap erosi pada lereng < 40% dan > 40%.....	97
12.	Diagram hasil uji duncan erosi pada setiap plot dan kemiringan.....	97
13.	Grafik hubungan curah hujan dengan erosi pada lereng <40% dan >40%.....	98

14. Diagram hasil uji beda nyata hubungan curah hujan dengan erosi pada lereng < 40% dan > 40%.....	98
15. Tabel Rata-rata limpasan berdasarkan intensitas hujan pada lereng < 40% dan > 40%	99
16. Tabel Rata-rata erosi berdasarkan intensitas hujan pada lereng < 40% dan > 40%	99
17. Inventarisasi tegakan disekitar plot >40%	100
18. Inventarisasi pohon <40%	101
19. Hasil analisis sifat fisik tanah, persentasi penutupan tajuk, panjang lereng, ketebalan serasah pada lereng <40% dan >40%	102
20. Peta lokasi penelitian	103
21. Gambar plot	103
22. Gambar pembuatan plot dan pengamatan	106
23. Gambar analisis laboratorium	107
24. Penutupan tajuk plot 1 lereng <40%	108
25. Penutupan tajuk plot 2 lereng <40%	109
26. Penutupan tajuk plot 3 lereng <40%	110
27. Penutupan tajuk plot 1 lereng >40%	111
28. Penutupan tajuk plot 2 lereng >40%	112
29. Penutupan tajuk plot 3 lereng >40%	113

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Deforestasi hutan yang terus terjadi di Indonesia menyebabkan menurunnya kualitas dan kuantitas tutupan lahan. Pada tahun 1950 daratan Indonesia tertutupi hutan primer dan sekunder termasuk seluruh tipe perkebunan sebesar 162 juta ha. Tahun 1985 tutupan hutannya menjadi 119 juta ha. Terjadi penurunan sebesar 27 persen. Ketika pemerintah dan Bank Dunia pada tahun 1999 bekerjasama melakukan pemetaan ulang, laju deforestasi rata-rata dari tahun 1985-1997 mencapai 1,7 juta ha. Selama periode tersebut Sulawesi, Sumatera, dan Kalimantan mengalami deforestasi terbesar. Secara keseluruhan daerah ini kehilangan lebih dari 20 persen tutupan hutannya (Fakhturrahman W, 2012).

Periode tahun 2000-2009, luas hutan Indonesia yang mengalami deforestasi adalah sebesar 15,16 juta ha. Pulau Kalimantan menjadi daerah penyumbang deforestasi terbesar yaitu sekitar 36,32 persen atau setara dengan 5,50 juta ha. Deforestasi juga terjadi di Hutan Lindung kawasan yang seharusnya dilindungi dari kegiatan ekstraksi kayu. Luas hutan lindung yang mengalami deforestasi adalah 2,01 juta ha (FWI, 2011).

Indonesia adalah negara yang memiliki tingkat kehancuran hutan tercepat, setara dengan 300 lapangan sepak bola setiap jamnya, ini tercatat dalam buku Rekor Dunia Guinness (Anggilia, 2011). Indonesia termasuk satu diantara 10 negara yang mengalami kehilangan hutan tropis tercepat di dunia (FWI, 2001). Penyebab deforestasi hutan diantaranya sistem hak pengusahaan hutan (HPH), kebakaran hutan, illegal logging dan alih fungsi atau konversi menjadi lahan perkebunan (Kartodihardjo dan Supriono, 1999 ; Departemen Kehutanan, 2007; Alamendah 2010 ; Ekadinata *et al*, 2011 ; Zulkarnain dan Widayati, 2015).

Hilangnya tutupan hutan ini mengakibatkan menurunnya daya kemampuan hutan untuk menjalankan fungsi ekologisnya (Foley, 2005). Hal ini akan menimbulkan dampak pada lingkungan yang serius. Diantaranya adalah perubahan iklim, berkurangnya keanekaragaman hayati, ketersediaan sumberdaya air, meningkatnya limpasan permukaan yang berakibat pada terjadinya erosi dan banjir.

Besar-kecilnya limpasan permukaan dan erosi sangat erat kaitannya dengan kondisi tutupan lahan atau bentuk penggunaan lahan. El Kateb, *et al.*, (2013) menyatakan bahwa limpasan permukaan pada bentuk penggunaan lahan yang bukan hutan jauh lebih tinggi bahkan dapat mencapai empat kali lebih tinggi dari pada limpasaan permukaan yang terjadi pada lahan yang berpenutupan hutan.

Perubahan tutupan lahan menjadi hutan akan mengubah respon hidrologi (Suryatmojo, *et al.*, 2013), selain karena evapotranspirasi yang

tinggi, hutan juga akan menginfiltrasi presipitasi dalam porsi yang lebih banyak. Kanopi pepohonan (hutan) dapat mengurangi energi kinetik air hujan yang jatuh ke permukaan tanah, sementara akar pohon dapat meningkatkan ketahanan tanah terhadap daya perusak berupa pukulan air hujan. Lahan yang masih berpenutupan vegetasi hutan rapat, tingkat erosi tidak signifikan meskipun memiliki kemiringan lereng dan curah hujan tinggi. Bahkan dianggap kedua faktor tersebut tidak memberi pengaruh terhadap besaran erosi. Tegakan hutan sangat penting dalam mengendalikan erosi (Razafindrabe, *et al.*, 2010).

Selain karena vegetasi, faktor kemiringan lereng pun menjadi penyebab meningkatnya limpasan permukaan dan erosi (Nanko, 2006). Apabila tekuk lereng semakin besar maka koefisien aliran dan daya angkut meningkat, kestabilan tanah dan kestabilan lereng menurun, erosi percik meningkat dan perpindahan material tanah akan lebih besar (Zachar, 1982). Faktor kemiringan lereng tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya erosi dan limpasan permukaan jika vegetasi penutup tanah menjadi lebih dominan (Ispriyanto, *et al.*, 2001). Erosi akan semakin berkurang seiring dengan semakin meningkatnya kerimbunan tanaman, jika kerimbunan tanaman penutup >70% tanah yang tererosi mendekati nol (Zuazo, 2009 ; Gunawan dan Kusminingrum, 2015).

Mempertahankan dan atau membangun hutan kembali, khususnya pada lahan-lahan yang memiliki tingkat kemiringan lereng yang tinggi,

merupakan jawaban untuk mengendalikan limpasan permukaan dan laju peningkatan erosi yang berimplikasi lanjutan pada penurunan kualitas lahan. Sehubungan dengan itu, berbagai upaya terus dilakukan untuk membangun kembali hutan antara lain melalui program-program penanaman yang dikenal dengan nama reboisasi, penanaman sejuta pohon, Pekan Penghijauan dan Gerakan Nasional Rehabilitasi Hutan dan Lahan. Khusus di Sulawesi Selatan, program reboisasi skala besar, dalam rangka penanggulangan lahan-lahan kritis di kawasan hutan, sudah digalakkan sejak awal tahun 70-an dengan jenis yang paling banyak digunakan adalah *Pinus merkusii*.

Kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa laju pertambahan lahan kritis, cenderung tidak terimbangi oleh tingkat keberhasilan pembangunan hutan kembali, sebagai akibat dari tingginya tingkat kebutuhan lahan untuk aneka kepentingan. Pemenuhan kebutuhan lahan termaksud menjadikan kawasan hutan sebagai sasaran utamanya, termasuk kawasan hutan lindung. Banyak kasus, pemenuhan kebutuhan tersebut tidak lagi memperhatikan daya dukung lahan hutan yang bersangkutan, baik yang terjadi secara legal maupun yang dilakukan secara tidak legal.

Terdapat dua hal yang bisa dikatakan sebagai penyebab utama dari kerusakan hutan lindung. Pertama; adanya Hak Pengusahaan Hutan (HPH) yang tidak lagi mematuhi peraturan dalam pengelolaan hutan. Kedua; Penambangan di kawasan hutan lindung yang masih kontroversi.

Undang-undang No.41 Tahun 1999, melarang adanya kegiatan penambangan di kawasan lindung, akan tetapi disisi lain terdapat Keputusan Presiden Republik Indonesia No.41 Tahun 2004 tentang perizinan atau perjanjian dibidang pertambangan yang berada di kawasan hutan. Keputusan ini seakan-akan memberi ruang atau kebolehan adanya aktivitas penambangan mineral di kawasan hutan. Tentunya hal ini bertentangan dengan kaidah konservasi dan sangat mengganggu kelestarian SDA dan lingkungan. Menurut UU Nomor 41 tahun 1999 tentang Kehutanan pasal 6 (2) bahwa pemerintah menetapkan hutan berdasarkan fungsi pokok yaitu fungsi konservasi, fungsi lindung, dan fungsi produksi. Pasal 19 ayat (1) UU No.41 Tahun 1999 tentang kehutanan, menyatakan perubahan peruntukan dan fungsi kawasan hutan ditetapkan oleh pemerintah dengan di dasarkan pada hasil penelitian terpadu.

Zulkarnain dan Widayati (2015) menyatakan bahwa penetapan kawasan hutan dengan kriteria lereng, jenis tanah, dan curah hujan tidak dapat dijadikan dasar sebagai kriteria dalam menetapkan kawasan hutan lindung. Menurutnya kriteria utama yang dapat dipergunakan dalam menetapkan kawasan hutan adalah adanya perhitungan komunitas pepohonan sebagai pembentuk hutan. Menurut hemat kami, faktor komunitas pepohonan belum cukup dijadikan acuan untuk menetapkan kawasan lindung, harus tetap mempertimbangkan aspek lereng. Hanya saja standar lereng mulai 40% ini perlu ada peninjauan ulang. Fakta

dilapangan menunjukkan bahwa sudah banyak bagian kawasan hutan yang memiliki kemiringan di atas 40% juga dieksploitasi dan dikonversi menjadi peruntukkan lain. Hal ini mengundang sebuah pertanyaan mendasar apakah angka 40% ini akan tetap menjadi acuan dasar dalam upaya membangun semua bagian kawasan hutan yang memiliki kemiringan lereng di atas 40% agar berpenutupan hutan, dengan fungsi pokok sebagai kawasan hutan lindung. Ataukah seharusnya realistis untuk mengatakan bahwa batasan angka tersebut sebaiknya ditinjau untuk selanjutnya menentukan batasan yang lebih mungkin diterapkan di lapangan.

Mendasari jawaban terhadap pertanyaan tersebut diperlukan adanya dukungan data dan informasi yang mampu membuktikan adakah perbedaan antara limpasan dan tingkat erosi pada lahan yang memiliki kemiringan lereng di bawah 40% dengan yang di atas 40%. Data dan informasi tersebut selain dipengaruhi oleh kemiringan lereng, juga dipengaruhi oleh penutupan. Oleh karena itu diperlukan adanya keterangan lebih jauh tentang signifikansi perbedaan tingkat limpasan permukaan dan erosi pada kedua kategori kemiringan lereng dengan tipe penutupan vegetasi yang teridentifikasi.

Salah satu tipe penutupan vegetasi hutan yang patut dipertimbangkan untuk kepentingan tersebut adalah *Pinus merkusii*. Hal ini didasari dengan pertimbangan bahwa sejak awal tahun 70-an jenis ini telah banyak dikembangkan sebagai tanaman reboisasi, khususnya di

Sulawesi Selatan, sebagaimana telah dikemukakan pada bagian terdahulu. Berdasarkan catatan yang ada, jenis ini telah digunakan sebagai tanaman reboisasi sejak jaman pemerintahan kolonial Belanda, terutama di Pulau Jawa. Jenis ini tercatat memiliki potensi sebagai pengendali erosi dan tanah longsor karena memiliki intersepsi yang tinggi, perakaran yang dalam, evapotranspirasi yang tinggi, mengikat tanah, dan pohonnya tidak terlalu berat atau ringan, dan produk utama yang bukan berupa kayu (Daniel, *et al.*, 1995; Pudjiharta, 2005).

Perkembangan selanjutnya, timbul kontroversi di masyarakat terkait dengan peranan jenis pinus sebagai pengatur tata air. Pendapat pertama mengatakan bahwa pinus telah menyebabkan kekeringan di musim kemarau karena pinus mengonsumsi banyak air. Sementara pendapat kedua mengatakan pinus dapat menyimpan air di musim penghujan dan mengalirkannya di musim kemarau. Pujiharta (2005) menyarankan agar pinus ditanam pada daerah dengan curah hujan di atas 3.000 mm/tahun sehingga tidak perlu dikhawatirkan terjadi kekeringan atau kehilangan ketersediaan air tanah pada musim kemarau akibat konsumsi air yang tinggi oleh pinus.

Bertolak dari uraian tersebut, maka diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menjelaskan tentang peranan pinus dalam mengurangi limpasan permukaan, pada satu pihak dan menurunkan laju dan tingkat erosi pada pihak lain. Penelitian termaksud secara khusus diperlukan pada lahan-lahan yang memiliki kemiringan lereng di atas 40%. Hal ini didasari

pertimbangan bahwa pada lahan-lahan yang menurut ketentuan yang berlaku seharusnya dikelola sebagai kawasan lindung termaksud, banyak dijumpai tanaman pinus, terutama di wilayah Sulawesi Selatan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang maka dapat dirumuskan masalah penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana efektivitas tegakan pinus dalam mengendalikan limpasan permukaan pada lahan dengan kemiringan lereng $>40\%$
2. Adakah perbedaan nyata antara limpasan permukaan pada kelas kemiringan lereng $>40\%$ dan $\leq 40\%$ di bawah tegakan pinus.
3. Bagaimana efektivitas tegakan pinus dalam mengendalikan erosi pada lahan dengan kemiringan lereng $>40\%$.
4. Adakah perbedaan nyata antara tingkat erosi pada kelas kemiringan lereng $>40\%$ dan $\leq 40\%$ di bawah tegakan pinus.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Menganalisis efektivitas tegakan pinus dalam mengendalikan limpasan permukaan pada lahan dengan kelas kemiringan lereng $>40\%$
2. Membandingkan limpasan permukaan yang terjadi pada lahan dengan kelas kemiringan lereng $>40\%$ dengan yang terjadi pada lahan dengan kelas kemiringan lereng $\leq 40\%$, di bawah tegakan pinus.

3. Menganalisis efektivitas tegakan pinus dalam mengendalikan erosi pada lahan dengan kelas kemiringan lereng $>40\%$.
4. Membandingkan tingkat erosi pada lahan dengan kelas kemiringan lereng $>40\%$ dan pada kelas kemiringan lereng $\leq 40\%$, di bawah tegakan pinus.

D. Kegunaan Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat berguna sebagai sumber informasi bagi berbagai pihak yang terkait dengan pengelolaan hutan pinus khususnya untuk tujuan pengawetan tata air dan pengendalian erosi. Secara lebih spesifik hasil dari penelitian ini diharapkan dapat berimplikasi pada aspek-aspek berikut ini.

1. Ilmu Pengetahuan; hasil penelitian diharapkan dapat memperkaya informasi tentang limpasan permukaan dan besaran erosi yang terjadi pada berbagai tingkat kemiringan lereng sehingga diharapkan akan meningkatkan minat para pihak untuk lebih mengkaji dan merumuskan upaya-upaya pengendalian masalah limpasan permukaan dan erosi yang potensial terjadi pada berbagai kondisi tegakan.
2. Pembangunan; hasil penelitian diharapkan dapat berguna sebagai bahan pertimbangan dalam menetapkan penggunaan lahan yang optimal khususnya pemahaman terhadap penerapan pola pemanfaatan lahan pada kemiringan lereng tertentu sehingga tidak menimbulkan kerusakan tanah dan lingkungan.
3. Hasil penelitian ini (novelti) adalah akan menjadi rekomendasi dalam

peninjauan ulang terhadap kriteria penetapan kawasan lindung berdasar lereng mulai 40%.

E. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini berlokasi di hutan pendidikan UNHAS Bengo Kabupaten Maros. Dilakukan di bawah tegakan pinus pada dua kelas lereng yaitu lereng $< 40\%$ dan $> 40\%$.

Objek dari penelitian ini fokus pada pengukuran limpasan dan erosi dengan mempertimbangkan aspek lereng dan tegakan pinus. Data-data terkait yang diamati adalah curah hujan per kejadian hujan, intensitas hujan, lama hujan, sifat fisik tanah, kedalaman solum, ketebalan serasah, luas permukaan tajuk per plot, persentasi tutupan tajuk per plot, kondisi penutupan bawah tegakan.

Pengukuran limpasan dilakukan dengan membuat plot berukuran 22 m x 4 m. Plot erosi dipasang pada kemiringan antara 25-35% (miring-agak curam) untuk kelas lereng $< 40\%$ dan pada kemiringan antara 45-75% (curam - sangat curam) untuk kelas lereng $> 40\%$. Masing-masing kelas lereng terdiri atas 3 ulangan plot. Plot dipasang di bawah tegakan pinus umur 30 tahun dengan persentasi tutupan tajuk pinus yang tidak sama. Plot pada lereng $< 40\%$ memiliki tutupan tajuk pinus 32,95%, 77,27% dan 45,45%. Plot pada lereng $> 40\%$ memiliki tutupan tajuk pinus 53,41%, 55,68% dan 47,16%. Secara alami pohon akan tumbuh berbeda-beda meski dengan penanaman awal yang sama. Pertumbuhan pohon sangat dipengaruhi oleh kondisi tempat tumbuh. Hal ini akan berdampak

pada pertumbuhan cabang, ranting dan tajuk yang berbeda-beda pula.

Nilai erosi diperoleh dari air limpasan selanjutnya dianalisis di laboratorium, untuk memisahkan konsentrasi sedimen dari limpasan tersebut. Volume limpasan permukaan dihitung dalam satuan meter kubik dan besaran erosi aktual dihitung dalam satuan gram. Limpasan permukaan dan erosi akan dianalisis lanjut untuk melihat apakah terdapat perbedaan atau tidak pada lereng < 40% dan > 40%.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Limpasan Permukaan

Limpasan permukaan adalah aliran air yang mengalir di atas permukaan karena jenuhnya kapasitas infiltrasi tanah. Besarnya limpasan sangat bergantung pada curah hujan (Hartanto, *et al.*, 2003 ; Suryatmojo, *et al.*, 2013), intensitas curah hujan, keadaan penutupan tanah, topografi, jenis tanah. Faktor-faktor tersebut berpengaruh secara bersama-sama terhadap limpasan permukaan (Fang, *et al.*, 2015), jika faktor tersebut berdiri sendiri atau faktor tunggal maka akan memberikan hasil yang berbeda. Seyhan, (1977) dalam Setyowati, (2010) menyebutkan bahwa limpasan dipengaruhi oleh (1) faktor iklim terdiri dari intensitas, lama dan agihan presipitasi, suhu, kelembaban, radiasi matahari, kecepatan angin, dan tekanan udara, (2) tipe tanah, (3) penutupan atau vegetasi.

Keadaan vegetasi sebagai lapisan penutup permukaan tanah adalah faktor yang memengaruhi besar kecilnya air limpasan (Cerda, 1997). Perubahan tutupan lahan menjadi hutan akan mengubah respon hidrologi (Suryatmojo, *et al.*, 2013) dan terjadi perubahan evapotranspirasi. Hal tersebut akan memengaruhi output simpanan air yang menentukan aliran permukaan dan penyimpanan air tanah (Vertessy, 2001). Hubungan hutan terhadap limpasan permukaan adalah melindungi tanah dari pukulan air hujan secara langsung yang akan menghancurkan agregat-agregat tanah sehingga akan terjadi pemadatan tanah (Masnang, *et al.*, 2014). Partikel tanah yang hancur akan

menyebabkan penyumbatan pori tanah makro sehingga menghambat infiltrasi air tanah, akibatnya limpasan permukaan akan meningkat.

Selain itu pada vegetasi hutan terdapat banyak lapisan serasah yang akan menghambat aliran air di atas permukaan tanah sehingga mengalir dengan lambat (Doerr, 2000). Lapisan tajuk maupun serasah berupa ranting, daun, yang belum mengalami pelapukan di atas permukaan tanah, merupakan pelindung tanah terhadap energi kinetik butir-butir hujan. Tutupan serasah yang tebal berperan sebagai pelindung dalam menjaga sifat fisik tanah (Sginter *et al.*, 1979 dalam Slamet, 2015) dan mampu mengurangi proses terjadinya aliran permukaan untuk kejadian hujan yang sama (Slamet, 2015).

Selain faktor tutupan tanah, faktor topografi juga berpengaruh terhadap limpasan permukaan. Topografi paling banyak berpengaruh terhadap perubahan potensi air permukaan (Anna, 2014). Tingkat kemiringan lereng dianggap sebagai faktor penting yang memengaruhi jumlah aliran permukaan (Assouline 2006; Bracken dan Kirkby 2005; Moreno *et al.*, 2010). Semakin curam lereng menyebabkan aliran permukaan semakin tinggi (Liu, *et al.*, 1994; Wischmeier dan Smith, 1978 dalam Arsyad S, 2010) atau semakin tinggi tingkat kemiringan lereng semakin tinggi pula jumlah air hujan yang akan jatuh ke permukaan tanah dan selanjutnya akan menjadi limpasan permukaan. Apabila tekuk lereng semakin besar maka koefisien aliran dan daya angkut meningkat, kestabilan tanah dan kestabilan lereng menurun (Zachar, 1982).

Limpasan permukaan atau aliran permukaan merupakan bagian dari curah hujan yang mengalir diatas permukaan tanah menuju sungai, danau dan lautan (Sophocleus, 2002). Sifat aliran permukaan seperti jumlah atau volume, laju atau kecepatan, dan gejolak aliran permukaan menentukan kemampuannya dalam menimbulkan erosi. Proses limpasan terjadi apabila (1) Terdapat batas maksimum tanah untuk menyerap air yaitu adanya kapasitas infiltrasi yang bervariasi selama hujan berlangsung. (2) limpasan permukaan terjadi jika air hujan yang jatuh lebih besar dari pada kapasitas infiltrasi, sebaliknya Jika kapasitas infiltrasi lebih besar daripada intensitas hujan maka belum terdapat limpasan. (3) Curah hujan lebih (*excess rainfall*) akan mengisi cekungan-cekungan di permukaan tanah terlebih dahulu. (4) Setelah cekungan–cekungan di permukaan tanah terisi penuh maka limpasan akan terjadi.

Infiltrasi adalah peristiwa masuknya air ke dalam tanah melalui permukaan tanah secara vertikal. Banyaknya air yang masuk melalui permukaan tanah persatuan waktu dikenal laju infiltrasi. Nilai laju infiltrasi sangat tergantung pada kapasitas infiltrasi, yaitu kemampuan tanah untuk melewatkan air dari permukaan tanah secara vertikal (Suripin, 2004).

Model Horton adalah salah satu model infiltrasi yang terkenal dalam hidrologi. Horton mengakui bahwa kapasitas infiltrasi berkurang seiring dengan bertambahnya waktu hingga mendekati nilai yang konstant. Kapasitas infiltrasi secara umum akan tinggi pada awal terjadinya hujan, akan tetapi semakin lama terjadi hujan kapasitasnya akan mengalami

penurunan hingga mencapai titik konstan. Kapasitas infiltrasi bervariasi terhadap sifat alamiah tanah, antara lain porositas, kelembaban awal, dan topografi. Makin tinggi nilai kelembaban awal pada profil tanah, makin kecil laju infiltrasinya. Sifat-sifat tanah yang menentukan dan membatasi besarnya kapasitas infiltrasi tanah adalah struktur tanah yang sebagian besar ditentukan oleh tekstur tanah, pemadatan tanah dan sekelet tanah.

Perhitungan kapasitas infiltrasi dapat ditentukan dengan menggunakan model Horton;

$$f = f_c + (f_0 - f_c) e^{-kt}$$

dimana f adalah kapasitas infiltrasi pada sembarang waktu, f_0 adalah kapasitas infiltrasi awal pada $t = 0$, f_c adalah kapasitas infiltrasi setelah mencapai harga konstan, k adalah konstanta positif yang bergantung pada tanah dan tumbuhan penutup tanah, t adalah waktu.

Infiltrasi dapat diukur dengan tiga cara yaitu:

- Inflow-outflow
- Analisis data hujan dan hidrograf
- Double ring infiltrometer

Ketiga cara tersebut yang paling sering digunakan pengukuran infiltrasi dilapangan yaitu dengan menggunakan double ring infiltrometer. double ring infiltrometer merupakan cara yang termudah dilakukan. Selain pengukuran yang mudah dilakukan juga bahan untuk membuat alatnya mudah dicari, inilah yang menjadi alasan mengapa cara ini paling sering dilakukan.

B. Erosi

1.1. Pengertian Erosi

Erosi adalah suatu peristiwa atau proses hilangnya lapisan tanah atas yang disebabkan oleh pergerakan air, es, angin dan gravitasi (Chow 1964 ; Sarief, 1986 ; Rahim, 2006; Manan, (1976); Zachar, 1982). Di daerah-daerah tropis seperti di Indonesia dengan rata-rata curah hujan melebihi 1500 mm per tahun maka air merupakan penyebab utama terjadinya erosi (Suripin, 2004). Wischmeier dan Smith (1958) dalam Arsyad (2010) mengemukakan bahwa energi kinetik hujan memengaruhi erosi. Dapat dijelaskan bahwa interaksi energi kinetik hujan dan intensitas maksimum selama 30 menit (EI_{30}) berkorelasi sangat erat terhadap erosi.

Berkurangnya lapisan tanah bagian atas bervariasi tergantung pada tipe erosi dan besarnya variabel yang terlibat dalam proses erosi. Empat faktor utama dianggap terlibat dalam proses erosi yaitu iklim, sifat tanah, topografi dan vegetasi penutup tanah. Oleh Wischmeier dan Smith (1975) dalam Asdak (2010) keempat faktor tersebut dimanfaatkan sebagai dasar untuk menentukan besarnya erosi tanah.

1.2. Pembagian Erosi

Erosi dapat dibedakan menjadi dua yaitu erosi normal dan erosi dipercepat. Menurut Chow (1964) erosi normal adalah erosi alami. Erosi yang dalam lingkungan alaminya tidak disebabkan oleh aktivitas manusia, yang termasuk adalah gravitasi, angin, dan salju.

Erosi dipercepat adalah pengangkutan tanah dengan laju yang jauh lebih cepat dari erosi normal dan lebih cepat dari pembentukan tanah yang menimbulkan kerusakan tanah sebagai akibat perbuatan manusia yang menghilangkan tumbuhan penutup tanah (Arsyad, 2010). Erosi dipercepat juga didefinisikan sebagai kerusakan permukaan oleh aktivitas manusia, seperti perubahan fungsi lahan, hilangnya pohon berkayu akibat penebangan dan pembakaran .

Erosi yang terjadi dapat pula dibedakan berdasarkan produk akhir yang dihasilkan dan karena kenampakan lahan akibat erosi itu sendiri:

1. Erosi percikan (*flash erosion*) yaitu yaitu erosi yang terjadi pada awal musim hujan (Rahim, 2006). Erosi ini ditandai dengan terlepasnya partikel-partikel tanah dari massa tanah akibat pukulan butiran air hujan secara langsung. Proses erosi percikan terdiri dari tiga tahap, yaitu (1) terjadinya penggemburan yang cepat pada permukaan tanah sehingga kohesinya menurun, akibatnya laju erosi percikan akan meningkat; (2) terjadinya pemadatan permukaan akibat pukulan butir air hujan sehingga terbentuk lapisan kerak (*crust*) tipis yang akan menurunkan jumlah partikel tanah yang terlempar ke udara dan meningkatkan akumulasi air permukaan; (3) terjadinya turbulensi aliran permukaan yang mampu mengangkut sebagian lapisan kerak pada permukaan tanah (Suripin, 2004).
2. Erosi aliran permukaan (*overland flow erosion*). Erosi ini akan terjadi hanya dan jika intensitas dan/atau lamanya hujan melebihi kapasitas

infiltrasi atau kapasitas simpan air tanah. Mengingat bahwa aliran permukaan terjadi tidak merata dan arah alirannya tidak beraturan, maka kemampuan untuk mengikis tanah juga tidak sama atau tidak merata untuk semua tempat.

3. Erosi alur (*rill erosion*) adalah pengangkutan tanah dari alur-alur tertentu pada permukaan tanah, yang merupakan parit-parit kecil dan dangkal. Erosi alur terjadi karena air mengalir di permukaan tanah tidak merata, tetapi terkonsentrasi pada alur tertentu, sehingga pengangkutan tanah terjadi tepat pada tempat aliran permukaan yang terkonsentrasi tersebut. Kecenderungan erosi alur ini terjadi lebih dipengaruhi oleh cara bertanam dan sifat fisik tanah.
4. Erosi parit (*gully erosion*). Proses terjadinya erosi ini sama dengan terjadinya erosi alur, tetapi alur yang terbentuk sudah demikian besarnya, sehingga tidak dapat lagi dihilangkan dengan pengolahan biasa. Erosi parit yang baru terbentuk berukuran sekitar 40 cm lebarnya dengan kedalaman sekitar 30 cm. Erosi parit yang sudah lanjut, dalamnya dapat mencapai 30 m (Arsyad, 2010).
5. Erosi tebing sungai (*stream bank erosion*) adalah erosi yang terjadi akibat pengikisan tebing oleh air yang mengalir dari bagian atas tebing atau oleh terjangan arus air sungai yang kuat terutama pada tikungan-tikungan. Erosi tebing akan lebih hebat jika tumbuhan penutup tebing telah rusak atau pengolahan lahan terlalu dekat dengan tebing (Suripin, 2004).

1.3. Faktor- Faktor yang Memengaruhi Erosi

Faktor yang memengaruhi erosi adalah iklim (curah hujan), topografi, penutupan vegetasi, jenis tanah, dan faktor campur tangan manusia (Ochoa, *et al.*, 2016). Erosi adalah akibat interaksi kerja antara faktor-faktor iklim, topografi, tumbuh-tumbuhan (vegetasi), dan manusia terhadap tanah (Fang, *et al.*, 2015 ; Arsyad, 2010). Menurut (Rahim, 2000) bahwa faktor-faktor yang memengaruhi erosi adalah:

1. Energi, yang meliputi hujan, air limpasan, angin, kemiringan dan panjang lereng.
2. Ketahanan; erodibilitas tanah (ditentukan oleh sifat fisik dan kimia tanah).
3. Proteksi, penutupan tanah baik oleh vegetasi atau lainnya serta ada atau tidaknya tindakan konservasi.

a. Iklim

Iklim merupakan faktor terpenting dalam masalah erosi sehubungan dengan fungsinya yaitu sebagai agen pemecah dan transpor. Faktor iklim yang memengaruhi erosi adalah hujan (Arsyad 1989). Banyaknya curah hujan, intensitas dan distribusi hujan menentukan dispersi hujan terhadap tanah, jumlah dan kecepatan permukaan serta besarnya kerusakan erosi. Curah hujan yang jatuh ke permukaan tanah mempunyai kekuatan yang sangat besar untuk memecahkan gumpalan-gumpalan tanah.

Kekuatan menghancurkan tanah disebabkan karena curah hujan jauh lebih besar dibandingkan dengan kekuatan mengangkut dari aliran permukaan (Hakim, *dkk*, 1986).

Angin adalah faktor lain yang menentukan kecepatan jatuh butir hujan. Angin selain sebagai agen transport dalam erosi di beberapa kawasan juga bersama-sama dengan temperatur, kelembaban dan penyinaran matahari berpengaruh terhadap evapotranspirasi, sehingga mengurangi kandungan air dalam tanah yang berarti memperbesar kembali kapasitas infiltrasi tanah.

Intensitas hujan yang tinggi akan memiliki energi yang besar dalam menghancurkan agregat tanah. Kecepatan aliran akan meningkat sejalan dengan semakin besarnya nilai dari kemiringan lereng dan daya angkut partikel – partikel tanah yang telah hancur akan semakin tinggi sehingga proses erosi semakin besar Banuwa (2001) dalam Martono (2004).

Hujan yang berlangsung singkat meskipun dengan intensitas sangat lebat tidak berpotensi menyebabkan terjadinya erosi yang besar karena curah hujan yang jatuh diatas permukaan tanah semuanya akan terinfiltrasi kedalam lapisan tanah. Hujan yang berlangsung singkat tidak akan sampai menyebabkan tanah menjadi jenuh air. Sebaliknya curah hujan dengan intensitas sedang jika berlangsung lama maka berpotensi terjadi erosi yang tinggi. Air hujan akan mengisi pori-pori tanah hingga jenuh, selanjutnya tanah akan terdispersi hingga partikel-partikel tanah tersebut semakin mudah terangkut oleh air limpasan (Lee, 1991).

Kehilangan tanah atau erosi secara signifikan berkorelasi dengan jumlah curah hujan (Zhang, *et al.*, 2018; Hartanto, *et al.*, 2003; Cao, *et al.*, 2015).

Energi hujan terdiri dari dua komponen yaitu energi potensial dan energi kinetik. Energi potensial timbul karena adanya perbedaan tinggi antara benda dan titik tinjau. Energi potensial didefinisikan sebagai hasil kali antara massa, beda tinggi dan percepatan gravitasi. Energi kinetik atau energi gerak merupakan energi yang berkaitan dengan massa dan kecepatan. Pada fenomena erosi tanah, energi potensial dikonversi menjadi energi kinetik (Morgan, 1988 dalam Suripin, 2004). Kekuatan erosif hujan hanya dinyatakan dalam energi kinetik saja, karena energi kinetik berkaitan erat dengan intensitas hujan.

Tumbukan air hujan yang langsung mengenai permukaan tanah akan menghancurkan struktur tanah, ikatan partikel tanah menjadi lemah, sehingga partikel-partikel tanah tersebut semakin mudah dipindahkan atau diangkut oleh air limpasan (Ghadir and D. Payne, 1988). Butir-butir hujan memiliki energi kinetik dengan kemampuannya menghancurkan gumpalan-gumpalan atau partikel-partikel tanah (Arsyad, 2010 ; Hakim, *dkk*, 1986). Energi kinetik merupakan energi yang terjadi ketika hujan jatuh ke permukaan tanah dengan kecepatan dan ukuran butir hujan tertentu menjadi penyebab utama dalam penghancuran agregat – agregat tanah (Suwarna, *et al.*, 2009).

b. Topografi

Kemiringan dan panjang lereng adalah dua faktor yang menentukan karakteristik topografi suatu daerah. Kedua faktor tersebut penting untuk terjadinya erosi karena faktor-faktor tersebut menentukan besarnya kecepatan dan volume air larian (Asdak, 1995). Unsur lain yang berpengaruh adalah konfigurasi, keseragaman dan arah lereng (Arsyad, 2010). Panjang lereng didefinisikan sebagai jarak dari titik awal alur atas lahan sampai ke titik dimana gradien lereng lainnya cukup menurun menandakan posisi mulai berubah (Wischmeier and Smith., 1978). Panjang lereng dihitung mulai dari titik pangkal aliran permukaan sampai suatu titik dimana air masuk ke dalam saluran atau sungai, atau dimana kemiringan lereng berkurang sedemikian rupa sehingga kecepatan aliran air berubah. Air yang mengalir di permukaan tanah akan terkumpul di ujung lereng dengan demikian akan lebih banyak air yang mengalir dan semakin besar kecepatannya di bagian bawah lereng dari pada bagian atas.

Suatu bagian lereng mendapat input bahan-bahan tanah yang dapat dierosikan dari lereng atas serta penghancuran tanah di tempat tersebut oleh pukulan curah hujan dan pengikisan aliran permukaan. Disamping itu terdapat output akibat pengangkutan tanah oleh curahan air hujan dan aliran pengangkutan tanah oleh curahan air hujan serta aliran permukaan bila total daya angkut dari air tersebut (curahan air hujan + aliran permukaan) lebih besar dari tanah yang tersedia untuk diangkut (total tanah yang dihancurkan), maka akan terjadi erosi. Sebaliknya bila

total daya angkut lebih kecil dari total tanah yang dihancurkan akan terjadi pengendapan di bagian lereng tersebut (Hardjowigeno, 1995).

Semakin panjang lereng dan tingkat kemiringan lereng maka kerusakan dan penghancuran tanah atau berlangsungnya erosi akan lebih besar (Assouline and M.B. Hur, 2006). Dimana semakin panjang lereng pada tanah akan semakin besar pula kecepatan aliran permukaan sehingga pengikisan terhadap bagian-bagian tanah makin besar (Kartasapoetra, 2000).

Menurut Pinczes (1981) bahwa parameter kelerengan yaitu sudut lereng dan energi lereng. Sudut lereng adalah sudut yang terbentuk terhadap bidang horizontal sedangkan Energi lereng adalah besarnya energi potensial yang dipengaruhi oleh topografi. Bentuk topografi seperti tekuk lereng yang besar akan sangat berpengaruh terhadap meningkatnya koefisien aliran dan daya angkut, kestabilan tanah dan kestabilan lereng menurun, menyebabkan erosi percikan meningkat dan perpindahan material tanah lebih besar (Zachar, 1982).

c. Vegetasi

Tanaman penutup tanah memainkan peran penting dalam peningkatan sifat fisik tanah (Bejarano, *et al.*, 2010). Vegetasi penutup tanah yang baik seperti hutan yang lebat dan rumput yang tebal dianggap efektif dalam menstabilkan tanah (Razafindrabe, 2010) serta akan menghilangkan pengaruh hujan dan topografi terhadap erosi. Tumbuhan yang berlapis dalam hutan berperan dalam menurunkan besarnya erosi.

Tumbuhan bawah merupakan stratum vegetasi terakhir yang akan menentukan besar kecilnya erosi percikan (Asdak, 2002).

Kanopi lahan hutan alami yang masih cukup lebat juga memungkinkan untuk menahan dan menyerap air lebih tinggi dibandingkan vegetasi di lahan campuran atau padang rumput yang sama sekali tidak ada vegetasi. Akibatnya aliran air tidak langsung mengikis permukaan tanah dan aliran air di permukaan tanah tertahan di vegetasi yang ada di lahan hutan tersebut (Lubis dan Rauf, 2003).

Pengaruh vegetasi terhadap erosi adalah (1) menghalangi air hujan agar tidak jatuh langsung di permukaan tanah, sehingga kekuatan untuk menghancurkan tanah sangat dikurangi. Hal ini tergantung dari kerapatan dan tingginya vegetasi. Makin rapat vegetasi yang ada, makin efektif mencegah terjadinya erosi, (2) menghambat aliran permukaan dan memperbanyak air infiltrasi, (3) penyerapan air ke dalam tanah diperkuat oleh transpirasi (penguapan air) melalui vegetasi (Hardjowigeno, 1995).

Vegetasi penutup tanah sangat berperan besar dalam mengendalikan laju erosi. Hutan dengan dominasi vegetasi berkayu dan struktur tajuk berlapis akan menahan dan mematahkan daya rusak setiap tetes air hujan yang mengenai bagian-bagian pohon pada hutan, mulai dari lapisan tajuk sampai ke lapisan serasah/permukaan tanah. Bagian air hujan yang tiba di permukaan tanah akan tertahan lebih dahulu pada lapisan serasah dan tanaman penutup tanah lainnya sebelum tiba dan masuk ke dalam tanah sehingga erosi akan semakin kecil.

Topic, *et al.*, (2008) mengemukakan bahwa Kanopi pohon pinus hitam berperan penting dalam melindungi tanah dari erosi. Demikian pula hasil-hasil penelitian erosi di hutan pinus di Hulu DAS Jeneberang oleh Wahyu (2006) dan Lias (2002) dalam Arsyad (2010) menemukan besaran erosi sebesar 7,76 ton/ha/th dan 24,45 ton/ha/th, ini lebih kecil dari nilai penelitian lahan berhutan jenis lain oleh Noviana (2005) yaitu 30,41 ton/ha/th. Artinya bahwa hutan pinus sangat efektif dalam mengendalikan erosi.

Membandingkan erosi yang terjadi pada hutan lebih kecil dibandingkan pada selain hutan. Oleh Lubis dan Rauf (2003) menemukan bahwa erosi potensial terbesar terjadi pada lahan campuran kopi, jeruk, cabai, kentang sebesar 6,564 ton/ha/th dan pada lahan campuran jagung, kopi, kayu manis dan serai sebesar 2,229 ton/ha/th sedangkan erosi potensial terkecil terjadi pada lahan hutan alami 0,029 ton/ha/th. Kepadatan pohon, tutupan kanopi, lapisan serasah, dan puing-puing kayu adalah faktor ekologis yang penting dalam menentukan erosi tanah (Hartanto, *et al.*, 2003).

d. Tanah

Arsyad (2010), menerangkan bahwa berbagai tipe tanah mempunyai kepekaan terhadap erosi yang berbeda-beda. Sifat-sifat tanah yang memengaruhi kepekaan erosi adalah (1) sifat-sifat tanah yang memengaruhi laju infiltrasi, permeabilitas (2) sifat-sifat tanah yang memengaruhi ketahanan struktur tanah terhadap dispersi dan pengikisan

oleh butir-butir hujan yang jatuh dan aliran permukaan. Sifat-sifat tanah yang memengaruhi erosi adalah tekstur, struktur, bahan organik, kedalaman solum, sifat lapisan tanah, dan tingkat kesuburan tanah.

Adanya bahan organik lantai hutan, seperti lapisan serasah dan ranting sangat penting dalam mencegah detasemen tanah. Lapisan serasah tersebut memberikan kekasaran permukaan, sehingga mengurangi limpasan dan gerakan partikel tanah (Hartanto, *et al.*, 2003).

Arsyad (2010) mengemukakan bahwa bahan organik yang telah mulai mengalami pelapukan mempunyai kemampuan menyerap dan menahan air yang tinggi. Kandungan bahan organik hutan yang tinggi yaitu sebesar 15,38% memiliki peran penting dalam erosi. Bahan organik dapat menyerap air sebesar dua sampai tiga kali beratnya, akan tetapi merupakan faktor kecil dalam pengaruhnya terhadap aliran permukaan. Pengaruh bahan organik dalam mengurangi aliran permukaan terutama berupa perlambatan aliran permukaan, peningkatan infiltrasi dan pematangan agregat tanah (Lubis K.S dan Rauf A, 2003).

Mengenai jenis tanah pada lokasi penelitian yaitu jenis tanah Dystrudepts adalah termasuk kedalam ordo Inceptisol, subordo Udepts, great group Dystrudepts, sub group Fluventic Dystrudepts dan famili Fluventic Dystrudepts berlempung kasar, campuran, isohipermetrik. Dystrudepts adalah tanah yang belum matang dengan perkembangan profil yang lebih lemah dibanding dengan tanah yang matang dan masih banyak menyerupai sifat bahan induknya. Dystrudepts yang terdapat di

daerah bertopografi datar solum yang terbentuk pada umumnya tebal, sedangkan pada daerah-daerah bertopografi curam solum yang terbentuk tipis. Warna tanah Dystrudepts beraneka ragam tergantung dari jenis bahan induknya. Dalam sistem taksonomi tanah, nama dys atau (fystr mempunyai arti tidak subur. Sifat tidak subur ditunjukkan oleh tanah tersebut bereaksi masam dengan kejenuhan basa yang rendah mengakibatkan ketersediaan unsur hara menjadi berkurang (<http://repository.unri.ac.id/> diakses 3 Agustus 2018).

e. Campur Tangan Manusia

Manusia dapat mencegah dan mempercepat terjadinya erosi, tergantung bagaimana manusia mengelolanya. Manusialah yang menentukan apakah tanah yang dihasilkannya akan rusak dan tidak produktif atau menjadi baik dan produktif secara lestari. Banyak faktor yang menentukan apakah manusia akan mempertahankan dan merawat serta mengusahakan tanahnya secara bijaksana sehingga menjadi lebih baik dan dapat memberikan pendapatan yang cukup untuk jangka waktu yang tidak terbatas (Arsyad, 2010).

C. Mengenal Tanaman Pinus

Pinus merkusii merupakan satu-satunya jenis pinus yang tumbuh asli di Indonesia. *Pinus merkusii* termasuk dalam jenis pohon serba guna yang terus menerus dikembangkan dan diperluas penanamannya pada masa mendatang untuk penghasil kayu, produksi getah, dan konservasi lahan. Hampir semua bagian pohonnya dapat dimanfaatkan, antara lain bagian batangnya dapat disadap untuk diambil getahnya. Getah tersebut diproses lebih lanjut menjadi gondorukem dan terpening. Gondorukem dapat digunakan sebagai bahan untuk membuat sabun, resin dan cat. Terpening digunakan untuk bahan industry parfum, obat-obatan, dan desinfektan. Hasil kayunya bermanfaat untuk konstruksi, korek api, pulp, dan kertas serat panjang. Bagian kulitnya dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar dan abunya digunakan untuk bahan campuran pupuk, karena mengandung kalium. Manfaat *Pinus merkusii* Jungh et De Vriese atau sering disebut tusam merupakan salah satu jenis pohon industri yang mempunyai nilai produksi tinggi dan merupakan salah satu prioritas jenis untuk reboisasi terutama di luar pulau Jawa.

1.1. Botani Pinus

Nama latin tanaman pinus adalah *Pinus merkusii* Jungh et de Vriese, termasuk suku Pinaceae. sinonim dengan *Pinus sylvestri* auct. Non. L, *Pinus sumatrana* Jung, *Pinus finlaysoniana* Blume, *Pinus latteri* Mason, *Pinus merkusii* var. *tonkinensis*, *Pinus merkusiana* Cooling dan Gaussen. Nama daerah : Damar Batu, Huyam, Kayu Sala, Sugi, Tusam (Sumatera),

Pinus (Jawa), Sral (Kamboja), Thong Mu (Vietnam), Tingyu (Burma), Tapusan (Filipina), Indochina Pine, Sumatra Pine, Merkus Pine (Amerika Serikat, Inggris) dan lain-lain (Harahap dan Izudin, 2002). Deskripsi *Pinus merkusii* Jungh et de Vriese pertama sekali ditemukan dengan nama tusam di daerah Sipirok, Tapanuli Selatan oleh seorang ahli botani dari Jerman - Dr. F. R. Junghuhn pada tahun 1841. Jenis ini tergolong jenis cepat tumbuh dan tidak membutuhkan persyaratan khusus.

Daunnya dalam berkas dua dan berkas jarum (sebetulnya adalah tunas yang sangat pendek yang tidak pernah tumbuh) pada pangkalnya dikelilingi oleh suatu sarung dari sisik yang berupa selaput tipis panjangnya sekitar 0,5 cm. Bunga jantan panjangnya sekitar 2 cm, pada pangkal tunas yang muda, tertumpuk berbentuk bulir. Bunga betina terkumpul dalam jumlah kecil pada ujung tunas yang muda, selindris, dan sedikit berbangun telur, kerap kali bengkok. Sisik kerucut buah dengan perisai ujung berbentuk jajaran genjang, akhirnya merenggang; kerucut buah panjangnya 7-10 cm. Biji pipih berbentuk bulat telur, panjang 6-7 mm, pada tepi luar dengan sayap besar, mudah lepas.

Tinggi pohon *Pinus merkusii* dapat mencapai 20-40 m dengan diameter 100 cm dan batang bebas cabang 2-23 m. Pinus tidak berbanir, kulit luar kasar berwarna coklat kelabu sampai coklat tua, tidak mengelupas dan beralur lebar serta dalam. Kayu pinus berwarna coklat-kuning muda, berat jenis rata-rata 0,55 dan termasuk kelas kuat III serta kelas awet IV. Pohon pinus berbunga dan berbuah sepanjang tahun,

terutama pada bulan Juli sampai November. Biji yang baik warna kulitnya kering kecoklatan, bentuk bijinya bulat, padat, dan tidak berkerut. Jumlah biji kering 57.900 butir per kg atau 31.000 butir/liter.

1.2. Peran ekologis pinus

Pinus (*Pinus merkusii*) merupakan satu-satunya pinus yang asli Indonesia (Harahap dan Aswandi, 2006). Pinus merupakan jenis pohon pionir berdaun jarum yang termasuk dalam famili Pinaceae. Secara alami, pohon pinus tumbuh di Aceh, Sumatera Utara, dan daerah Kerinci (Hendromono *et al.*, 2005). Pinus dapat tumbuh pada daerah dengan ketinggian 200-2.000 m dpl, dengan curah hujan antara 1.200 sampai lebih dari 3.000 mm per tahun (Hendromono *et al.*, 2006). Berdasarkan telaah dari berbagai hasil penelitian, dapat dirumuskan adanya beberapa karakter pinus yang berpotensi sebagai pengendali tanah longsor, yaitu :

1. Daun dan Tajuk Pinus Dapat Mengurangi Hujan Netto Melalui Proses Intersepsi

Penelitian yang dilakukan di Gunung Walat dari tahun 1999-2001, Mulyana *et al.*, (2002) dalam Pusat Pengembangan Sumberdaya Hutan Perhutani (2002) menyebutkan bahwa kehilangan air (curah hujan) akibat proses intersepsi dari hutan pinus adalah yang tertinggi (15,7%) dibandingkan hutan agathis (14,7%) dan puspa (13,7%).

Penelitian serupa yang dilakukan oleh Sudjoko *et al.*, (1998) di KPH Banyumas Timur dari tahun 1994-1997 menemukan bahwa intersepsi hutan pinus adalah sebesar 16-20%. Sementara itu penelitian yang dilakukan oleh Pudjiharta dan Salata (1989) *dalam* Pudjiharta (2005) menemukan bahwa total intersepsi dari hutan pinus umur 10-30 tahun berkisar antara 15-39,7%. Pengurangan jumlah hujan netto (jumlah curah hujan yang sampai pada tanah) melalui kemampuan intersepsi pada tanaman pinus, berarti dapat mengurangi jumlah air infiltrasi yang dapat menjadi beban atau faktor penggelincir dalam proses terjadinya longsor pada tanah-tanah miring.

2. Akar Pinus yang Panjang dan Dalam Dapat Memperkuat Tanah

Daniel *et al.* (1995) menyebutkan bahwa sistem perakaran pohon dewasa biasanya dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan, seperti tipe tanah, nutrisi, karakteristik drainase, dan keberadaan gambut, lempung, padas dan bahan organik. Distribusi perakaran merupakan fungsi dari spesies, umur pohon, lingkungan, dan unit ukuran pohon. Hal ini menunjukkan ada dua faktor utama yang mempengaruhi distribusi akar, yaitu genetik dan lingkungan.

Menurut Sutton (1969) *dalam* Hardiyatmo (2006) faktor lingkungan memberikan kontribusi yang lebih besar dalam perkembangan akar pepohonan. Distribusi akar pohon biasanya dinyatakan dengan pendekatan tinggi pohon dan jari-jari tajuk. Pada daerah dengan tanah pasir (tekstur kasar), akar pohon dapat menyebar hingga beberapa kali

tinggi rata-rata pohon. Untuk pohon pinus yang tumbuh di tanah pasiran, penyebaran akar dapat mencapai tujuh kali dari tinggi rata-rata pohonnya. Sementara itu, pada tanah lempungan (tekstur halus), akar pohon hanya menyebar satu setengah kali tinggi rata-rata pohon.

Hubungan faktor lingkungan lainnya terhadap perkembangan akar, juga ditunjukkan oleh sifat kesuburan tanah, di mana pada kondisi lapisan tanah atas yang subur dan ketersediaan hara sesuai dengan kebutuhan pohon, akar pohon akan cenderung menjadi dangkal karena distribusi akar lebih banyak berada pada lapisan ini. Sebagai pohon yang memiliki buah besar, pinus secara genetis memiliki perakaran tunggang yang dalam (Daniel *et al.*, 1995), sehingga akarnya dapat menembus lapisan yang kuat dan dalam. Meskipun telah dijelaskan bahwa distribusi atau kedalaman akar lebih dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, namun sifat genetis pinus tersebut tetap berpeluang tinggi dalam memperkuat tanah atau meningkatkan kekuatan tahanan geser tanah.

Indrajaya, *et.al.*,(2008) mengemukakan bahwa pada umumnya secara mekanis akar memiliki kemampuan untuk memperkuat tanah dan menambah kekuatan tahanan geser tanah, sehingga menguntungkan untuk stabilitas lereng atau menahan longsor. Makin dalam perakaran, makin bertambah kekuatan tahanan geser tanah atau makin tinggi kemampuan tanah untuk bertahan terhadap usaha perubahan bentuk pada kondisi tekanan dan kelembaban tertentu.

D. Intersepsi

Intersepsi merupakan salah satu komponen penting dalam daur hidrologi yang nilainya kecil dan terkadang sering diabaikan, namun memiliki dampak yang sangat besar bagi jenis tanaman tertentu (Chairani dan Jayanti, 2013 ; Munandar, *dkk.*, 2016). Intersepsi terjadi ketika air hujan yang jatuh pada vegetasi, tertahan beberapa saat, lalu menguap kembali ke atmosfer atau terserap oleh vegetasi tersebut. Asdak (2004) menyatakan bahwa setiap kali hujan jatuh di daerah yang bervegetasi, ada sebagian air yang tidak pernah mencapai permukaan tanah sehingga tidak berperan dalam membentuk kelembaban tanah, air larian atau air tanah. Air tersebut akan kembali lagi ke udara sebagai intersepsi tajuk, serasah, dan tumbuhan bawah.

Intersepsi air hujan oleh tajuk tanaman merupakan bagian dalam siklus hidrologi yang memiliki peranan penting dalam memperlambat dan mengurangi hujan menjadi aliran permukaan (Munandar, *dkk.*, 2016). Besaran intersepsi masih diperkirakan kasar, yang umumnya dinyatakan sebagai bagian dari total hujan yang jatuh. Secara teoritis, proses dan besaran intersepsi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kelembatan hujan, lamanya hujan, sebaran atau arah hujan menurut waktu dan jenis tegakan/vegetasi dalam hal ini adalah ukuran kanopi, tipe daun, tipe batang (Hadi, 2006).

Linsley (1982) dalam Munandar, *dkk* (2016), menyatakan bahwa hujan yang turun di atas kanopi tanaman, sebelum sampai ke permukaan

tanah akan ditahan atau dihambat oleh dedaunan, cabang dan batang pohon sehingga permukaan tanah akan terlindungi dari timpaan (energi kinetik) tetesan hujan.

Intersepsi pada tegakan pohon pinus akan dapat mengurangi limpasan permukaan (*runoff*). Hutan pinus berumur 7 tahun nilai intersepsinya lebih tinggi dari mahoni yaitu 41,15% dari total curah hujan dan mahoni hanya 7,31% (Mechram S, et al., 2012; Chairani dan Jayanti, 2013) menemukan intersepsi pinus sebesar 34,23%. Pujiharta dan Salata dalam Pujiharta (2005) menemukan 15-39,7% lebih besar dari pohon Aghatis sebesar 14,7% dan Puspa 13,7%. Chow (1964) dalam Dinata (2007) menemukan 33-53% dari jumlah curah hujan sedang.

Hutan pinus dengan tajuk yang bersusun dan daun jarum tumbuh dengan rapat, sangat efektif untuk memecah butiran air hujan sehingga partikel-partikel lebih kecil sehingga akan lebih mudah menguap ke atmosfer. Tajuk tumbuhan berfungsi menahan laju butiran air hujan dan mengurangi tenaga kinetik butiran air sehingga pukulan butiran air dapat dikurangi. Air yang masuk di sela-sela kanopi (*interception*) sebagian akan kembali ke atmosfer akibat evaporasi. Indrajaya, dkk (2008) menemukan evapotranspirasi pinus sebesar 1.971,12 mm/th dari curah hujan 3.056 mm/th atau 64,5% dari total curah hujan.

E. Kawasan Hutan Lindung

1. Pengertian Kawasan Lindung dan Hutan Lindung

Kawasan hutan lindung adalah kawasan hutan yang memiliki sifat khas yang mampu memberikan perlindungan kepada kawasan sekitarnya maupun kawasan bawahannya sebagai pengatur tata air, pencegah banjir dan erosi serta memelihara kesuburan tanah. Perlindungan terhadap kawasan hutan lindung dilakukan untuk mencegah terjadinya erosi, bencana banjir, sedimentasi, dan menjaga fungsi hidrologis tanah untuk menjamin ketersediaan unsur hara tanah, air tanah, dan air permukaan.

Pengertian hutan lindung secara gamblang dijelaskan dalam Undang-undang No.41 tahun 1999 tentang kehutanan, adalah “Kawasan hutan yang mempunyai fungsi pokok sebagai perlindungan sistem penyangga kehidupan untuk mengatur tata air, mencegah banjir, mengendalikan erosi, mencegah intrusi air laut, dan memelihara kesuburan tanah.”

Pengertian hutan lindung kerap dianggap sama atau dipertukarkan dengan kawasan lindung. Padahal kedua istilah itu memiliki pengertian yang berbeda. Hutan lindung bisa masuk dalam kawasan lindung, tetapi belum tentu sebaliknya. Karena kawasan lindung bisa mencakup juga hutan konservasi dan jenis kawasan lainnya. Istilah kawasan lindung termaktub dalam Undang-undang No.26 tahun 2007 tentang penataan ruang, berikut kutipannya; Kawasan lindung adalah wilayah yang

ditetapkan dengan fungsi utama melindungi kelestarian lingkungan hidup yang mencakup sumber daya alam dan sumber daya buatan.

Saat ini kawasan hutan di Indonesia mencapai 129 juta hektar. Kawasan hutan tersebut terbagi ke dalam hutan konservasi seluas 27 juta hektar, hutan lindung 30 juta hektar dan sisanya hutan produksi (BPS, 2014).

Kawasan hutan adalah merupakan bagian dari penataan wilayah yang diwujudkan dalam RTRW. Di dalam penataan ruang diperlukan keseimbangan antara mempertahankan kawasan hutan sebagai kawasan lindung dengan penggunaan lahan bagi berbagai kepentingan sektor-sektor pembangunan lainnya. Peningkatan kebutuhan lahan memiliki konsekuensi pada perubahan penataan ruang yang efektif dan efisien, namun demikian kawasan-kawasan hutan yang sudah tidak memiliki fungsi tidak dapat dilakukan perubahan sebagaimana mestinya, di lain pihak pemerintah tidak mampu mempertahankan kawasan hutan sesuai dengan fungsinya.

Oleh karena itu diperlukan penyesuaian kriteria-kriteria terhadap ekosistem hutan untuk menetapkan kawasan hutan berdasarkan fungsi dan dampak terhadap kawasan di luar hutan untuk menjamin keberlanjutan pembangunan dengan memperhatikan ekosistem wilayah. Kekeliruan dalam menetapkan kriteria kawasan hutan yang tidak sesuai dengan ekosistem hutan mengakibatkan pada ketidakharmonisan sistem keseimbangan wilayah, sebagai contoh bahwa kawasan hutan produksi

masih tetap sebagai hutan produksi namun sudah tidak mampu untuk memproduksi, dan hutan lindung oleh karena kerusakan struktur hutannya tidak lagi dapat berfungsi lindung (Zulkarnain dan Widayati, 2015).

Pokok permasalahannya adalah ketika dilakukan penataan kawasan dalam suatu wilayah dimana hutan-hutan yang sudah tidak memiliki fungsi sebagaimana yang ditetapkan pemerintah tidak dapat dirubah oleh karena kriteria kawasan yang dibangun tidak sesuai dengan ekosistem hutan. Dengan demikian maka masalah kriteria kawasan hutan yang dapat dirumuskan adalah sebagai berikut : (1) apakah kriteria kawasan hutan yang ditetapkan berdasarkan Keputusan Menteri Pertanian Nomor 837/Kpts/Um/11/80 Tentang Kriteria dan Tata Cara Penetapan Hutan Lindung dan Surat Keputusan Menteri Pertanian Nomor 683/Kpts/Um/8/81 Tentang Kriteria dan Tata Cara Penetapan Hutan Produksi dengan menggunakan faktor penentu kelerengan, jenis tanah, dan curah hujan memiliki hubungan dengan sistem produksi dan sistem lindung; dan (2) Bagaimana penetapan kawasan hutan yang didasarkan pada fungsi hutan yang ditetapkan oleh pemerintah ditinjau dari ekosistem hutan.

2. Penetapan Hutan Lindung

Pemerintah dalam hal ini Menteri yang terkait dengan bidang kehutanan bisa menetapkan suatu kawasan hutan menjadi hutan lindung berdasarkan usulan yang memenuhi syarat-syarat tertentu. Penetapannya diatur secara teknis dalam Keputusan Menteri Pertanian tentang Kriteria dan Tata Cara Penetapan Fungsi Hutan yaitu SK Mentan Nomor

837/Kpts/Um/11/80 Tentang Kriteria dan Tata Cara Penetapan Hutan Lindung. Peraturan tersebut mengatur metode skoring dalam menentukan kawasan hutan. Terdapat 3 faktor utama dalam menentukan skoring diantaranya kemiringan lahan, kepekaan terhadap erosi dan intensitas hujan (mm/hari hujan) di daerah terkait (<https://jurnalbumi.com/hutan-lindung/diakses> 31 Agustus 2016).

Metode skoring biasanya diterapkan pada kawasan hutan produksi, dimana dalam kawasan tersebut terdapat area-area yang harus dilindungi. Metode skoring tidak bisa dilakukan pada kawasan yang telah ditetapkan sebagai hutan konservasi seperti cagar alam, suaka margasatwa, taman nasional, taman hutan raya, taman wisata alam dan taman buru.

3. Nilai Skor Parameter dan Kriteria Area

Tiga komponen utama (kelerengan, jenis tanah, curah hujan) diberi angka penimbang (bobot) masing-masing sebagai berikut: faktor kelerengan = 20, jenis tanah = 15 dan intensitas hujan = 10. Adapun skor parameter menurut aturan-aturan di atas untuk tiap komponen faktor.

Skor parameter kriteria komponen tingkat lereng dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Skor setiap kelas kelerengan sesuai SK Mentan Nomor 837/KPTS/Um/11/80 (diolah)

Kelas	Kelas	Tingkat Kelerengan	Skor
I	Datar	0% - 8%	20
II	Landai	8 – 15	40
III	Agak Curam	15 - 25	60
IV	Curam	25 – 40	80
V	Sangat Curam	>40	100

Skor parameter kriteria kepekaan jenis tanah terhadap erosi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Skor setiap kelas jenis tanah sesuai SK Mentan Nomor 837/Kpts/Um/11/80 (diolah)

Kelas	Kepekaan Terhadap Erosi	Jenis Tanah	Skor
I	Rendah/Tidak Peka	Aluvial, Planosol, Hidromorf kelabu, Laterik	15
II	Sedang/Agak Peka	Latosol	30
III	Tinggi/Kurang Peka	Tanah hutan coklat, Tanah Mediteran	45
IV	Sangat Tinggi/Peka	Andosol, Laterik, Grumusol, Podsol, Podsolik,	60
V	Amat Sangat Tinggi/Sangat Peka	Regosol, Litosol, Organosol, Renzina	75

Skor parameter kriteria komponen tingkat curah hujan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Skor setiap kelas curah hujan sesuai SK Mentan Nomor 837/Kpts/Um/11/80 (diolah)

Kelas	Tingkat Curah Hujan	Curah Hujan	Skor
I	Sangat Rendah	< 13,6	10
II	Rendah	13,6 – 20,7	20
III	Sedang	20,7 -27,7	30
IV	Tinggi	27,7 – 34,8	40
V	Sangat Tinggi	>34,8	50

Membuat rekomendasi fungsi kawasan hutan, hal pertama yang perlu dilakukan adalah penentuan batas area yang akan dianalisis. Area tersebut dapat berstatus sebagai kawasan hutan atau calon kawasan hutan. Idealnya, kawasan yang akan dilakukan proses skoring (hutan produksi tetap dan hutan produksi terbatas) hendaknya berada di luar kawasan lindung sesuai aturan yang berlaku, seperti :

1. Kawasan hutan yang mempunyai kelas lereng lapangan > 40 %
2. Kawasan hutan yang mempunyai ketinggian lapangan di atas permukaan laut 2.000 m atau lebih.
3. Tanah sangat peka terhadap erosi yaitu jenis tanah regosol, litosol, organosol, renzina dengan lereng lapangan > 15 %
4. Merupakan jalur pengaman aliran sungai/air, sekurang-kurangnya 100 meter di kiri dan kanan sungai/aliran air
5. Merupakan pelindung mata air, sekurang-kurangnya dengan jari-jari 200 meter di sekeliling mata air

6. Tanah bergambut dengan ketebalan 3 m atau lebih yang terdapat di bagian hulu sungai dan rawa
7. Daratan sepanjang tepian pantai yang lebarnya proporsional dengan bentuk dan kondisi fisik pantai minimal 100 m dari titik pasang tertinggi ke arah darat
8. Memenuhi kriteria sebagai kawasan hutan konservasi, seperti Taman Nasional, Cagar Alam, Suaka Margasatwa, dll.
9. Guna keperluan/kepentingan khusus, ditetapkan oleh Menteri sebagai hutan lindung.

4. Manfaat Hutan Lindung

Hutan lindung mempunyai fungsi pokok untuk menjaga kualitas lingkungan dan ekosistem. Fungsi-fungsi tersebut diantaranya:

- a) Mencegah banjir, hutan yang terpelihara dapat menyerap air hujan agar tidak turun langsung ke daerah bawahnya. Kemampuan hutan untuk menampung air hujan merupakan pengendalian banjir yang efektif.
- b) Menyimpan cadangan air tanah, selain mengendalikan banjir hutan juga bermanfaat untuk menyimpan cadangan air tanah. Cadangan air tersebut bisa digunakan ketika musim kemarau, sehingga penduduk sekitar hutan terhindar dari bencana kekeringan.
- c) Mencegah erosi dan tanah longsor, lahan terbuka yang di atasnya tidak tertutup hutan akan cepat tergerus erosi. Erosi akan mendangkalkan sungai-sungai yang ada dibawahnya. Selain itu juga, bagi hutan-hutan

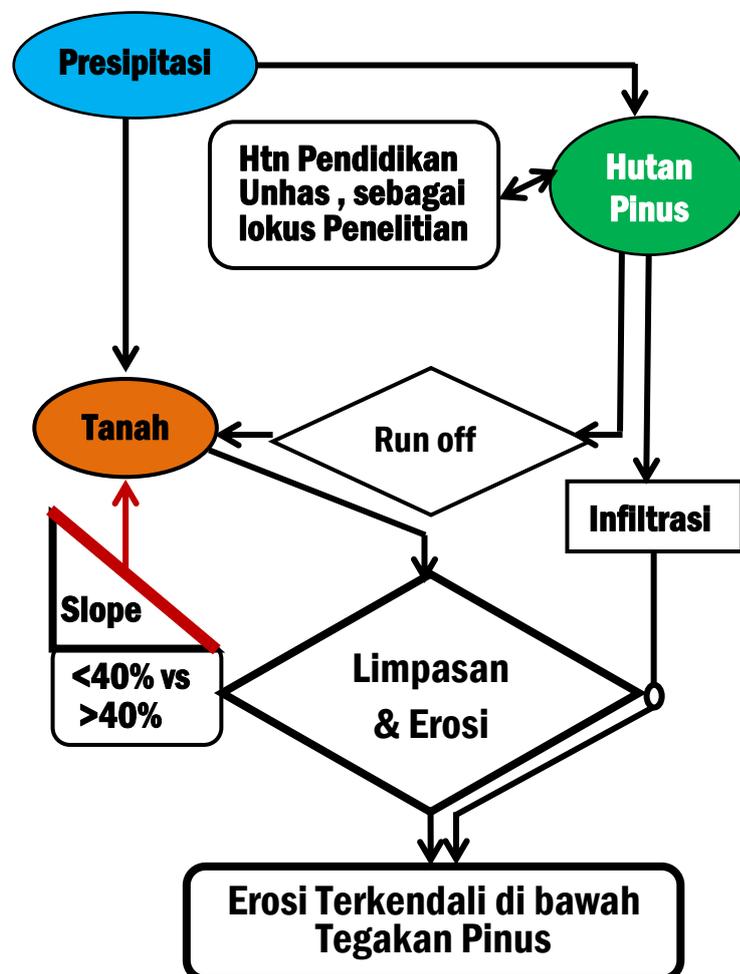
yang terdapat di lereng-lereng curam erosi bisa menyebabkan bencana tanah longsor.

- d) Memelihara kesuburan tanah, hutan seperti sebuah tempat pengomposan raksasa. Berbagai macam material organik akan terurai menjadi humus di dalam hutan. Humus hutan ini berfungsi sebagai pupuk yang meningkatkan kesuburan tanah.
- e) Penyimpan sumber daya genetika, di dalam hutan terdapat plasma nuftah yang sangat tinggi. Keanekaragaman hayati hutan merupakan sumber kehidupan.
- f) Habitat hidup hewan dan tumbuhan, hutan yang baik bisa melindungi satwa dan tumbuhan yang ada didalamnya.
- g) Tempat pendidikan dan laboratorium alam, juga bisa menjadi tempat pendidikan, penelitian ilmiah untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan laboratorium alam.

F. Kerangka Pikir

Kerangka pikir penelitian ini adalah presipitasi yang jatuh diatas tajuk Pinus sebagian akan terintersepsi ke atmosfer, oleh karena tajuk pinus dapat memperkecil butiran air hujan sehingga menurunkan energi kinetiknya. Ketika sampai di atas permukaan tanah sebagian akan terinfiltrasi ke dalam tanah dan sebagiannya lagi akan menjadi runoff atau menjadi air limpasan. Curah hujan yang jatuh di atas permukaan tanah pada kemiringan yang tinggi akan berpotensi terjadi aliran permukaan yang tinggi dengan membawa partikel-partikel tanah yang terbongkar

akibat energi kinetik hujan, sehingga akan terjadi erosi. Namun demikian erosi akan terkendali dengan adanya tegakan pinus. Sebab fungsi vegetasi *Pinus* adalah memperkecil butiran hujan yang jatuh di atas tajuk sehingga pada saat butiran-butiran hujan sampai di permukaan tanah kekuatannya menjadi lebih kecil. Kerangka pikir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Pikir Penelitian

G. Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian ini adalah:

1. Tidak ada perbedaan rata-rata limpasan pada lereng > 40% dengan < 40%.
2. Terdapat perbedaan rata-rata erosi pada lereng >40% dengan <40%
3. Tegakan Pinus dapat menurunkan volume limpasan permukaan dan erosi.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

1. Waktu penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 6 bulan dimulai pada bulan oktober 2016 sampai dengan bulan Maret 2017.

2. Tempat penelitian

Penelitian ini dilakukan di bawah tegakan hutan *Pinus merkusii* berlokasi di Hutan Pendidikan Universitas Hasanuddin, Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan. Lokasi ini terletak pada ketinggian 300–800 meter di atas permukaan laut. Jumlah Curah hujan rata-rata tahunan dari tahun 2007 sampai 2016 adalah 2.863,2 mm.

Hutan pinus tersebut ditanam sejak tahun 1970 yang merupakan hasil reboisasi seluas 291,13 ha. Tegakan ini umumnya terdapat pada bagian utara yang menyebar pada lahan-lahan dengan kondisi topografi yang bervariasi dari bergelombang sampai berlereng sangat curam.

3. Deskripsi Plot Pengamatan

Plot limpasan dan erosi ditempatkan di bawah tegakan pinus. Masing-masing plot terdapat beberapa pohon pinus dan juga pohon selain

pinus. Jumlah pohon pinus antara 1 sampai 6 pohon per plot. Ditambah pohon selain pinus 1 sampai 2 pohon per plot. Selain pada bagian dalam plot juga diluar plot pada sisi bagian kanan dan kiri terdapat pohon pinus dan pohon lain yang sebagian tajuknya menutupi plot limpasan dan erosi. Persentase tutupan tajuk masing-masing plot dapat dilihat pada lampiran gambar. Kerapatan tegakan sekitar plot adalah 11 pohon/400 m² yang terdiri atas kelas semai, pancang, tiang dan pohon.

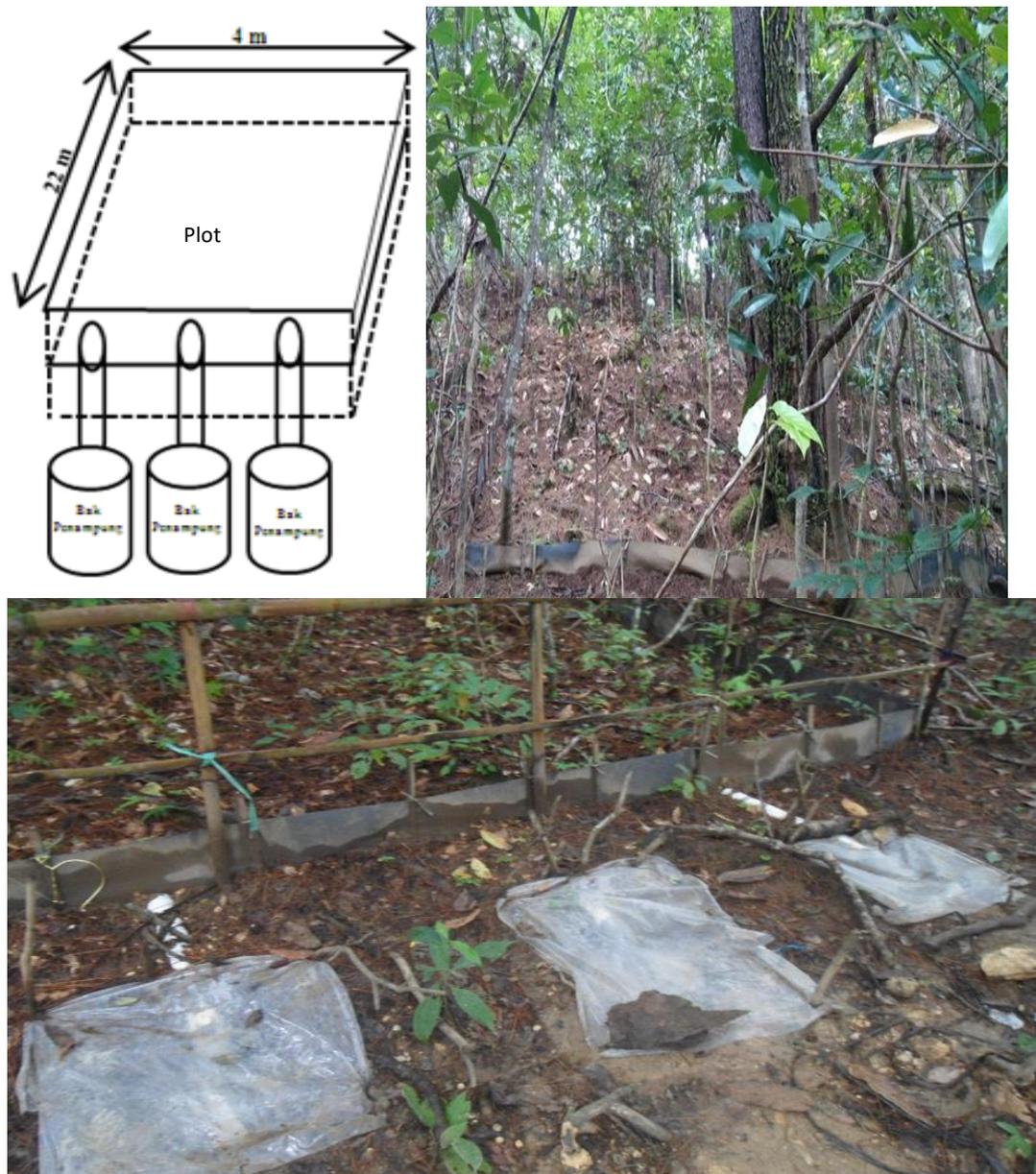
Penelitian ini dilakukan melalui pengukuran langsung berupa pengamatan curah hujan per kejadian hujan, lama hujan, intensitas hujan, volume limpasan permukaan dan suspensi terlarut, tingkat kemiringan lereng, tumbuhan bawah, ketebalan serasah, tutupan tajuk per plot, dan sifat fisik tanah. Intensitas hujan diklasifikasi menjadi 4 yaitu ringan(1-5mm/jam), sedang (5-10mm/jam), lebat (10-20mm/jam) dan sangat lebat (>20mm/jam) (BMKG, 2010; Ramadhan dan Teguh, 2014).

Data curah hujan diperoleh dari penakar curah hujan yang diletakkan pada tempat terbuka di sekitar plot pengamatan. Pengamatan dilakukan setiap kejadian hujan dengan total 39 kejadian hujan. Plot uji ditempatkan pada kemiringan lereng > 40% dan <40% yang berukuran panjang 22 m dan lebar 4 m. Ukuran panjang plot yang sama pada penelitian yang dilakukan oleh Paimin, *dkk.* (2003);Suwarna., *dkk.* (2009);Pramono, dan Nining (2009). Plot dipasang pada kemiringan antara 15-30%, untuk kelas lereng < 40% dan kemiringan antara 45-75% untuk kelas lereng >40%. Masing-masing 3 ulangan setiap kelas lereng.

Plot terbuat dari terpal berbahan karet. plot dipasang dibawah tegakan pinus. Untuk mencegah kemungkinan terjadinya aliran air yang masuk atau ke luar dari plot uji, maka terpal batas plot dibenamkan ke dalam tanah sedalam ± 5 cm. Tinggi sisi terpal 20 cm. Pada sisi luar plot uji dibuatkan alur untuk mengarahkan aliran air dan mencegah kemungkinan masuknya air ke dalam plot uji. Masing-masing plot dideskripsikan mulai dari persentasi tutupan tajuk pinus, ketebalan serasah, dan tingkat lereng. Kerapatan tegakan pinus terdiri atas 3 kategori yaitu jarang (10%-40%), sedang (41%-70%) dan rapat/lebat (>70%), (Badan Standarisasi Nasional. SNI 7645:2010). Sedangkan lereng juga dibagi atas 4 kategori yaitu berbukit/miring (15-30%), agak curam (30-45%), curam (45-65%) dan sangat curam (>65%), (Arsyad, 2000).

Penampungan limpasan dilakukan dengan menggunakan 3 buah alat atau wadah masing-masing berkapasitas 50 liter dan 25 liter yang dipasang pada bagian bawah setiap plot uji. Volume limpasan permukaan untuk masing-masing plot dihitung dengan menjumlahkan volume limpasan yang tertampung pada ketiga wadah penampungan limpasan termaksud. Besarnya erosi aktual yang terjadi pada setiap kali kejadian hujan dapat diketahui melalui analisis sedimen. Pengambilan sampel dilakukan dengan mengaduk isi bak sampai sedimen tercampur. Lalu sampel tersebut dimasukkan ke dalam botol plastik berukuran 600 ml dan

diberi label. Setelah itu, bak dibersihkan dari sisa-sisa lumpur dan air. Ukuran limpasan dan erosi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Plot Limpasan Permukaan dan Erosi

B. Bahan dan Alat

1. Bahan-bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian adalah:

- Terpal plastik
- tongkat kayu untuk patok plot uji dan patok tempat mengikat plastik plot uji erosi.
- Pipa air sebagai saluran untuk mengalirkan limpasan permukaan dari petak uji erosi ke alat penampung limpasan permukaan.
- Botol aqua kosong 600 ml untuk sample air limpasan permukaan
- Kawat pengikat.
- Pipa paralon air lolos
- Parang, linggis, cangkul dan skop
- Jas hujan
- Kertas dan alat-alat tulis

2. Alat-alat penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian adalah :

- Penakar curah hujan tipe observatorium
- Alat penampung limpasan permukaan kapasitas 50 liter
- Jerigen penampung aliran batang dan air lolos
- Alat pengukur kemiringan lereng
- Meteran
- Gelas ukur 250 ml

- Beberapa peralatan laboratorium untuk analisis sedimen seperti corong kecil, gelas ukur, kertas saring, timbangan digital, oven, cawan petri, desikator, dan gegep.

C. Analisis Data

Data primer berupa total volume limpasan permukaan dapat dihitung dengan menjumlahkan volume air yang tertampung pada setiap drum. Selanjutnya dilakukan analisis laboratorium untuk mengetahui konsentrasi sedimen. Dari tiap-tiap sampel, diambil sebanyak 20 ml kemudian disaring dengan menggunakan kertas saring sampai airnya habis. Lalu dioven pada suhu 105⁰C hingga didapatkan berat tanah kering. Sampel yang telah kering kemudian ditimbang.

Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung konsentrasi sedimen adalah : $C = \frac{(b-a)}{v}$;

dimana : C = Konsentrasi sedimen (g/m³)

b = Berat kertas saring berisi erosi (g)

a = Berat kertas saring kosong (g)

v = Volume sampel erosi (m³)

Besarnya erosi aktual dapat dihitung dengan mengalikan total volume limpasan (m³) dengan kadar suspensi (g/m³) (Pramono, 2009 ; Paimin, dkk, 2002), yang dapat di tuliskan seperti berikut :

$$\text{Erosi Aktual (gr)} = \text{Total volume limpasan (m}^3\text{)} \times \text{Konsentrasi sedimen (gr/m}^3\text{)}$$

Uji pengaruh intensitas hujan dan penutupan terhadap limpasan dan erosi menggunakan model persamaan berikut;

$$Y = \beta_0 + \alpha_0 Z + \beta_1 \text{INT} - \beta_2 \text{PNT} + \alpha_1 Z \cdot \text{INT} - \alpha_2 Z \cdot \text{PNT}$$

Dimana;

Y = Variabel terikat (limpasan dan erosi)

β_0 = Constanta

Z = Dummy, menggunakan angka 0 untuk lereng < 40%; 1 untuk lereng > 40%

β_1 = Coefficient variabel bebas intensitas hujan

β_2 = Coefficient variabel bebas penutupan

α_0 = coefficient variabel dummy

α_1 = coefficient dummy lereng*intensitas hujan

α_2 = coefficient dummy lereng * penutupan

Analisis regresi linier dilakukan untuk mengetahui hubungan antara faktor-faktor yang berpengaruh dengan limpasan dan erosi. Analisis

keragaman (ANNOVA) dilakukan untuk mengetahui variabel mana yang berbeda membandingkan nilai rata-rata limpasan berdasarkan uji Independent Samples T Test. Semua analisis tersebut dibuat dengan menggunakan paket perangkat lunak IBM SPSS Statistics for windows versi 20.

F. Defenisi Operasional

1. Limpasan permukaan adalah bagian dari curah hujan yang mengalir di atas permukaan tanah.
2. Laju erosi adalah banyaknya erosi yang terjadi persatuan waktu
3. Hujan adalah adalah bagian atau bentuk presipitasi yang jatuh di atas permukaan bumi dengan ukuran tertentu.
4. Curah hujan adalah hujan yang jatuh di atas permukaan horizontal, diukur dalam satuan tinggi (mm, atau cm) sebelum terjadi kehilangan akibat penguapan, pengaliran atau peresapan.
5. Intensitas hujan adalah jumlah hujan per satuan waktu (mm/jam).
6. Satu hari hujan adalah periode 24 jam dimana terkumpul curah hujan setinggi 0,5 mm, kurang dari ketentuan ini curah hujan dianggap nol meskipun tinggi curah hujan tetap diperhitungkan.
7. Penakar curah hujan tipe observatorium adalah alat sederhana/manual (tidak otomatis) untuk mengukur tinggi curah hujan pada waktu tertentu (jam, hari, minggu, bulan dan tahun) dalam satuan millimeter (mm).

8. Tegakan adalah kesatuan pohon-pohon yang menempati suatu areal tertentu dan memiliki komposisi jenis (species), umur dan kondisi yang cukup seragam untuk dapat dibedakan dari hutan atau kelompok tumbuhan lain.
9. Lereng/kemiringan lereng adalah penampakan permukaan yang berbentuk sudut terhadap bidang datar atau horizontal yang dinyatakan dengan satuan derajat ($^{\circ}$) atau persentase (%).
10. Hutan lindung adalah Menurut Undang-undang No.41 tahun 1999 tentang kehutanan, adalah Kawasan hutan yang mempunyai fungsi pokok sebagai perlindungan sistem penyangga kehidupan untuk mengatur tata air, mencegah banjir, mengendalikan erosi, mencegah intrusi air laut, dan memelihara kesuburan tanah.” Hutan lindung bisa masuk dalam kawasan lindung. Tetapi tidak untuk sebaliknya.
11. Kawasan lindung adalah wilayah yang ditetapkan dengan fungsi utama melindungi kelestarian lingkungan hidup yang mencakup sumber daya alam dan sumber daya buatan. Pada kawasan lindung bisa termasuk hutan konservasi, dan jenis kawasan lainnya.
12. Deforestasi adalah istilah untuk menyebutkan perubahan tutupan suatu wilayah dari kawasan hutan menjadi tidak berhutan, artinya dari suatu wilayah yang sebelumnya berpenutupan tajuk berupa hutan (vegetasi pohon dengan kerapatan tertentu) menjadi bukan hutan (bukan vegetasi pohon atau bahkan tidak bervegetasi).
13. Infiltrasi adalah peristiwa masuknya air ke dalam tanah melalui

permukaan tanah secara vertikal.

14. Laju infiltrasi adalah banyaknya air yang masuk melalui permukaan tanah per satuan waktu.
15. Kapasitas infiltrasi adalah kemampuan tanah untuk melewatkan air dari permukaan tanah secara vertikal.
16. Permeabilitas adalah kemampuan tanah meloloskan air.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. HASIL

A.1. Hubungan antara volume limpasan permukaan dengan intensitas hujan dan penutupan pada lereng di bawah 40% dan di atas 40%

Analisis regresi volume limpasan permukaan dengan peubah bebas yaitu intensitas curah hujan, penutupan dan kemiringan yang menggunakan peubah dummy diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Analisis regresi hubungan antara limpasan permukaan dengan intensitas, penutupan dan lereng

ANOVA ^a					
Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	0,004	3	0,001	8,107	,000 ^b
Residual	0,04	230	0,000		
Total	0,045	233			

a. Dependent Variable: limpasan

b. Predictors: (Constant), penutupan, intensitas, Z(Dummy lereng)

Hasil analisis regresi sebagaimana yang terlihat pada Tabel 4 menunjukkan bahwa intensitas curah hujan, penutupan dan kemiringan lereng secara bersama-sama memiliki hubungan yang nyata terhadap limpasan permukaan.

Selanjutnya pada Tabel 5 dapat diperlihatkan hubungan peubah bebas masing-masing dengan limpasan permukaan.

Tabel 5. Analisis regresi hubungan antara limpasan permukaan dengan intensitas curah hujan, penutupan, kemiringan, Z.intensitas, Z.penutupan pada lereng di bawah 40% dan di atas 40%

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	0,014	0,005		2,874	0,004
intensitas	0,004	0,002	0,203	2,282	0,023
Penutupan	-0,005	0,002	-0,193	-3,073	0,002
Z.Intensitas	0,001	0,002	0,087	0,443	0,658
Z.Penutupan	-0,0001	0,003	-0,006	-0,030	0,976

a. Dependent variable: limpasan

Keterangan; Z adalah dummy lereng

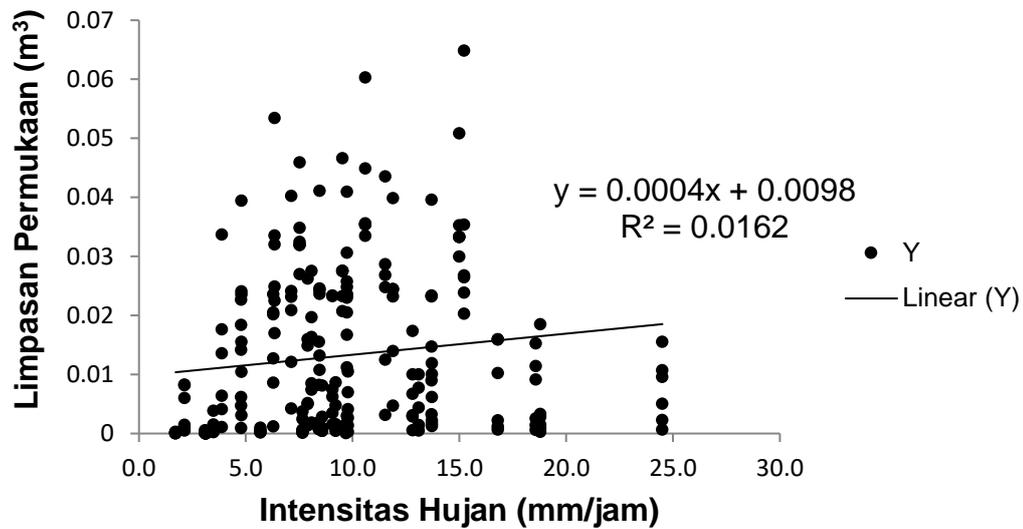
Hasil analisis regresi sebagaimana yang terlihat pada Tabel 5 menunjukkan bahwa intensitas curah hujan, penutupan memiliki hubungan yang nyata dengan limpasan, sedangkan peubah lainnya (Z.Intensitas, Z.Penutupan) tidak memiliki hubungan yang nyata dengan limpasan permukaan, dengan model persamaan sebagai berikut

$$Y = 0,014 + 0,004 INT - 0,005 PNT$$

Nilai koefisien regresi variabel intensitas bernilai positif yaitu 0,004; artinya setiap peningkatan satu satuan intensitas akan meningkatkan limpasan permukaan sebesar 0,004 m³/plot dengan asumsi variabel lain bernilai tetap. Semakin tinggi intensitas hujan semakin tinggi pula limpasan (Cao, *et al.*, 2015). Nilai koefisien regresi variabel penutupan bernilai negatif, yaitu -0,005; artinya setiap peningkatan satu satuan penutupan akan menurunkan limpasan permukaan sebesar 0,005 m³/plot dengan asumsi variabel lain bernilai tetap.

Berdasarkan uji regresi dari persamaan tersebut dimana lereng di bawah 40% menggunakan dummy=0, dan lereng di atas 40% menggunakan dummy =1, dapat dijelaskan bahwa intensitas hujan dan penutupan berhubungan secara nyata dengan limpasan pada lereng di bawah 40% dan di atas 40%. Variabel Z.INT dan Z.PNT menunjukkan lereng berkontribusi pada pengaruh intensitas hujan dan penutupan terhadap limpasan pada lereng di atas 40%.

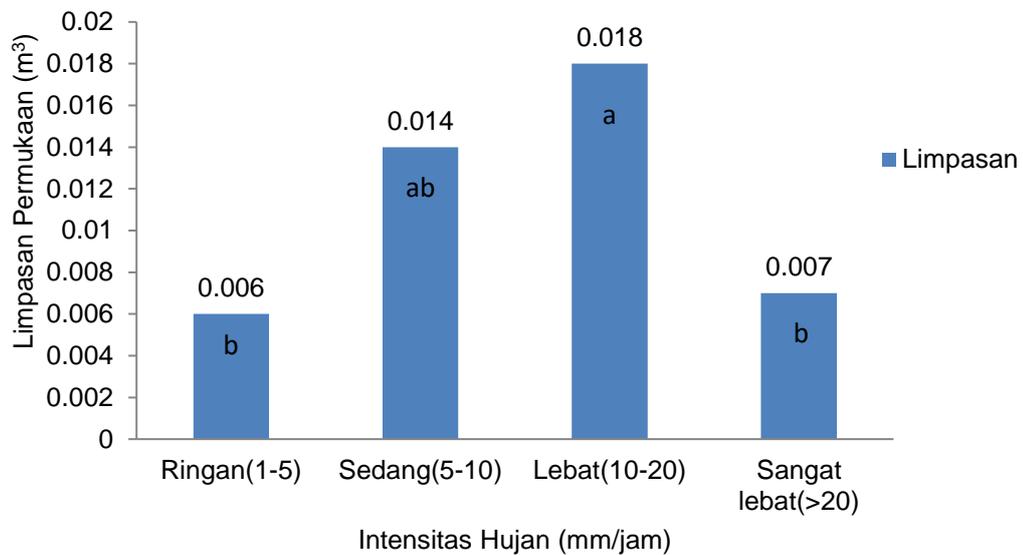
Hubungan intensitas hujan dengan volume limpasan permukaan pada lereng <40% dan >40% dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik hubungan intensitas dengan limpasan permukaan pada lereng < 40% dan > 40%

Gambar 3 menunjukkan hubungan intensitas hujan dengan limpasan permukaan sebesar 1,62% dan sisanya sebesar 98,38% adalah faktor lain. Semakin tinggi intensitas hujan maka limpasan permukaan yang terjadi juga makin tinggi (Cao, *et al.*, 2015).

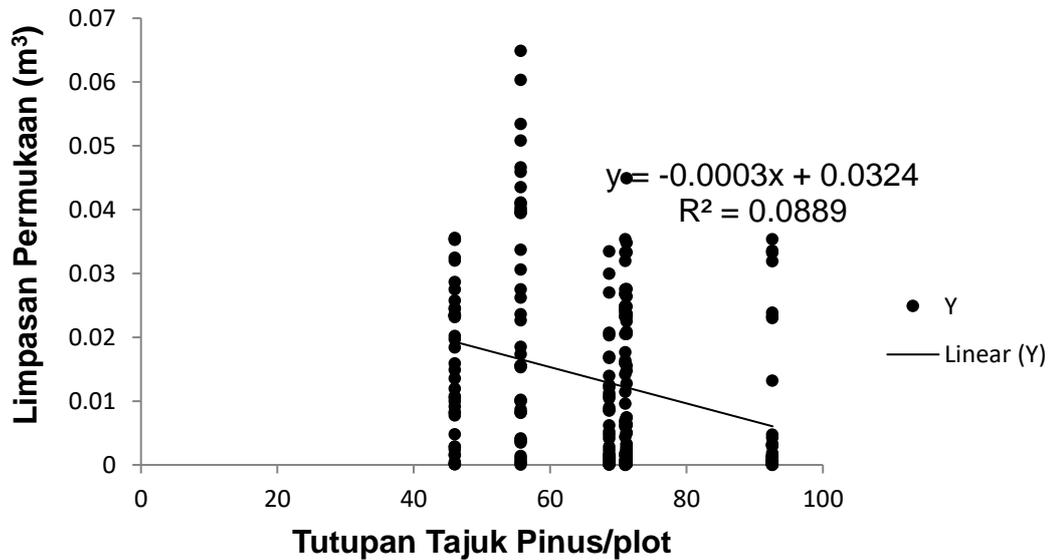
Hasil uji lanjut hubungan intensitas dengan limpasan permukaan pada lereng di bawah 40% dan di atas 40% dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik hasil uji duncan hubungan intensitas dengan limpasan pada lereng < 40% dan > 40%.

Gambar 4 menunjukkan volume limpasan permukaan tertinggi terjadi pada intensitas curah hujan lebat yaitu 0,018 m³/plot, tidak berbeda nyata dengan volume limpasan pada intensitas curah hujan sedang yaitu 0,014 m³plot, dan keduanya berbeda nyata lebih tinggi dibandingkan dengan volume limpasan pada intensitas curah hujan sangat lebat dan ringan yang masing-masing menghasilkan volume limpasan 0,007 m³/plot dan 0,006 m³/plot.

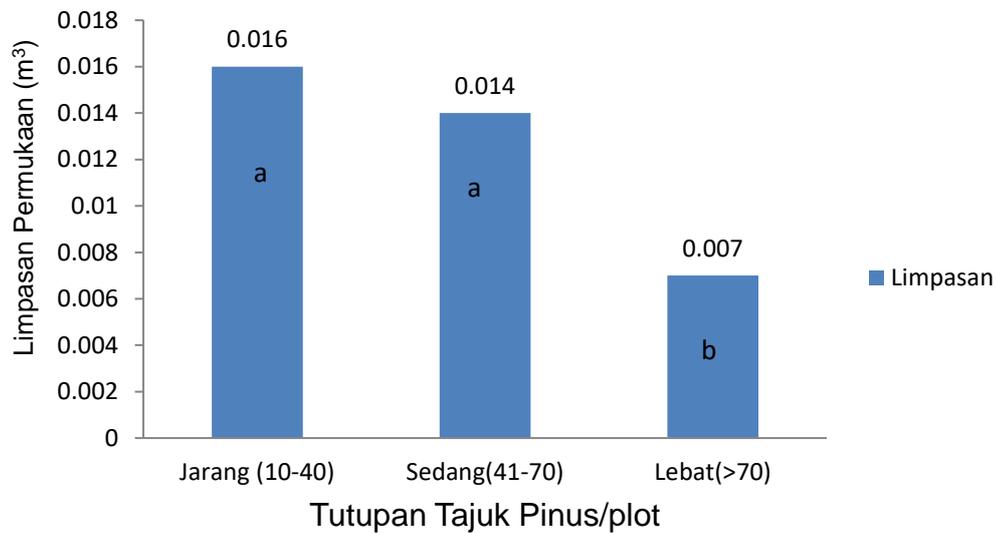
Hubungan penutupan dengan volume limpasan permukaan pada lereng <40% dan >40% dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik hubungan penutupan dengan limpasan permukaan pada lereng < 40% dan > 40%

Gambar 5 menunjukkan hubungan penutupan dengan limpasan permukaan sebesar 8,89% dan sisanya sebesar 91,11% adalah faktor lain. Semakin tinggi penutupan maka limpasan permukaan yang terjadi akan semakin kecil. Tutupan tajuk pinus yang lebat dapat menurunkan volume limpasan permukaan. Tanah-tanah yang berpenutupan vegetasi hutan akan menghasilkan limpasan permukaan lebih kecil dibanding tanah yang tidak berpenutupan hutan. Oleh El Hassanin, *et al.*, (1993) mengemukakan bahwa tutupan vegetasi akan berpengaruh signifikan terhadap besarnya kecilnya limpasan permukaan.

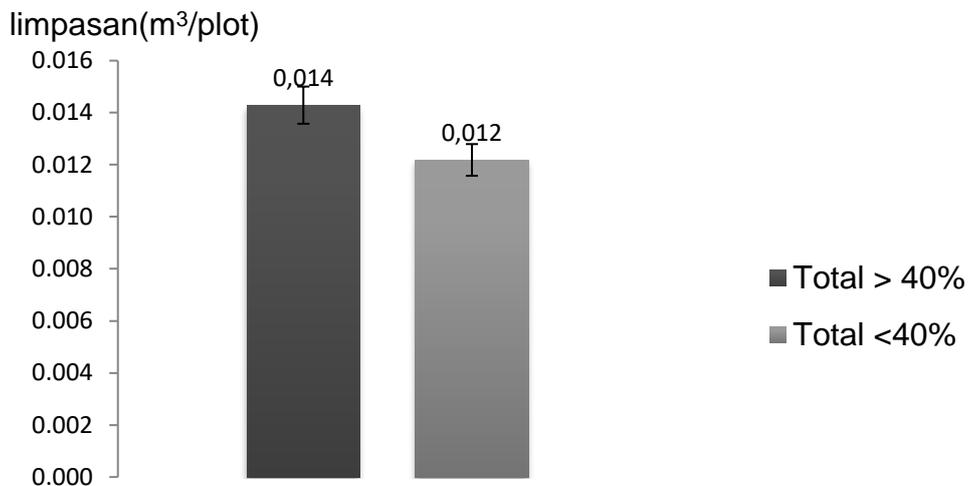
Hasil uji lanjut hubungan penutupan terhadap dengan limpasan pada lereng di bawah 40% dan di atas 40% dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik hasil uji duncan hubungan penutupan dengan limpasan permukaan pada lereng < 40% dan > 40%.

Kategori penutupan tajuk pinus per plot terdiri atas 3 yaitu jarang, sedang dan lebat (BSN, 2010). Gambar 6 menunjukkan bahwa pada penutupan pinus jarang menghasilkan rata-rata limpasan permukaan 0,016 m³/plot. Tidak berbeda nyata dengan penutupan sedang dengan rata-rata limpasan sebesar 0,014 m³/plot dan keduanya berbeda nyata lebih tinggi dengan penutupan lebat yang menghasilkan rata-rata limpasan lebih kecil yaitu 0,007 m³/plot.

Hasil uji statistik nilai rata-rata limpasan pada lereng di atas 40% dan di bawah 40% apakah berbeda atau tidak berbeda dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Rata-rata nilai volume limpasan permukaan pada lereng < 40% dan > 40%

Berdasarkan Gambar 7 memperlihatkan total nilai rata-rata volume limpasan lereng di bawah 40% dan di atas 40% sebesar 0,012 m³/plot dan 0,014 m³/plot. Hasil uji beda 2 rata-rata (Independent Samples T Test) pada lampiran 3, diperoleh nilai T hitung = 1,155 lebih kecil dari T tabel yaitu 1,970 pada taraf uji signifikan 0,025 (uji 2 sisi), maka H₀ diterima. Artinya dengan selang kepercayaan 95% dinyatakan tidak ada perbedaan rata-rata limpasan permukaan pada lereng di atas 40% dengan lereng di bawah 40%.

A.2. Erosi pada kemiringan di atas 40% dan di bawah 40%

Analisis regresi erosi dengan peubah bebas yaitu intensitas curah hujan, penutupan dan kemiringan yang menggunakan peubah dummy diperlihatkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Analisis regresi hubungan antara erosi dengan intensitas, penutupan dan kemiringan(dummy)

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	144335,62	4	36083,91	9,808	,000 ^b
	Residual	842540,29	229	3679,22		
	Total	986875,91	233			

a. Dependent Variable: erosi

b. Predictors: (Constant), Z.Tutupan_pinus, Tutupan_pinus, intensitas, Z.Intensitas

Hasil analisis regresi sebagaimana yang terlihat pada Tabel 6 menunjukkan bahwa intensitas curah hujan, penutupan dan kemiringan lereng secara bersama-sama memiliki hubungan yang nyata terhadap erosi.

Selanjutnya pada Tabel 7 dapat diperlihatkan hubungan peubah bebas masing-masing dengan erosi.

Tabel 7. Analisis regresi hubungan antara erosi dengan intensitas curah hujan, penutupan, Z.intensitas, Z.penutupan pada lereng di bawah 40% dan di atas 40%

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	49,42	21,60		2,287	0,023
intensitas	17,53	7,29	0,208	2,405	0,017
Tutupan_pinus	-25,22	6,87	-0,224	-3,672	0,000
Z.Intensitas	10,87	10,31	0,202	1,054	0,293
Z.Tutupan_pinus	-3,03	11,79	-0,047	-0,257	0,797

a. Dependent Variable: erosi

Keterangan; Z= dummy lereng

Hasil analisis regresi sebagaimana yang terlihat pada Tabel 7 menunjukkan bahwa intensitas curah hujan, penutupan memiliki

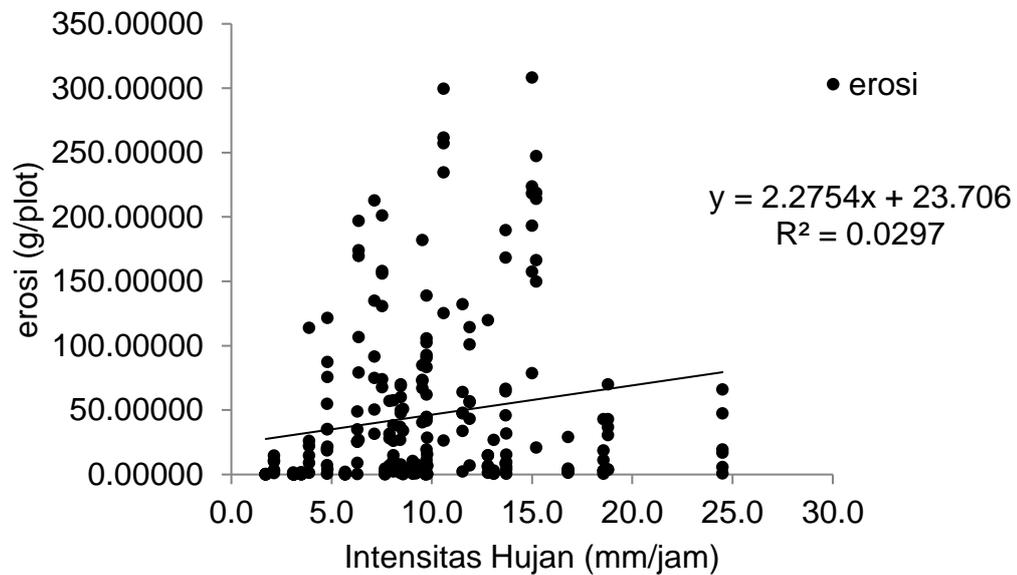
hubungan yang nyata dengan erosi, sedangkan peubah lainnya, yaitu Z.Intensitas, Z.Penutupan tidak memiliki hubungan yang nyata dengan limpasan permukaan, dengan model persamaan sebagai berikut

$$Y = 49,415 + 17,53 \text{ INT} - 25,22 \text{ PNT}$$

Nilai koefisien regresi variabel intensitas bernilai positif yaitu 17,53; artinya setiap peningkatan satu satuan intensitas akan meningkatkan erosi permukaan sebesar 17,53 g/plot dengan asumsi variabel lain bernilai tetap. Nilai koefisien regresi variabel penutupan bernilai -25,22 artinya setiap peningkatan satu satuan penutupan akan menurunkan erosi permukaan sebesar 25,22 g/plot dengan asumsi variabel lain bernilai tetap.

Berdasarkan uji regresi dari persamaan tersebut dimana lereng di bawah 40% menggunakan dummy =0, dan lereng di atas 40% menggunakan dummy =1, dapat dijelaskan bahwa penutupan berhubungan nyata dengan erosi pada lereng di bawah 40% dan di atas 40%. Peubah bebas Z.INT tidak nyata pada lereng di atas 40% artinya bahwa lereng tidak berkontribusi pada pengaruh intensitas terhadap erosi. Oleh karena itu dapat dijelaskan bahwa pengaruh intensitas dan lereng terhadap erosi dapat dihilangkan oleh adanya penutupan yang lebat baik pada lereng di bawah 40% maupun di atas 40% (El Hassanin, *et al.*, 1993 ; Ispriyanto, dkk., 2001).

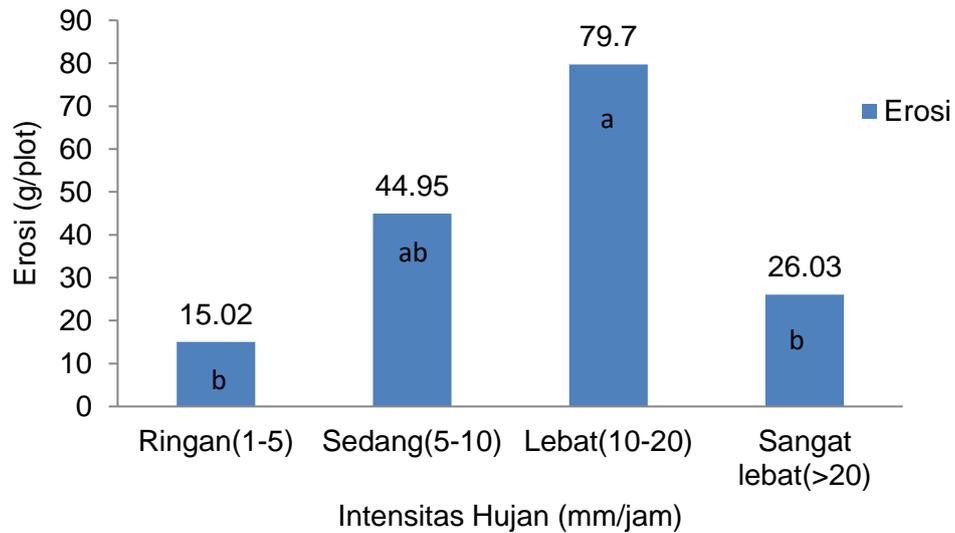
Hubungan intensitas hujan dengan erosi pada lereng <40% dan >40% dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik hubungan intensitas hujan dengan erosi pada lereng <40% dan >40%

Gambar 8 menunjukkan hubungan intensitas hujan dengan erosi sebesar 2,97% sisanya sebesar 97,03% adalah faktor lain. Semakin tinggi intensitas maka erosi yang terjadi juga semakin tinggi. Kehilangan tanah (erosi) berkorelasi positif dengan intensitas hujan (Zhang. X., *et al.*, 2018; Cao, *at al.*,2015).

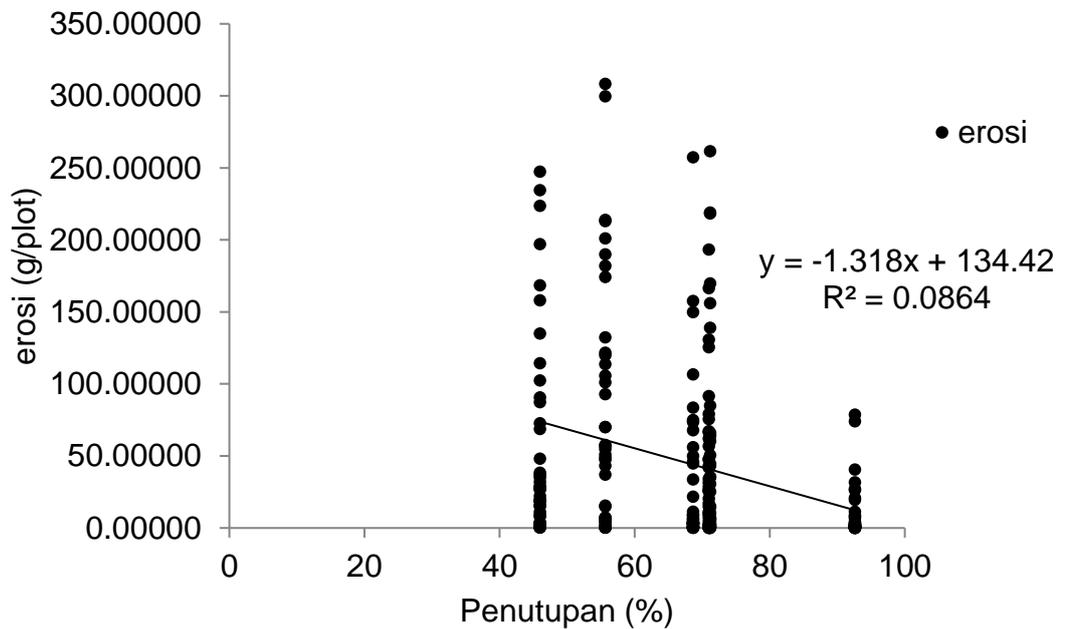
Hasil uji lanjut hubungan intensitas terhadap erosi pada lereng di bawah 40% dan di atas 40% dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik hasil uji duncan hubungan intensitas hujan dengan erosi pada Lereng <40% dan >40%.

Gambar 9 memperlihatkan bahwa nilai rata-rata erosi pada intensitas hujan lebat lebih tinggi yaitu 79,7 g/plot tidak berbeda nyata dengan intensitas sedang yaitu 44,95 g/plot keduanya berbeda nyata lebih tinggi dari intensitas hujan sangat lebat dan ringan, masing-masing menghasilkan erosi sebesar 26,03 g/plot dan 15,02 g/plot.

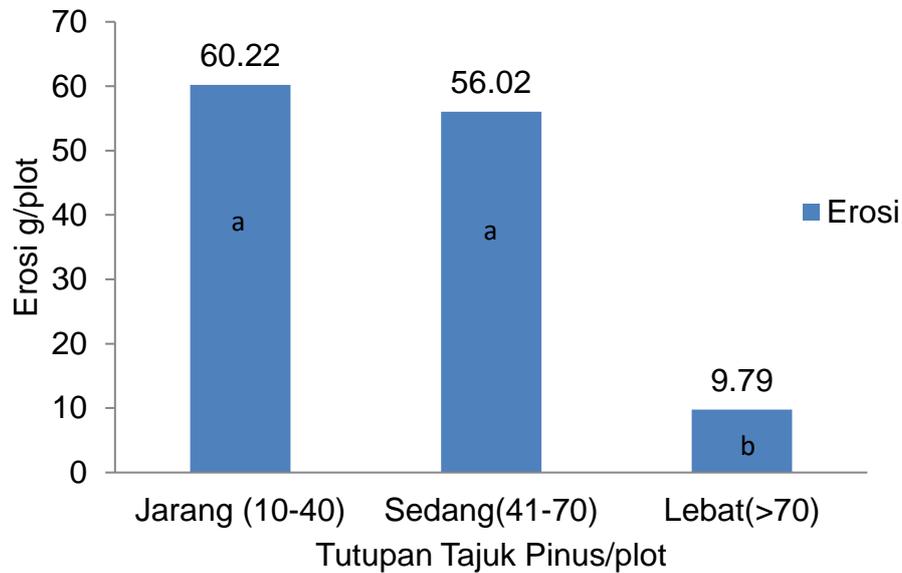
Hubungan penutupan dengan volume limpasan permukaan pada lereng <40% dan >40% dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik hubungan penutupan dengan erosi pada lereng <40% dan > 40%

Gambar 10 menunjukkan hubungan penutupan dengan erosi sebesar 8,64% sisanya sebesar 91,362% adalah faktor lain. Semakin tinggi penutupan maka erosi yang terjadi akan semakin kecil. Erosi akan semakin berkurang seiring dengan meningkatnya kerimbunan tanaman (Zuazo, 2009 ; Gunawan dan Kusminingrum, 2015).

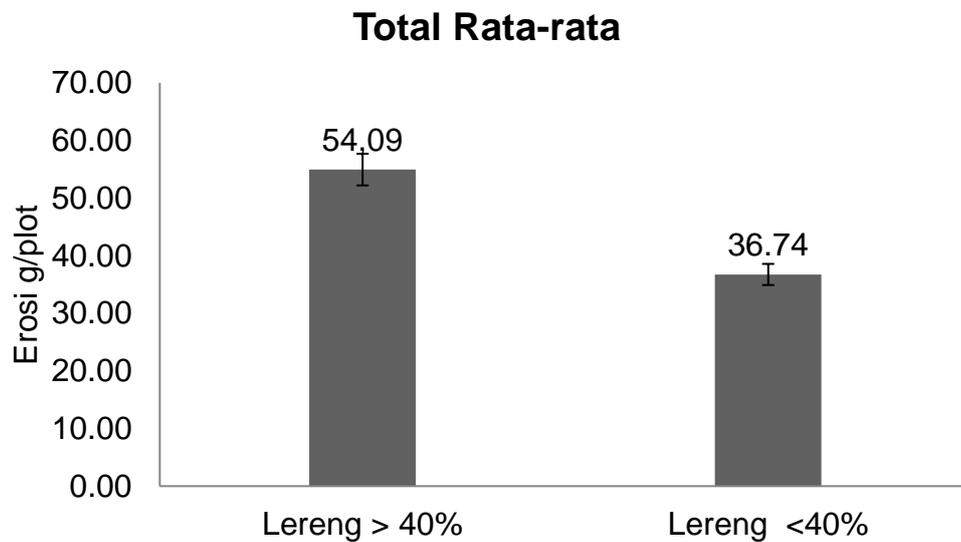
Hasil uji lanjut hubungan penutupan dengan erosi pada lereng di bawah 40% dan di atas 40% dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik hasil uji duncant hubungan penutupan dengan erosi pada lereng <40% dan >40%

Gambar 11 menunjukkan bahwa pada penutupan pinus jarang menghasilkan rata-rata erosi 60,22 g/plot. Tidak berbeda nyata dengan penutupan sedang dengan rata-rata erosi sebesar 56,02 g/plot dan keduanya berbeda nyata lebih tinggi dari penutupan lebat yang menghasilkan rata-rata erosi lebih rendah yaitu 9,79 g/plot.

Hasil uji statistik nilai rata-rata erosi pada lereng di atas 40% dan di bawah 40% apakah berbeda atau tidak, dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Rata-rata nilai erosi pada lereng > 40% dan < 40%

Berdasarkan gambar 12 memperlihatkan total nilai rata-rata erosi lereng di atas 40% dan di bawah 40% sebesar 54,09 g/plot dan 36,74 g/plot. Hasil uji beda 2 rata-rata (Independent Samples T Test) pada lampiran 9, diperoleh nilai T hitung = 2,500 lebih besar dari T tabel yaitu 1,969 pada taraf uji signifikan 0,025 (uji 2 sisi), maka H_0 ditolak. Artinya dengan selang kepercayaan 95% dinyatakan ada perbedaan rata-rata erosi pada lereng di atas 40% dengan lereng di bawah 40%.

B. Pembahasan

B.1. Limpasan permukaan pada lereng di atas 40% dan di bawah 40%

B1.1. Pengaruh intensitas terhadap limpasan permukaan.

Ditemukan pada penelitian ini bahwa intensitas hujan berpengaruh signifikan terhadap limpasan permukaan. Curah hujan dengan intensitas yang tinggi akan menyebabkan limpasan tinggi (Cao, *et al.*, 2015). Hasil uji duncan menunjukkan intensitas hujan lebat memiliki volume limpasan lebih tinggi yaitu 0,018 m³/plot. Hal tersebut terjadi karena jumlah curah hujan yang jatuh ke permukaan tanah lebih besar dibandingkan kapasitas infiltrasi. Apabila intensitas dan jumlah hujan keduanya tinggi maka peluang untuk terjadinya air limpasan lebih besar. Jumlah curah hujan yang tinggi akan menyebabkan tanah menjadi jenuh. Saat tanah menjadi jenuh maka air hujan akan lebih banyak terkonsentrasi di atas permukaan tanah. Kejenuhan tanah oleh air dipengaruhi oleh laju infiltrasi yaitu banyaknya air yang masuk ke dalam tanah per satuan waktu tertentu.

Proses terjadinya infiltrasi disebabkan oleh tarikan gaya gravitasi bumi dan gaya kapiler tanah (Asdak, 2002), dalam perjalanannya air mengalami penyebaran ke arah lateral akibat gaya tarik kapiler tanah, terutama ke arah pori-pori yang kecil (Nurpadillah, 2012). Tanah dengan pori-pori yang berdiameter besar, gaya ini dapat diabaikan seperti pada tanah-tanah di bawah tegakan pinus pori-pori tanah lebih besar di sebabkan banyaknya akar-akar pinus, sehingga air yang mengalir ke dalam tanah lebih banyak dipengaruhi oleh gaya gravitasi. Pada penelitian

ini laju infiltrasi di bawah tegakan Pinus merkusii untuk lereng di atas 40% yaitu 148 mm/jam dan lereng di bawah 40% yaitu 200 mm/jam, menurut Kohnke, 1968 dalam (Lee, 1988), keduanya tergolong cepat. Pinus tua memiliki perakaran yang banyak dan dalam, hal ini akan membuka pori tanah lebih lebar dan menyebabkan air lebih cepat masuk ke dalam tanah.

Intensitas, jumlah dan lama hujan sangat berpengaruh terhadap besarnya limpasan (Suripin, 2004). Intensitas hujan sangat lebat dalam waktu singkat mungkin tidak akan menyebabkan limpasan permukaan yang tinggi. Sebagaimana ditemukan dalam penelitian ini (Lihat Gambar 4), intensitas hujan sangat lebat, limpasannya lebih kecil dibandingkan intensitas hujan lebat. Hal ini disebabkan jumlah curah hujannya sangat rendah yaitu 9,8 mm. Jumlah curah hujan yang rendah ini tidak cukup membuat tanah jenuh oleh air hujan sehingga tidak menimbulkan limpasan. Air hujan yang jatuh di atas permukaan tanah hampir semuanya akan meresap masuk ke dalam tanah melalui pori tanah. sebaliknya jika curah hujannya tinggi maka limpasan permukaan juga akan tinggi. Hasil penelitian ini menunjukkan hubungan linier antara curah hujan dengan limpasan permukaan. Semakin tinggi curah hujan semakin tinggi pula volume limpasan permukaan (lihat lampiran 6). Curah hujan memberikan pengaruh terhadap limpasan permukaan sebesar 56,41%. Hal ini menunjukkan bahwa faktor curah hujan sangat berperan penting dalam menentukan besarnya limpasan (Hartanto, *et al.*, 2003).

Mengenai lereng pada penelitian ini memperlihatkan tidak ada pengaruh yang signifikan terhadap limpasan permukaan. Lereng tidak berkontribusi pada pengaruh intensitas terhadap limpasan permukaan (lihat Tabel 5). Hasil analisis regresi menunjukkan angka coefficient yang tidak signifikan pada taraf nyata 5%. Hal ini terjadi karena adanya faktor vegetasi yang dominan (Ispriyanto, 2001 : Gunawan dan Kusminingrum, 2015).

Transpirasi yang tinggi dan kemampuan tajuk pinus dengan daun jarum dapat memotong partikel atau butiran hujan menjadi lebih kecil menyebabkan butiran hujan tersebut lebih mudah menguap kembali ke atmosfer sebelum terjatuh di atas permukaan tanah. Kami menemukan pada lokasi penelitian intersepsi tegakan pinus sebesar 42,9%. Intersepsi yang tinggi pada pinus dikarenakan cabang tajuk lebih banyak dan rapat. Selain karena intersepsi yang tinggi pada daun pinus terdapat banyak stomata sehingga transpirasi tinggi. Umur pinus yang sudah tua memiliki perakaran yang banyak dan panjang sehingga mampu menginfiltirasi presipitasi dalam porsi yang lebih banyak (Suryatmojo, *et al.*, 2013) menyebabkan limpasan permukaan semakin kecil. Dikemukakan oleh Ispriyanto, dkk., (2001) bahwa faktor panjang dan kemiringan lereng tidak selalu berkorelasi positif dengan kejadian aliran permukaan apabila faktor sifat fisik tanah dan vegetasi penutup lahan menjadi dominan.

Struktur tanah memegang peranan penting dalam pertumbuhan akar. Bila struktur tanah remah maka akar akan tumbuh dengan baik. Akar

pinus mampu tumbuh lebih mudah dan panjang. Walaupun secara genetis pinus memiliki perakaran tunggang yang dalam (Daniel, *et al.*, 1995) akan tetapi bila struktur tanah yang mantap maka semakin mudah akar menembus tanah dan tumbuh lebih panjang. Sebagaimana yang dikemukakan oleh Sutton (1969) dalam Hardiyatmo (2006) bahwa akar pohon pinus akan tumbuh satu setengah kali tinggi rata-rata pohon pada tanah dengan tekstur lempung (loam). Akar-akar yang panjang ini tentunya akan membuka pori-pori tanah lebih lebar sehingga permeabilitas atau kemampuan tanah meloloskan air lebih tinggi, kapasitas infiltrasi lebih besar, laju infiltrasi lebih cepat (lihat Lampiran 19).

Oleh karena itu sifat fisik tanah menjadi faktor yang berhubungan dalam menurunkan limpasan permukaan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tegakan pinus dapat mengendalikan limpasan baik pada lereng di atas 40% maupun di bawah 40%. Hasil uji beda 2 rata-rata (Independent Samples T Test), dengan selang kepercayaan 95% dinyatakan tidak ada perbedaan rata-rata limpasan permukaan pada lereng di atas 40% dengan lereng di bawah 40%. Ini membuktikan bahwa tegakan pinus dapat meminimalkan pengaruh lereng. Hal ini sejalan dengan yang dikemukakan oleh El-Hassanin, *et al.*, (1993) bahwa limpasan akan menurun atau lebih kecil pada tanah hutan dibandingkan pada tanah-tanah yang dibudidayakan.

B.1.2. Pengaruh Tegakan Pinus Terhadap Limpasan Permukaan

Terdapat pengaruh yang nyata penutupan terhadap volume limpasan permukaan. Hasil analisis regresi menunjukkan adanya pengaruh signifikan pada taraf 5%, dengan coefficient regresi bernilai negatif yang bermakna bahwa penutupan dapat menurunkan limpasan permukaan. Lahan berpenutupan hutan menghasilkan limpasan permukaan lebih kecil dibandingkan bukan hutan (El Kateb, *et al.*, 2013). Lahan dengan tutupan hutan yang lebat sulit terjadi aliran permukaan karena besarnya intersepsi, transpirasi dan perkolasi. Tegakan hutan dianggap efektif untuk mengurangi limpasan permukaan.

Pinus dengan sejumlah keunggulan diantaranya dari bentuk daun jarum dan tajuk bersusun mampu memperkecil butiran-butiran air hujan. Butiran tersebut semakin kecil sebelum tiba diatas permukaan tanah, bahkan akan menguap kembali ke atmosfer. Selain itu intersepsi dan transpirasi yang tinggi sehingga pada daerah tangkapan hutan pinus memiliki aliran rata-rata tahunan paling rendah (Dons, 1987). Laju evaporasi air hujan melalui intersepsi oleh hutan pinus beberapa kali lebih besar dari nilai transpirasi (Rutter, 1967 dalam Rutter, *et al.*, 1971). Tumbuhan berkayu keras Ketika hujan turun proporsi yang terintersepsi pada daun dan permukaan batang antara 10 dan 20% (Zinke, 1967 dalam Rutter, *et al.*, 1971). Indrajaya dan Handayani (2008) dalam penelitiannya menemukan nilai evapotranspirasi Pinus merkusii sebesar

1.971,12 mm/th atau 64,5% dari total curah hujan 3.056 mm/th. Intersepsi pinus yang kami temukan pada penelitian ini sebesar 42,92 % dari total curah hujan 904,50 mm. Lebih besar dari yang ditemukan oleh Sudjoko *et al.* (1998) yaitu 16-20%, Pujiharta dan Salata (1989) dalam Pujiharta (2005) 15-39,7%. Intersepsi pinus lebih besar dibandingkan dengan intersepsi hutan agathis 14,7% dan puspa 13,7% (Mulyana, *et al.*, (2002) dalam Pusat Pengembangan Sumberdaya Hutan Perhutani (2002).

Pinus juga memiliki banyak serasah. Tutupan serasah berperan sebagai lapisan pelindung untuk menjaga sifat fisik tanah. Lapisan serasah dan puing-puing kayu akan menambah kekasaran permukaan tanah yang dapat menghambat jumlah aliran sehingga dapat menurunkan laju limpasan permukaan (Hartanto, *et al.*, 2003). Ketebalah serasah pada tegakan pinus akan menambah bahan organik tanah sehingga menurunkan bulk density dan menambah porositas tanah sehingga serasah tersebut secara signifikan akan mengurangi limpasan permukaan (Sidle *et al.*, 2007). Tanah dengan porositas tinggi kapasitas infiltrasinya tinggi dan dapat menstabilkan permukaan tanah (Baharuddin, *et al.*, 1995), dengan kestabilan tersebut maka limpasan akan menurun (M. Akbarimehr dan R. Naghdi., 2012).

Penelitian Fahey dan Rick Jackson (1997) selama 4 tahun pengamatan yaitu mulai pembukaan lahan tutupan hutan campuran, penanaman kembali hingga kanopi tertutup sempurna, mengemukakan bahwa konversi hutan campuran ke hutan pinus dengan sistem

pemanenan hauler logged, tangkapan air rata-rata tahunan mencapai 90% hampir sama dengan hasil rata-rata tahunan pada kondisi alami hutan campuran. Dapat dijelaskan bahwa tegakan pinus dapat menjaga dan mempertahankan sifat fisik tanah sehingga tidak terdegradasi akibat pemanenan.

Topić, *et al.* (2008) menemukan bahwa limpasan di bawah tegakan pinus hitam tua (*Pinus nigra* Arn.) dengan akumulasi humus yang diawetkan ditutupi dengan penutup rumput yang tebal, pada kemiringan 32° (62,49%) berjumlah 16,17 mm/m² (161,7 m³/ha). Angka ini masih lebih besar dari apa yang kami temukan pada Pinus merkusii dengan umur tegakan rata-rata diatas 40 tahun pada lereng di atas 40% dengan nilai rata-rata volume limpasan permukaan sebesar 0,014 m³/plot atau 1,59 m³/ha (Lihat lampiran 2). Hasil penelitian Suryatmojo, (2014) juga menemukan bahwa koefisien limpasan akan menurun pada pinus berumur 37 tahun dibandingkan hutan tanaman campuran berumur 7 tahun. Artinya bahwa semakin tua umur pinus akan semakin banyak mengurangi air hujan yang jatuh ke permukaan tanah.

B.2. Erosi pada lereng di atas 40% dan di bawah 40%

B.2.1. Hubungan Intensitas hujan terhadap erosi

Intensitas hujan berpengaruh nyata pada taraf signifikan 5% terhadap erosi. Semakin tinggi intensitas maka semakin tinggi pula erosi. Intensitas hujan berkorelasi positif dengan besarnya erosi (Cao, *et al.*,

2015). Akan tetapi pada penutupan yang lebat pengaruh intensitas terhadap erosi dapat dihilangkan (El-Hassanin, *et al.*, 1993 ; Ispriyanto, dkk., 2001). Tajuk pinus dapat memperkecil butiran air hujan sehingga energi kinetik air hujan akan berkurang sebelum tiba di permukaan tanah. Saat tiba di permukaan tanah masih tertahan oleh lapisan serasah pinus yang tebal. Ketika air hujan telah sampai di atas permukaan tanah kemampuan untuk menghancurkan partikel tanah semakin kecil bahkan menjadi hilang. Itulah sebabnya pada tegakan pinus ditemukan erosi yang sangat kecil bahkan mendekati nol (Zuazo, 2009; Gunawan dan Kusminingrum, 2015).

Demikian halnya dengan lereng berhubungan linier terhadap erosi (Zhang, *et al.*, 2018). Semakin tinggi kemiringan lereng akan semakin tinggi pula erosi. Akan tetapi berbeda dengan penelitian ini, lereng tidak berkontribusi nyata pada pengaruh intensitas dan penutupan terhadap erosi. Lampiran 12, plot 1 pada lereng >40% kemiringan 58% menghasilkan erosi sebesar 33,46 g/plot atau setara dengan 0,004 ton/ha/th. Ini lebih kecil dibandingkan pada plot 4 lereng <40% kemiringan 25% dengan nilai rata-rata erosi sebesar 60,22 g/plot 0,007 ton/ha/th. Hal demikian terjadi karena adanya pengaruh vegetasi dominan (Ispriyanto, *et al.*, 2001 : Gunawan dan Kusminingrum, 2015).

Serasah yang tebal pada pinus akan menghambat pergerakan air limpasan menuruni lereng. Rata-rata ketebalan serasah untuk kedua tingkat lereng adalah antara 1,6 sampai 2,6 cm. Kedalaman serasah

menentukan besarnya kehilangan tanah (Hartanto, *et al.*, 2003). Serasah pinus sangat berperan dalam mengendalikan laju atau kecepatan air limpasan. Serasah pinus seperti filter yang akan menghambat transpor sedimen oleh air limpasan. Air yang mengalir akan membentuk zig zag, setiap kali melewati susunan atau tumpukan serasah berupa ranting, daun-daun yang bertumpuk tebal maka kecepatannya akan semakin berkurang. Sebelum air limpasan tiba di kaki lereng maka konsentrasi sedimennya akan semakin kecil. Kami menemukan di lapangan bahwa erosi yang terjadi pada lereng 58% (curam) sebesar 33,46 g/plot atau setara dengan 0,004 ton/ha/th. Erosi pada penutupan lebat juga sangat kecil yaitu sebesar 9,79 g/plot atau 0,001 ton/ha/th. Hal ini sejalan dengan yang dikemukakan oleh Gunawan dan Kusminingrum (2015) bahwa erosi akan semakin kecil seiring meningkatnya kerimbunan tanaman penutup tanah. Lereng tidak memberi pengaruh terhadap besaran erosi jika penutupannya rapat atau lebih dominan (Ispriyanto, *et al.*, 2001). oleh karena itu dapat dikatakan bahwa tegakan hutan sangat penting dalam mengendalikan erosi (Razafindrabe, *et al.*, 2010).

B.2.3. Pengaruh penutupan pinus terhadap erosi

Terdapat pengaruh yang nyata penutupan terhadap erosi. Hasil analisis regresi (Tabel 8) menunjukkan adanya pengaruh signifikan pada taraf 5%, dengan koefisien regresi bernilai negatif bermakna bahwa penutupan dapat menurunkan erosi. Semakin tinggi persentase tutupan

tajuk pinus semakin kecil erosi. Dapat dijelaskan bahwa erosi berkorelasi nyata dengan penutupan (Suryatmojo, *et al.*, 2013; El-Hassanin, *et al.*, 1993).

Gambar 11 memperlihatkan adanya perbedaan yang nyata erosi yang dihasilkan pada penutupan lebat dengan jarang dan sedang. Pada penutupan lebat menghasilkan rata-rata erosi sebesar 9,789 g/plot lebih kecil dibandingkan penutupan sedang dan jarang, masing-masing sebesar 56,021 g/plot dan 60,224 g/plot. Tajuk pinus lebat mampu menangkap presipitasi lebih banyak dan memecahkan butiran air hujan tersebut menjadi partikel lebih kecil. Air hujan dengan ukuran partikel sangat kecil ketika terjatuh di atas permukaan tanah energi kinetiknya menjadi lemah. Sebaliknya pada butiran air hujan yang besar memiliki energi kinetik yang besar pula menghancurkan partikel tanah.

Hartanto, *et al.*, (2003) menemukan bahwa tutupan kanopi atau tajuk adalah faktor ekologis yang penting dalam menentukan erosi tanah. Vegetasi sebagai pelindung (Cerdà, *et al.*, 2008) memiliki pengaruh yang besar terhadap siklus hidrologi (Suryatmojo, 2014). Setiap terjadi penurunan tutupan vegetasi hutan akan berdampak kepada kerentanan terhadap erosi.

Plot 1 pada lereng >40% selain karena memiliki tutupan tajuk yang lebih tinggi dibandingkan plot 4 pada lereng <40% juga memiliki penutupan dengan struktur tajuk berlapis. Lapisan tajuk tertinggi adalah *Pinus merkusii* dengan tutupan tajuk pinus sebesar 53,41 % lebih besar

dibandingkan plot 4 pada lereng < 40% yaitu sebesar 32,95%. Selain itu pada lapis kedua adalah *Alstonia scholaris*, lapis ketiga *Cinnamomum Sp* dan *Sapindaceae* dengan total tutupan 15,25%/plot. Vegetasi yang kompleks ini dapat menekan pengaruh lereng. Lapisan-lapisan tajuk tersebut dapat memperkecil partikel air hujan yang jatuh sehingga menurunkan energi kinetik hujan. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Suryatmojo, *et al.*, (2014) pada hutan primer dimana keadaan struktur vegetasi yang bersusun bahwa sedimen tersuspensi pada hutan primer alami lebih kecil yaitu 0,15 ton/ha/th dibandingkan pada hutan tanaman berumur 10 tahun yaitu 3,6 ton/ha/th. Walaupun angka ini sedikit lebih besar dari angka yang kami temukan akan tetapi keduanya memperlihatkan adanya pengaruh vegetasi hutan yang baik dapat mengendalikan erosi meskipun dengan lereng yang tinggi (Hartanto, *et al.*, 2003; Suryatmojo, *et al.*, 2013).

El Hassanin, *et al.*, (1993) menemukan bahwa terdapat perbedaan kehilangan tanah karena perbedaan tutupan. Tanah kosong tanpa tutupan hutan kehilangan tanah akan meningkat seiring dengan meningkatnya kemiringan dan panjang lereng. Jika lereng meningkat dari 5 sampai 20 m maka kehilangan tanah per unit curah hujan meningkat 2 kali lipat dan konsentrasi sedimen meningkat 5 kali lipat. Kemiringan 25% dengan penutupan tajuk pinus 32,95%/plot menghasilkan erosi sebesar 60,22 g/plot atau setara 0,007 ton/ha, lebih tinggi di bandingkan kemiringan 27% hanya menghasilkan erosi sebesar 9,79 g/plot setara dengan 0,001

ton/ha dengan tutupan tajuk pinus sebesar 77,27%. Hal ini sejalan dengan pendapat Gunawan dan Kusminingrum (2015) jika kerimbunan penutupan >70% maka tanah yang tererosi akan mendekati nol.

Persentase tutupan tajuk yang tinggi pada kemiringan 27% ini memberi kontribusi yang sangat nyata terhadap lereng di bawah 40% sehingga menyebabkan terjadinya perbedaan nilai rata-rata erosi dengan lereng di atas 40%. Hal ini dapat ditunjukkan pada hasil uji beda 2 rata-rata (Independent Samples T Test) pada lampiran 9, dengan selang kepercayaan 95% dinyatakan terdapat perbedaan rata-rata erosi pada lereng di atas 40% dengan lereng di bawah 40%.

Vegetasi lebat dan berlapis mampu memotong atau mengurangi energi kinetik dan kecepatan air hujan sebelum sampai di atas permukaan tanah. Butiran air hujan yang besar mampu dipecahkan menjadi partikel-partikel kecil oleh tajuk lapisan atas lalu jatuh pada lapisan kedua hingga partikel hujan akan semakin kecil. Sebelum mengenai lapisan permukaan tanah masih tertahan lagi oleh lapisan serasah (Arsyad, 2010). Pinus dengan bentuk daun jarum dapat memecahkan partikel air hujan menjadi partikel butiran-butiran sangat kecil hingga air hujan tidak lagi memiliki kemampuan untuk memercikkan tanah (splash erosion). Kemampuannya untuk memecahkan partikel curah hujan menjadi butiran sangat kecil, menyebabkan air hujan tersebut akan menguap kembali ke atmosfer sebelum jatuh mengenai permukaan tanah (Arsyad, 2010).

Membandingkan dengan hasil penelitian (Topic, *et al.*, 2008) menemukan besarnya kehilangan tanah pada tegakan Pinus hitam (Pinus nigra Arn.) dengan lapisan humus alami dan rumput tebal, kemiringan 32° (62,49%) sebesar 0,0116 ton/ha. Pinus hitam tua dengan kanopi lengkap, tidak ada rumput, kehilangan tanah 0,0204 ton/ha. Kemudian pada tegakan Pinus aleppo (Pinus halepensis M i l l.) yang diawetkan tutupan mahkota lengkap pada kemiringan 20° (36,4%), kehilangan tanah 0,044 ton/ha, sedangkan pada daerah kebakaran tegakan Pinus aleppo dengan kemiringan 20° (36,4%) kehilangan tanahnya sebesar 19,93 t/ha. Hasilnya bahwa hilangnya tanah akibat erosi di daerah yang terbakar dengan kemiringan 20° (36,4%) adalah 463 kali lebih tinggi daripada di bawah tajuk Pinus aleppo yang diawetkan pada kemiringan 26° .

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat dirumuskan kesimpulan sebagai berikut :

1. Penutupan pinus dapat mengendalikan atau menurunkan secara nyata volume limpasan permukaan dan erosi, baik pada kemiringan di bawah 40% maupun di atas 40%.
2. Limpasan permukaan pada lereng di bawah 40% dan di atas 40%, memiliki hubungan yang nyata dengan Intensitas hujan dan penutupan, tetapi tidak ada perbedaan yang nyata antar keduanya.
3. Model regresi dugaan limpasan untuk kemiringan $< 40\%$ dan $> 40\%$ tidak memiliki perbedaan yang nyata, baik intensitas (β_0) maupun tren peningkatan limpasan (β_1 dan β_2) dengan meningkatnya intensitas hujan dan penutupan.
4. Model regresi dugaan erosi untuk kemiringan $<40\%$ dan $>40\%$ memiliki intersep (β_0) yang berbeda nyata dan memiliki tren peningkatan (β_1 dan β_2) yang berbeda nyata atau erosi pada kelas lereng $<40\%$ dan $>40\%$ memiliki hubungan yang nyata dengan Intensitas hujan dan penutupan, namun pada kelas lereng yang lebih besar dapat memiliki erosi yang lebih kecil karena pengaruh penutupan.

B. Saran

Sebaiknya untuk penelitian pengukuran limpasan permukaan dan erosi di bawah tegakan pinus merkusii dilakukan pada panjang lereng yang sama, ketebalan serasah yang sama, jumlah pohon per plot yang sama. Bak penampungan yang dipakai untuk air limpasan harus berkapasitas lebih dari 50 liter dengan tujuan mengantisipasi adanya tumpahan air limpasan terutama pada saat curah hujan sangat tinggi. Pengukuran curah hujan sebaiknya diambil pada periode yang berbeda. Hanya saja akan berkonsekuensi terhadap lama waktu penelitian.

Hasil Penelitian ini akan berimplikasi pada peninjauan ulang penetapan kawasan hutan lindung lereng 40%. Batasan angka ini belum menjadi angka mutlak, sebab hasil penelitian ini menunjukkan bahwa limpasan permukaan pada kelereng <40% dengan >40% tidak berbeda nyata, sedangkan erosi pada regresi dugaannya berbeda nyata akan tetapi ketika terjadi peningkatan penutupan (β_2) maka erosi menjadi lebih kecil meskipun pada lereng >40% karena pengaruh penutupan. Berdasarkan hasil tersebut maka penetapan batas hutan lindung pada lereng mulai 40% masih bisa dinaikkan. Mengenai persentase kemiringannya maka diperlukan penelitian lanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C. 2002. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Penerbit Gadjah Mada University Press, Bulaksumur, Yogyakarta.
- _____. 2004. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Anggilia, M. and A. Djazuli. 2011. *An Overview: Forest Carbon Accounting (Case Study Ulu Masen Ecosystem Aceh Province, Indonesia)*. *Tazkia Islamic Business and Finance Review*. p. 20-35.
- Assouline S. and M.B. Hur M. 2006. *Effects of Rainfall Intensity and Slope Gradient on the Dynamics of Interrill Erosion During Soil Surface Sealing*. *Catena* 66:211-220.
- Arsyad, S. 2010. *Konservasi Tanah dan Air*. Penerbit IPB Press.
- Arsyad, U. 2010. *Analisis Erosi Pada Berbagai Tipe Penggunaan Lahan dan Kemiringan Lereng di Daerah Aliran Sungai Jeneberang Hulu*. Disertasi Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin, UNHAS. Makassar.
- Alamendah. 2010. *Kerusakan Hutan (Deforestasi) di Indonesia*. Word Press.com. <https://alamendah.org/2010/03/09/kerusakan-hutan-deforestasi-di-indonesia/> diunduh 9 Agustus 2016.
- Anna, A.N. 2010. *Analisis Karakteristik Parameter Hidrologi Akibat Alih Fungsi Lahan di Daerah Sukoharjo Melalui Citra Landsat Tahun 1997 dengan Tahun 2002*, *Jurnal Geografi UMS: Forum Geografi, volume 14, Nomor 1, Juli 2010*. Surakarta: Fakultas Geografi UMS.
- _____. 2014. *Analisis Potensi Limpasan Permukaan (Run Off) Menggunakan Model Cook's Di DAS Penyangga Kota Surakarta Untuk Pencegahan Banjir Luapan Sungai Begawan Solo*. Prosiding Seminar Nasional 2014 Pembangunan Berkelanjutan di DAS Bengawan Solo. ISBN: 978-602-70429-7-1.
- Akbarimehr M, and R. Naghdi. 2012. *Assessing the Relationship of Slope and runoff volume on skid trails (Case study: Nav 3 district)*. *Journal of Forest Science* 58, 2012 (8): 357–362.

- Baharuddin, K., Mokhtaruddin, A.M., Nik Muhammad, M. 1995. *Surface Runoff and Soil Loss from Skid Trail and a Logging Road in a Tropical Forest*. *Jurnal of Tropical Forest Science* 7(4): 568-569.
- Bracken LJ, Kirkby MJ. 2005. *Differences in Hillslope Runoff and Sediment Transport Rates Within Two Semi-Arid Catchments in Southeast Spain*. *Geomorphology* 68:183-200.
- Bejarano A. Perez, Solere J.M, Zornoza R, Guerrero C, Arcenegui V, Beneyto J. Mataix, Amat S.Cano. 2010. *Influence of plant species on physical, chemical and biological soil properties in a Mediterranean forest soil*. *Eur J. Forest Res.* 129:15-24. Doi 10.1007/S10342-008-0246-2.
- Badan Metereologi Klimatologi dan Geofisika, 2010. *Kriteria Intensitas Curah Hujan di Wilayah Indonesia*.
- Badan Standarisasi Nasional, 2010. *Klasifikasi Penutup Lahan*. SNI 7645. Jakarta.
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2014. *Luas Kawasan Hutan dan Perairan*. [https://jurnalbumi.com/hutan-lindung/diakses 31 Agustus 2016](https://jurnalbumi.com/hutan-lindung/diakses%2031%20Agustus%202016).
- Chow Te Ven.1964. *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill, Inc. United States of America.
- Chirino E, A. Bonet, J. Bellot, JR. Sanchez., 2006. *Effects of 30-Year-old Aleppo Pine Plantations on Runoff, Soil Erosion, and Plant Diversity in a Semi-Arid Landscape in South Eastern Spain*. *Catena* 65 (2006) 19-29. Doi:10.1016/j.catena.2005.09.003.
- Cerda, A. 1997. *Parent Material and Vegetation Affect Soil Erosion in Eastern Spain*. *Soil Science Society of America Journal*. 63 (2): 362-368.
- Cerdà Artemi, Stefan H. Doerr. 2008. *The Effect of Ash and Needle Cover on Surface Runoff and Erosion in the Immediatepost-fire Period*. *Catena* 74 (2008) 256–263.
- Chairani S dan Jayanti D.S. 2013. *Intersepsi Curah Hujan Pada Tegakan Pohon Pinus (Casuarina cunninghamia)*. *Rona Teknik Pertanian* Volume 6 No.1 April 2013. DOI: [10.17969/rtp.v6i1.361](https://doi.org/10.17969/rtp.v6i1.361). *Jurnal Ilmiah dan Penerapan Keteknikan Pertanian*. ISSN:2085-2614. E-ISSN:2528-2654.

- Cao Longxi, Yin Liang, Yi Wang, Huizhong Lu. 2015. *Runoff and Soil Loss from Pinus Massoniana Forest in Southern China after Simulated Rainfall*. *Catena* 129(2015) 1-8. [Doi.org/10-1016/j.catena.2015.02.009](https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.02.009).
- Dons A. 1987. *Hidrology and Sediment Regime of Apasture Native Forest, and Pine Forest Catchment in the Central North Island, New Zealand*. *New Zealand Journal of Forestry Science* 17 (2/3):161-78(1987).
- Daniel, T.W., et al. 1995. *Prinsip-Prinsip Silvikultur (terjemahan)*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Doerr, S.H., R.A. Shakesby and R.P.D. Walsh. 2000. *Soil Water Repellency: Its causes, Characteristics and Hydrogeomorphological Significance*. *Earth Science Reviews Journal* 51 (1-4):33-65.
- Dinata, R. J. 2007. *Intersepsi pada Berbagai Kelas Umur Tegakan Karet (Hevea brasiliensis) [Skripsi]*. Departemen Kehutanan. Fakultas Pertanian. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Departemen Kehutanan. 2007. *Statistik Kehutanan Indonesia 2006*. Departemen Kehutanan, Jakarta.
- Departemen Kehutanan. 2009. *Statistik Kehutanan Indonesia 2008*. Departemen Kehutanan, Jakarta.
- El-Hassanin, A.S, Labib, T.M. and Gaber, E.I. 1993. *Effect of Vegetation Cover and Land Slope on Runoff and Soil Losses from the Watersheds of Burundi*. *Agric. Ecosystems Environ.*, 43:301-308.
- Ekadinata A, Widayati A, Dewi S, Rahman S, van Noordwijk M. 2011. *Indonesia's Land-use and Land-cover Changes and their Trajectories (1990, 2000 and 2005)*. ALLREDDI Brief 01. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre - ICRAF, SEA Regional office.
- El Kateb. H, et al. 2013. *Soil Erosion and Surface Runoff on Different Vegetation Covers and Slope Gradients: A field experiment in Southern Shaanxi Province, China*. *Catena* 105 (2013) 1–10.
- Fahey B, Rick Jackson. 1997. *Hydrological Impact Converting Native Forest and Grasslands to Pine Plantation, South Island, New Zealand*. *Agricultural and Forest Meteorology* 84 (1997) 69-82.

- Foley, J.A., R. De Fries, G.P. Asner, C. Barford, G. Bonan and S.R. Carpenter. 2005. *Global Consequences of Land Use*. *Science Journal*. 309 (5734). 570-574.
- Forest Watch Indonesia. 2011. *Potret Keadaan Hutan Indonesia Periode Tahun 2000-2009*. Edisi Pertama. ISBN : 978-979-96730-1-5.
- Fang H, L. Sun, Zhenghong T, 2015. *Effects of Rainfall and Slope on Runoff, Soil Erosion and Rill Development: an Experimental Study Two Loess Soils*. *Hydrological Processes*. 29, 2649-2658. Doi: 10.1002/hyp.10392.
- Ghadir, H. and D. Payne. 1988. *The Formation and Characteristics of Splash Following Raindrop Impact on Soil*. *European Journal of Soil Science*. 39(4): 563-575.
- Gilley, J.E., et.al. 2000. *Narrow Grass Hedge Effects on Runoff and Soil Loss*. *Journal of Soil and Water Conservation*. 55:190-196.
- Gunawan G dan Kusminingrum N., 2015. *Penangan Erosi Lereng Galian dan Timbunan Jalan dengan Rumput Vetiver*. Puslitbang Jalan Jembatan Bandung.
- Hammer, W. I. 1981. *Soil Conservation Consultant Report Center for Soil Research, Bogor, Indonesia*
- Hakim., dkk. 1986. *Dasar Ilmu Tanah*. University Lampung, Lampung.
- Hardjowigeno, S. 1995. *Ilmu Tanah*. Akademika Presindo Jakarta. Jakarta.
- Harahap dan Izudin, 2002. *Mengenal Pinus dan Manfaatnya*. <http://kehidupan-liar.blogspot.co.id/2013/11>. Diakses 19/11/2015.
- Hartanto H, Ravi Prabhu, Anggoro S.E. Widayat, Chay Asdak. 2003. *Factors Affecting Runoff and Soil Erosion: Plot Level Soil Loss Monitoring for Assessing Sustainability of Forest Management*. *Forest Ecology and Management* 180 (2003) 361-374. Doi: 10.1016/S0378-1127(02)00656-4.
- Hendromono, H, et al. 2005. *Pemilihan Jenis Pohon untuk Rehabilitasi Lahan Kritis*. *Prosiding Ekspose Penerapan Hasil Litbang Hutan dan Konservasi Alam*. Pa-lembang 15 Desember 2004. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hu-tan dan Konservasi Alam. Bogor. Hal. 24-31.

- Hardiyatmo, H.C. 2006. *Penanganan Tanah Longsor dan Erosi*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. Hal. 308-319.
- Hadi, M.P. 2006. *Pengembangan Model Intersepsi pada Semak Belukar*. *Majalah Geografi Indonesia*. 20 (1): 67–78.
- Harahap, R.M.S. dan Aswandi. 2006. *Pengembangan dan Konservasi Tusam (Pinus merkusii Jungh. et de Vries) Strain Tapanuli dan Kerinci. Prosiding Ekspose Hasil-Hasil Penelitian “Konservasi dan Rehabilitasi Sumberdaya Hutan”*. Hal. 223232. Padang, 20 September 2006. Pusat Litbang Hutan dan Konservasi Alam. Bogor.
- Hanafiah. 2010. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. PT.Raja Grafindo Persada. Jakarta .
- <https://wiwitfatur.wordpress.com/2012/04/21/berapa-luas-hutan-kita-sekarang/>? Diunduh pada tanggal 9 Agustus 2016.
- <http://repository.unri.ac.id/> diakses 3 Agustus 2018.
- Ispriyanto R, Nana M.A, Hendrayanto. 2001. *Aliran Permukaan dan Erosi Di Areal Tumpang Sari Tanaman Pinus merkusii Jungh. Et De Vriese*. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika* Vol. VII No. 1 : 37-47.
- Indrajaya Y, Wuri H. 2008. *Potensi Hutan Pinus merkusii jungh. et de vriese Sebagai Pengendali Tanah Longsor di Jawa (potency of merkus pine (pinus merkusii jungh. et de vriese) forest as landslide control in java.)*. Balai Penelitian Kehutanan Ciamis. *Info Hutan* Vol. V No. 3 : 231-240, 2008.
- Kartasapoetra, A.G. 2000. *Teknologi Konservasi Tanah dan Air*. Rineka Cipta, Jakarta.
- Keputusan Menteri Pertanian Nomor 837/Kpts/Um/11/80 tentang kriteria dan tata cara penetapan hutan hutan lindung. <https://jurnalbumi.com/hutan-lindung/diakses>. Diakses 31 agustus 2016.
- Lee Richard. 1988. *Hidrologi Hutan*. Gadjah Mada University Press.

- Lee, K. E. and R.C. Foster. 1991. Soil Fauna and Soil Structure. *Australian Journal of Soil Research*: 29(6): 745 – 775.
- Liu BY, *et al.* 1994. *Slope Gradient Effects on Soil Loss for Steep Slopes*. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 37:1835-1840.
- Lubis K.S dan Rauf A. 2003. *Indeks Bahaya Erosi pada Beberapa Penggunaan Lahan Inceptisol Desa Telagah Kecamatan Sei Bingei Kabupaten Langkat*.
- Lengkong J.E dan Kawulusan R.I. 2009. *Aspek Erosivitas Hujan dalam Konservasi Tanah dan Air*. Soil Environment Volume 7 No. 1 April 2009:69-72.
- Manan, S. 1976. *Pengaruh Hutan dan Manajemen Daerah Aliran Sungai*. Departemen Manajemen Hutan Fakultas Kehutanan IPB, Bogor.
- Manap A., Abood F. 1990. *Selected Forest Trees with Potensial Application in Malaysian Agroforestry*. Dalam :Agroforestry System and Technologies, Biotrop Special Publication No.39.
- Moreno, *et al.* 2010. *Plot-Scale Effects on Runoff and Erosion Along a Slope Degradation Gradien*. Water Resources Research 46(4):4503.
- Masnang A, Naik S, Sudarsono, Ngaloken G. 2014. *Kajian Tingkat Aliran Permukaan Dan Erosi Pada Berbagai Tipe Penggunaan Lahan Di Sub DAS Jeneberang Hulu*. Jural Agroteknos Maret 2014 Vol. 4 No. 1. Hal 32-37 ISSN: 2087-7706.
- Mechram S, Susi C, Ahmad Z. 2012. *Perbandingan Nilai Intersepsi Pohon Mahoni (Swietenia mahagoni) dan Pohon Pinus (Casuarina cunninghamia)*. Rona Teknik Pertanian Vol. 5 No. 2 Oktober 2012.
- Munandar R, dkk. 2016. *Pemodelan Intersepsi untuk Pendugaan Aliran Permukaan*. Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian AGROTECHNO Volume 1, Nomor 1, April 2016, hal. 62-69.
- Naidu, *et al.* 1996. *Soil Solution Composition and Aggregate Stability Changes Caysed by Long-termfarming at Four Contrasting Site in South Australia*. Aust. J. Soil. Res. 34 : 511 – 527.
- Noviana, L. 2005. *Prediksi Erosi dengan Metode USLE dan Tindakan Koservasi pada Sub DAS Krueng Seuimeum*. Fakultas Teknik Pertanian Universitas Syiah Kuala.

- Nanko, K., N. Hotta and M. Suzuki. 2005. *Evaluating The Influence of Canopy Species and Meteorological Factors and Throughfall Drop Size Distribution*. *Journal of Hydrology*. 329: 422-431.
- Nurpadillah F. Deuis., 2012. *Laju Infiltrasi pada Berbagai Jenis Penggunaan Lahan di DAS Ciambulawung, Lebak Banten*. Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan. IPB.
- Ochoa, P.A., A. Fries, D. Mejia, J.L. Burneo, J.D. Ruiz Sinoga and A. Cerda. 2016. *Effects of Climate, Land Cover and Topography on Soil Erosion Risk in a Semiarid Basin of The Andes*. *Catena Journal*. 140: 31-42
- Paimin, Sukresno dan Mashudi. 2002. *Pengaruh Luas Hutan dalam Daerah Aliran Sungai Terhadap Sedimen dan Limpasan*. (Studi Kasus pada Hutan Mahoni). Proseding.
- 2003. *Dinamika Komunitas Vegetasi Hutan Tanaman Mahoni (Swietenia macrophylla) dalam Perannya Sebagai Pengendali Limpasan dan Erosi*. *Jurnal Pengelolaan DAS*. Surakarta vol.9.3.
- Pinczes, Z. 1981. *Judgement of The Danger of Erosion through the Evaluation Regional Condition*. New York: John Wiley and Sons.
- Pusat Pengembangan Sumberdaya Hutan Perhutani, 2002. *Hutan Pinus dan Hasil Air*. Perhutani. Cepu. Hal. 1213.
- Pudjiharta, Ag. 2005. *Permasalahan As-pek Hidrologis Hutan Tusam dan Upaya Mengatasinya*. *Jurnal Anali-sis Kehutanan* 2 (2) : 129-144. Ba-dan Litbang Kehutanan. Jakarta
- Pramono Irfan. B dan Nining W. 2009. *Model Pengendalian Run-off dan Erosi dengan Metode Vegetatif (studi kasus Sub DAS Dungwot)*. Balai Penelitian Kehutanan Solo.
- Prats Sergio A. et.al. 2012. *Effectiveness of Forest Residue Mulching in Reducing Post-fire Runoff and Erosion in a Pine and a Eucalypt Plantation in North-central Portugal*. *Geoderma Geoderma* 191 (2012) 115–124. Elsiwier.
- Rutter, A. J., Kershaw, K. A., Romns, P. C. and Morton, A. J. 1971. *A Predictive Model of Rainfall Interception in Forests*. Derivation of the model from observations in a plan- tation of Corsican pine. *Agric.*

- Meteorol., 9: 367-384. Department of Botany, Imperial College, London (Great Britain).
- Rachman, *at al.* 2004. *Soil Hydraulic Properties Influenced by Stiff-Stemmed Grass Hedge Systems*. Soil Science Society of American Journal. 68: 1386-1393.
- Rahim, S.E. 2006. *Pengendalian Erosi Tanah Dalam Rangka Pelestarian Lingkungan Hidup*. Penerbit Bumi Aksara, Jakarta.
- Rumaijuk A.F. 2009. *Kajian Tingkat Bahaya Erosi (TBE) Pada Penggunaan Lahan Tanaman Industri (Kopi) di Sub DAS Lau Biang (Kawasan Hulu DAS Wampu)*. Departemen Teknologi Pertanian. USU.
- Razafindrabe Bam H. N, He Bin, Inoue Shoji, Ezaki Tsugio, Shaw Rajib. 2010. *The Role of Forest Stand Density in Controlling Soil Erosion: Implications to Sediment-Related Disasters in Japan*. Environ Monit Assess (2010) 160:337–354 DOI 10.1007/s10661-008-0699-2.
- Ramadhan M.M, Teguh H. 2014. *Analisa Perbandingan Curah Hujan Berdasarkan Data Citra NOAA AVHRR dengan Data Curah Hujan di Lapangan*. Jurnal GEOID Volume 10. No 1.
- Sarief, S. 1986. *Konservasi Tanah dan Air*. Pustaka Buana. Bandung.
- Seta, A. K.1987. *Konservasi Sumber Daya Tanah dan Air*. Kalam Mulia, Jakarta.
- Sinukaban, N. 1994. *Membangun Pertanian Menjadi Lestari dengan Konservasi*. Faperta IPB. Bogor.
- Sudjoko, S.A., Suyono dan Darmadi. 1998. *Kajian Neraca Air Hutan Pinus di KPH Banyumas Timur*. Rangkuman Penelitian tahun 1994-1997. Fakultas Kehutanan UGM Yogyakarta.
- Sophocleus, M. 2002. *Intercation Between Groundwater and Surface Water: The State of The Science*. Hydrogeology Journal. 10 (1):52-67.
- Suripin. 2004. *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*. ANDI. Yogyakarta.
- Sidle RC, Hirano T, Gomi T, Terajima T. 2007. *Hartonian Overland Flow from Japanese Forest Plantation-on Aberration, the Real Thing, or Something in Between?* Hydrological Processes, 21:3237-3247. Doi.10.1002/hyp.6876.

- Sucipto, 2008. *Kajian Sedimentasi di Sungai Kaligarang dalam Upaya Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Kaligarang Semarang*. Semarang: Tesis Magister Ilmu Lingkungan Program Pasca Sarjana UNDIP.
- Suratman, 2008. *Permasalahan Pengelolaan Lahan Pertanian di Wilayah Tepian Danau Toba*. Prosiding. Strategi Penanganan Sumberdaya Lahan untuk Mendukung Kedaulatan Pangan dan energi. 22-23 desember 2008. IPB, Bogor. Hal. 478-487.
- Suwarna U, Harnios A, Mohammad R. 2009. Erosi Tanah Akibat Operasi Pemanenan Hutan. JMHT Vol. XV, (2): 61-65, Agustus 2009 Artikel Ilmiah ISSN: 0215-157X.
- Setyowati, Dewi Lies noor., 2010. *Hubungan Hujan dan Limpasan pada Sub DAS Kecil Penggunaan Lahan Hutan, Sawah, Kebun Campuran di DAS Kreo*, Jurnal Geografi UMS: *Forum Geografi*, volume 24, Nomor 1, Juli 2010:39 – 56 Surakarta.
- Sugiarto D.P, 2013. *Kawasan Lindung dan Metode Skoring (Kelerengan, Tanah, Hujan) Fungsi Kawasan Hutan*. <https://tnrawku.wordpress.com/2013/06/26/kawasan-lindung-dan-metode-skoring-kelerengan-tanah-hujan-fungsi-kawasan-hutan>. diakses 31 Agustus 2016.
- Suryatmojo H. 2013. *Impacts of the Intensive Forest Management System on Runoff and Erosion Characteristics*. Dissertation. Kyoto University. Doi.org/10.14989/doctor.K17898.
- Suryatmojo H, M.Fujimoto, K.Kosugi dan T. Mizuyama. 2014. *Runoff and soil erosion characteristics in different periods of an intensive forest management system in a tropical Indonesia rainforest*. Int. J. Sus. Dev. Plann. Vol. 9, No. 6 (2014) 830–846. ISSN: 1743-7601 (paper format), ISSN: 1743-761X (online), <http://journals.witpress.com>. DOI: 10.2495/SDP-V9-N6-830-846.
- Suryatmojo H. 2015. *Rainfall-runoff investigation of pine forest plantation in the upstream area of Gajah Mungkur reservoir*. Procedia Environmental Sciences 28 (2015) 307 – 314. doi: 10.1016/j.proenv.2015.07.039. Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license.

Slamet B, 2015. *Intersepsi dan Aliran Permukaan pada PADA Transformasi Hutan Hujan Tropika Dataran Rendah Jambi*. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.

Utomo, W.H. 1989. *Konservasi Tanah di Indonesia*. CV.Rajawali. Jakarta.

Topić Vlado, Igor Anić, Butorac Lukrecija. 2008. *Effects of Stands of Black Pine (Pinus nigra a r n.) and Aleppo pine (Pinus halepensis m i l l.) on the Protection of Soil from Erosion*. *Ekológia (Bratislava)* Vol. 27, No. 3, p. 287–299.

Vertessy R.A. 2001. *Impacts of Plantation Forestry on Catchment Runoff*. Plantations, Farm Forestry and Water. Workshop Proceedings Publication No. 01/20. RIRDC Publication Melbourne. ISBN 0 642 58242 4. ISSN 1440-6845.

Zulkarnain and Widayati. 2015. *Deforestasi dan Degradasi Hutan di Kutai Barat, Indonesia*. Brief 45. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia Regional Program.

Zachar, D. 1982. *Soil Erosion*. Elsevier Scientific Publishing Company : Forest Research Institute, Zvolen, Czechoslovakia.

Zuazo, P.H.D. and C.R.R. Pleguezuelo. 2009. *Soil Erosion and Runoff Prevention by Plant Covers: A Review*. *Sustainable Agriculture Journal*. 785-811.

Wischmeier, W. H., and Smith, D.D. 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses a Guide to Conservation Planning*. U.S. Departement of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537.

World Agroforestry Centre (Tanpa Tahun). *Deforestasi dan Degradasi Hutan di Kutai Barat, Indonesia*. Brief No.45.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel regresi hubungan lereng (Z), intensitas dan penutupan dengan limpasan permukaan

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0,310 ^a	0,096	0,085	0,013

a. Predictors: (Constant), tutupan_pinus, intensitas, lereng

Lampiran 2. Tabel total rata-rata limpasan lereng < 40% dan > 40%

	Lereng	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
limpasan	Lereng > 40%	117	0,014	0,016	0,0015
	Lereng < 40%	117	0,012	0,012	0,0011

Lampiran 3. Tabel Independent Samples T Test (uji beda 2 rata-rata) limpasan pada lereng < 40% dan > 40%

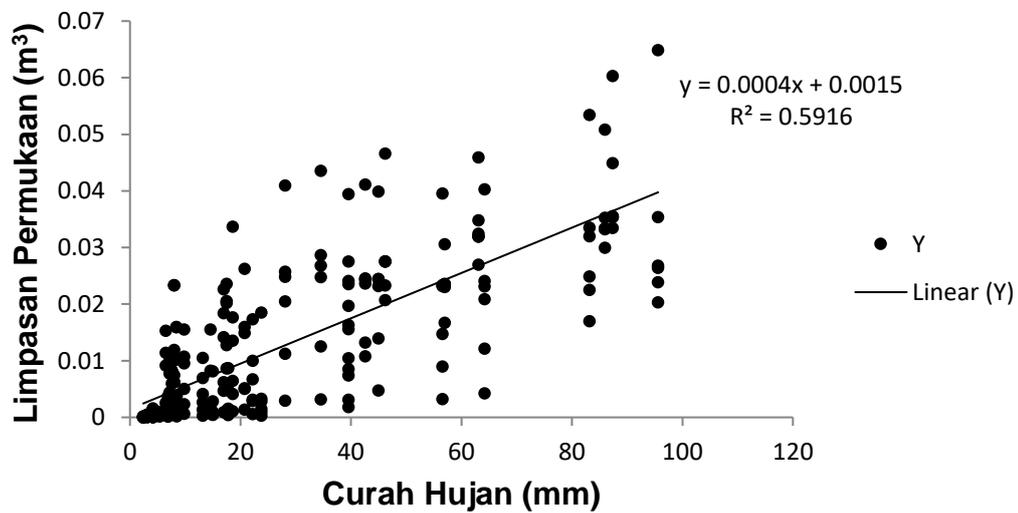
	Levene's Test for Equality of Variances	t-test for Equality of Means								
		F	Sig.	T	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
limpasan	Equal variances assumed	4,229	0,041	1,155	232	0,249	0,0021	0,0018	-0,0015	0,0057
	Equal variances not assumed			1,155	216,591	0,250	0,0021	0,0018	-0,0015	0,0057

Lampiran 4. Tabel uji duncan hubungan intensitas dengan limpasan pada lereng < 40% dan > 40%

intensitas	limpasan (m ³ /plot)	
	1	2
ringan	0,006	
sangat lebat	0,007	
sedang	0,014	0,014
lebat		,018

Lampiran 5. Tabel uji duncan hubungan penutupan dengan limpasan permukaan pada lereng < 40% dan > 40%

tutupan_pinus	limpasan (m3/plot)	
	1	2
lebat	0,007	
sedang		,0143
jarang		,0157



Lampiran 6. Grafik hubungan curah hujan dengan limpasan permukaan pada lereng < 40% dan > 40%

Lampiran 7. Tabel regresi hubungan lereng (Z), intensitas dan penutupan dengan erosi

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,382 ^a	0,146	0,135	60,533

a. Predictors: (Constant), Tutupan_pinus, intensitas, Lereng

Lampiran 8. Tabel total rata-rata erosi pada lereng < 40% dan > 40%

	lereng	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
erosi	kemiringan > 40%	117	54,09	91,102	8,422
	kemiringan < 40%	117	36,74	54,609	5,049

Lampiran 9. Tabel Independent Samples T Test (uji beda 2 rata-rata) erosi pada lereng < 40% dan > 40%

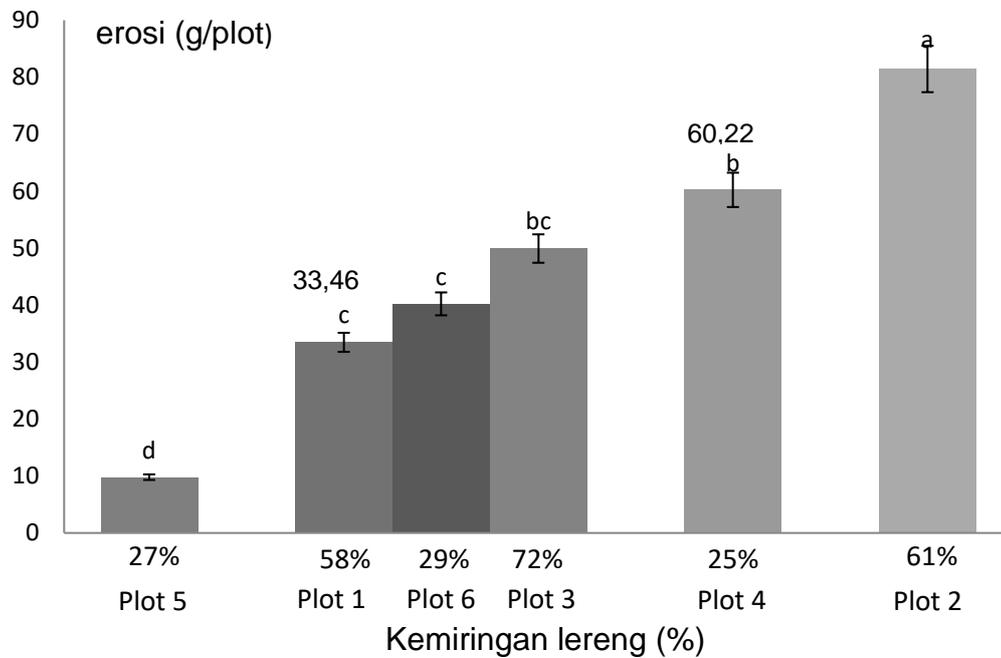
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	16,569	0,000	2,500	232	0,013	24,553	9,820	5,206	43,900
erosi Equal variances not assumed			2,500	189,829	0,013	24,553	9,820	5,184	43,923

Lampiran 10. Tabel uji duncan pengaruh intensitas terhadap erosi pada lereng < 40% dan > 40%

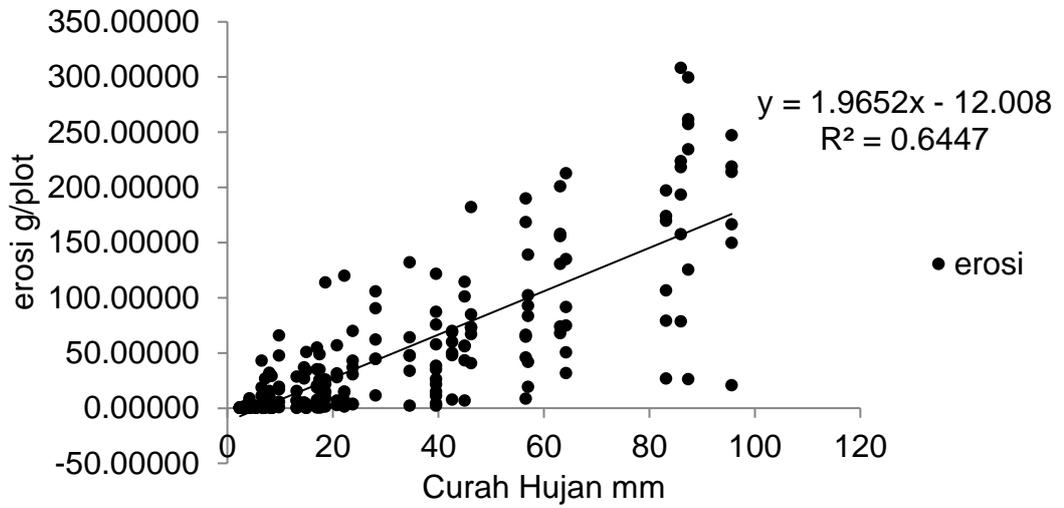
Intensitas	Erosi (g/plot)	
	1	2
ringan	15,022	
sangat lebat	26,034	
sedang	44,945	44,945
lebat		79,702

Lampiran 11. Tabel uji duncan pengaruh penutupan terhadap erosi pada lereng < 40% dan > 40%

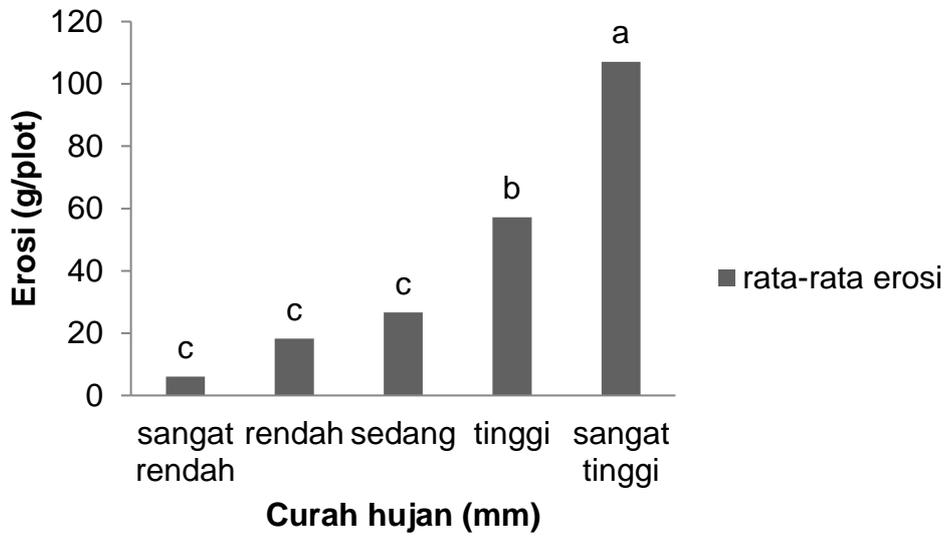
Penutupan pinus	erosi (g/plot)	
	1	2
lebat	9,789	
sedang		56,021
jarang		60,224



Lampiran 12. Uji duncan erosi pada setiap plot dan kemiringan



Lampiran 13. Grafik hubungan curah hujan dengan erosi pada lereng <40% dan >40%



Lampiran 14. Uji beda nyata hubungan curah hujan dengan erosi pada lereng < 40% dan > 40%

Lampiran 15. Tabel Rata-rata limpasan berdasarkan intensitas hujan pada lereng < 40% dan > 40%

Z.Dummy	Intensitas Hujan	Mean	N
lereng < 40%	ringan	0,006	24
	sedang	0,013	54
	lebat	0,016	36
	sangat lebat	0,007	3
	Total	0,012	117
lereng > 40%	ringan	0,007	24
	sedang	0,015	54
	lebat	0,019	36
	sangat lebat	0,008	3
	Total	0,014	117
Total	ringan	0,006	48
	sedang	0,014	108
	lebat	0,017	72
	sangat lebat	0,007	6
	Total	0,013	234

Lampiran 16. Tabel Rata-rata erosi berdasarkan intensitas hujan pada lereng < 40% dan > 40%

Z_Dummy	Intensitas Hujan	Mean	N
lereng < 40%	ringan	11,732	24
	sedang	35,140	54
	lebat	57,841	36
	sangat lebat	12,387	3
	Total	36,740	117
lereng > 40%	ringan	18,312	24
	sedang	48,680	54
	lebat	87,258	36
	sangat lebat	39,681	3
	Total	54,090	117
Total	ringan	15,022	48
	sedang	41,910	108
	lebat	72,550	72
	sangat lebat	26,034	6
	Total	45,415	234

Lampiran 17. Inventarisasi tegakan disekitar plot >40%

No	Jenis Pohon	Kelas	Keliling(cm)	Diameter (cm)	Tbc (m)	Ttot (m)
1	<i>Sapindaceae</i>	Semai	0	0	0	0
2	<i>Cinnamomon Sp</i>	Semai	0	0	0	0
3	<i>Sapindaceae</i>	Semai	0	0	0	0
4	<i>Cinnamomon Sp</i>	Pancang	10	3,18	4,54	7,97
5	<i>Cinnamomon Sp</i>	Pancang	11	3,50	4,73	8,23
6	<i>Cinnamomon Sp</i>	Tiang	32	10,19	4,54	9,29
7	<i>Sapindaceae</i>	Tiang	33	10,51	2,89	8,75
8	<i>SP1</i>	Pohon	90	28,66	7,02	11,48
9	<i>Pinus Merkusii</i>	Pohon	100	31,85	8,23	14,75
10	<i>Pinus Merkusii</i>	Pohon	130	41,40	12,20	20,29
11	<i>Pinus Merkusii</i>	Pohon	140	44,59	8,48	18,80
12	<i>Pinus Merkusii</i>	Pohon	260	82,80	3,42	21,98
13	<i>Pinus Merkusii</i>	Pohon	180	57,32	7,73	19,52
14	<i>Pinus Merkusii</i>	Pohon	130	41,40	10,17	19,52
15	<i>Pinus Merkusii</i>	Pohon	135	42,99	9,29	21,98
16	<i>Pinus Merkusii</i>	Pohon	120	38,22	3,79	19,52
17	<i>Pinus Merkusii</i>	Pohon	165	52,55	7,25	18,80
18	<i>Pinus Merkusii</i>	Pohon	190	60,51	8,48	25,04
19	<i>Alstonia Scholaris</i>	Pohon	80	25,48	4,54	20,29

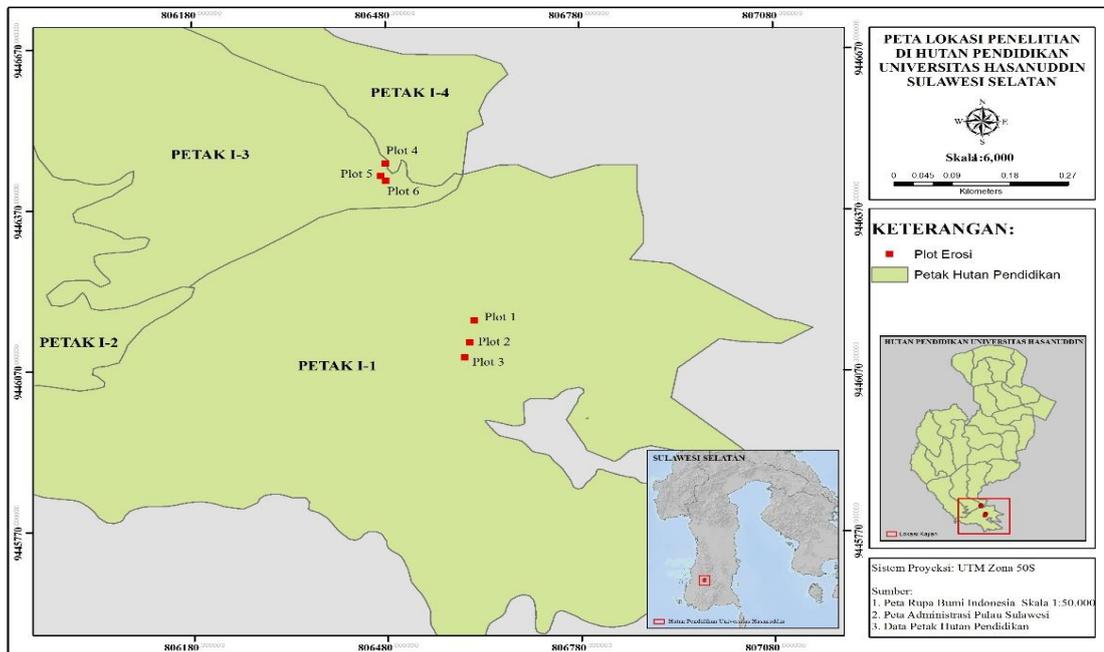
$$\begin{aligned}
 \text{Kerapatan Tegakan} &= \frac{\text{Jumlah Individu Pohon}}{\text{Luas Bidang Pengamatan (m}^2\text{)}} \\
 &= 11 \text{ pohon}/400\text{m}^2
 \end{aligned}$$

Lampiran 18. Inventarisasi pohon <40%

No	Jenis Pohon	Kelas	Keliling(cm)	Diameter (cm)	Tbc	Ttot
1	<i>Liana</i>	Semai	0	0	0	0
2	<i>Maleastoma Sp</i>	Semai	0	0	0	0
3	<i>Leea indica</i>	Semai	0	0	0	0
4	<i>Leea indica</i>	Semai	0	0	0	0
5	<i>Sapindaceae</i>	Semai	0	0	0	0
6	<i>Chromolaena odorata</i>	Semai	0	0	0	0
7	<i>Cinnamomon Sp</i>	Semai	0	0	0	0
8	<i>Liccea</i>	Pancang	30	9,55	3,06	6,80
9	<i>Liccea</i>	Pancang	29	9,24	3,42	9,02
10	<i>Foffea malayana</i>	Pancang	18	5,73	2,18	7,97
11	<i>Liccea</i>	Pancang	20	6,37	2,53	6,36
12	<i>Foffea malayana</i>	Pancang	20	6,37	0,00	6,36
13	<i>Foffea malayana</i>	Pancang	12	3,82	0,00	4,35
14	<i>Flacourtia rukam</i>	Pancang	11	3,50	0,00	4,92
15	<i>Sapindaceae</i>	Tiang	50	15,92	3,42	5,93
16	<i>Cinnamomon Sp</i>	Tiang	35	11,15	2,89	8,23
17	<i>Cinnamomon Sp</i>	Tiang	50	15,92	3,61	8,75
18	<i>Sapindaceae</i>	Tiang	30	9,55	2,35	5,72
19	<i>Sapindaceae</i>	Tiang	42	13,38	2,35	5,52
20	<i>Sapindaceae</i>	Tiang	50	15,92	2,71	5,32
21	<i>Sapindaceae</i>	Tiang	60	19,11	3,79	8,75
22	<i>Pinus merkusii</i>	Pohon	130	41,40	7,49	15,76
23	<i>Pinus merkusii</i>	Pohon	180	57,32	3,24	11,14
24	<i>Pinus merkusii</i>	Pohon	210	66,88	3,24	12,59
25	<i>Cinamomon</i>	Pohon	90	28,66	2,53	6,36
26	<i>Pinus merkusii</i>	Pohon	140	44,59	9,02	13,40
27	<i>Pinus merkusii</i>	Pohon	170	54,14	8,75	14,75
28	<i>Pinus merkusii</i>	Pohon	300	95,54	3,42	12,98
29	<i>Pinus merkusii</i>	Pohon	100	31,85	3,24	13,40
30	<i>Pinus merkusii</i>	Pohon	220	70,06	4,92	16,88
31	<i>Pinus merkusii</i>	Pohon	200	63,69	4,54	12,98
32	<i>sp2</i>	Pohon	110	35,03	3,06	7,02

$$\begin{aligned} \text{Kerapatan Tegakan} &= \frac{\text{Jumlah Individu Pohon}}{\text{Luas Bidang Pengamatan (m}^2\text{)}} \\ &= 11 \text{ pohon}/400\text{m}^2 \end{aligned}$$

Lampiran 19. Lokasi Penelitian



Lampiran 20. Gambar Plot



Plot 1



Plot 2



Plot 3



Plot 4



Plot 5



Plot 6

Lampiran 21. Gambar pembuatan plot dan pengamatan

Pembuatan Plot



Pengambilan sampel



Pengambilan data sekunder



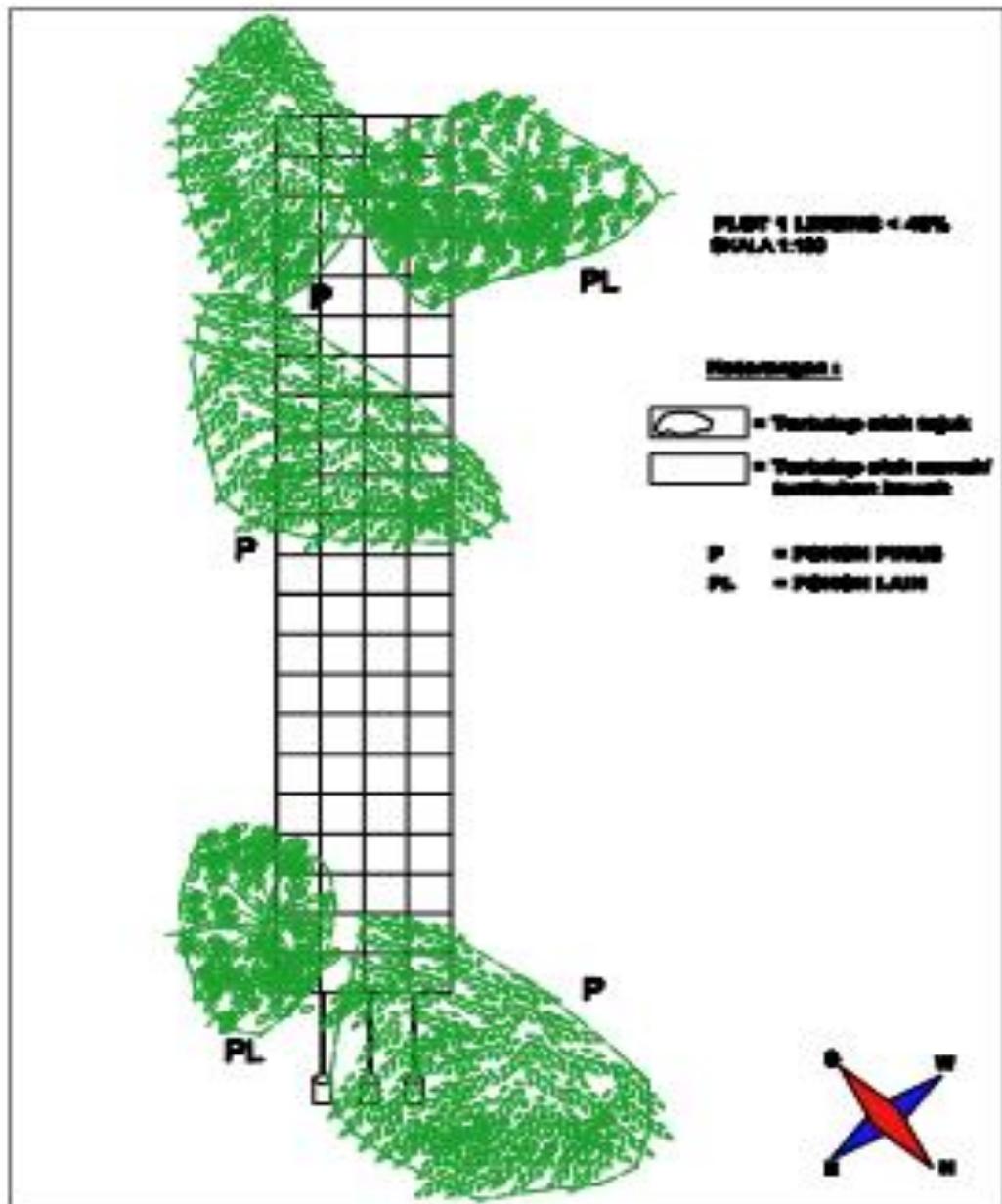
Lampiran 22. Gambar analisis laboratorium



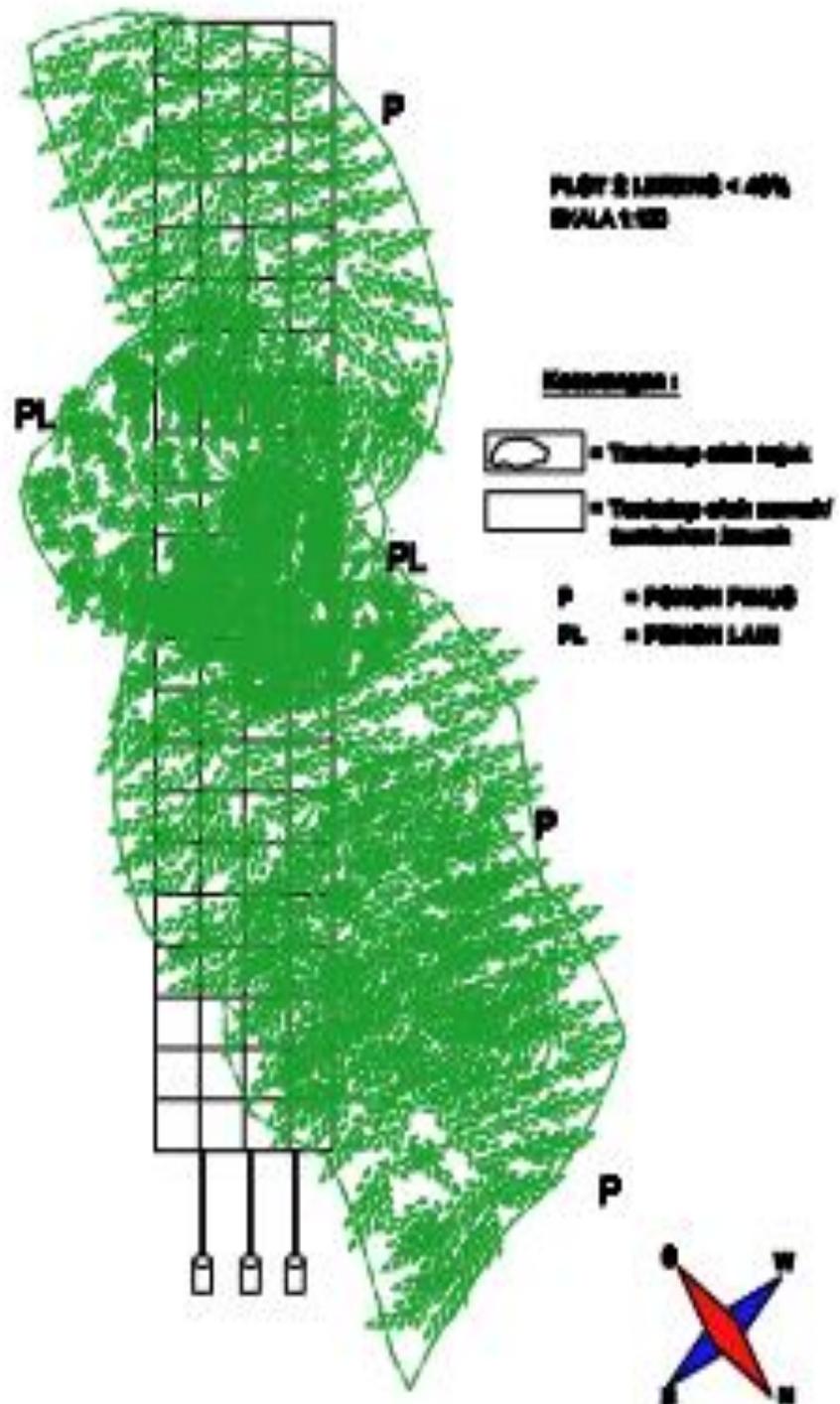
Lampiran 23. Tabel data sifat fisik tanah, persentasi penutupan, panjang lereng dan ketebalan serasah pada lereng < 40% dan >40%

Lereng	Plot	Persentasi Tutupan Tajuk Pinus (%)	Panjang Lereng (m)	Ketebalan Serasah (cm)	Jenis Tanah	Solum (cm)	C-Organik (%)	Struktur tanah	Kelas Tekstur	Laju Infiltrasi (mm/jam)	Permeabilitas (cm/jam)
< 40%	1	32,95	119	0,8	Dystrudepts	>90	2,09	Granular	Lempung berliat (clay loam)	200	3,5
	2	77,27	61	2							
	3	45,45	35	1,9							
	Jumlah	155,67	215	4,7							
	Rata-rata	51,89	71,67	1,57							
> 40%	1	53,41	48,1	3	Dystrudepts	>90	1,89	Granular	Lempung berliat (clay loam)	148	2,9
	2	55,68	48,47	1,6							
	3	47,16	47,35	3,3							
	Jumlah	156,25	143,92	7,9							
	Rata-rata	52,08	47,97	2,63							

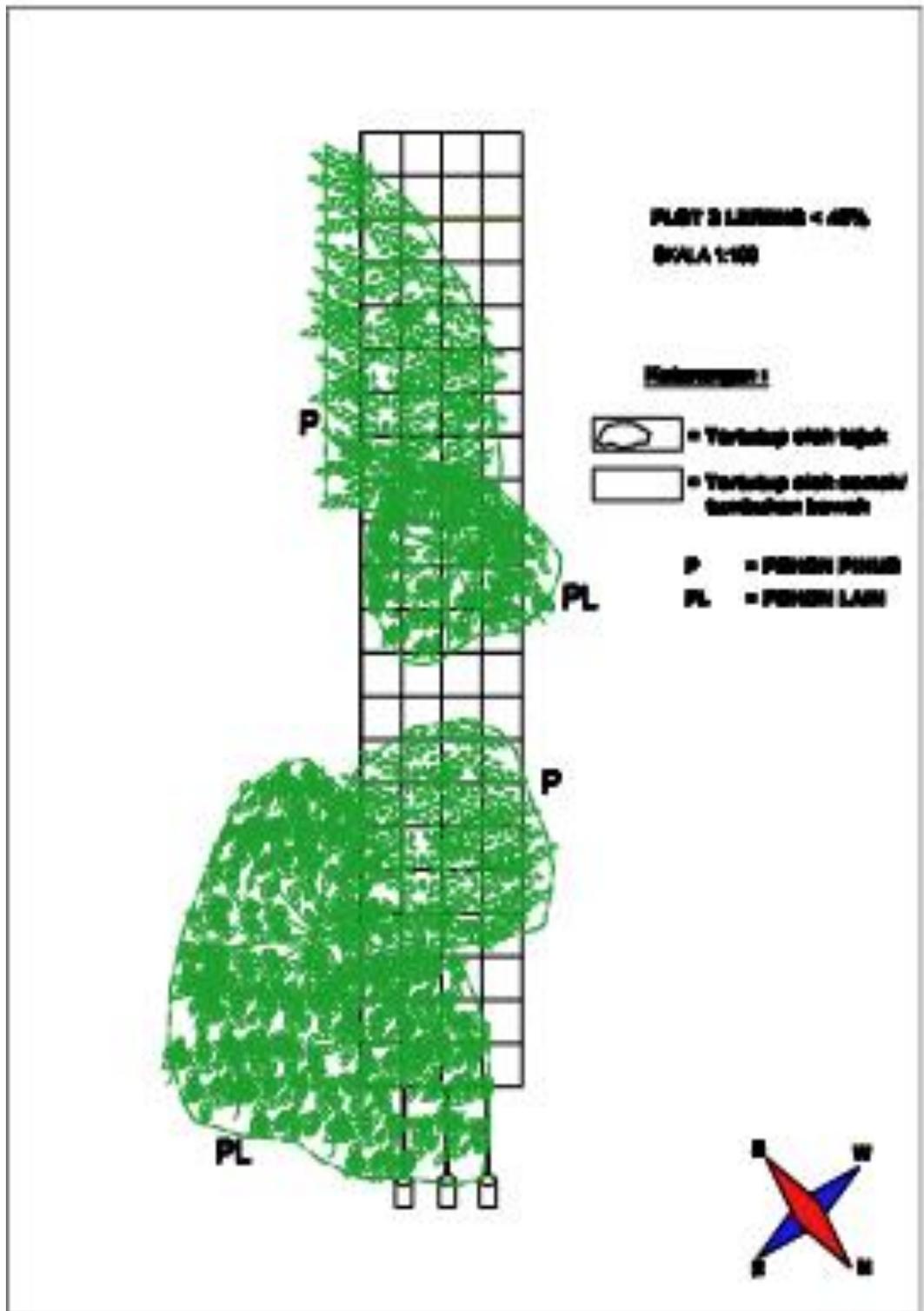
Lampiran 24. Penutupan tajuk plot 1 lereng < 40%



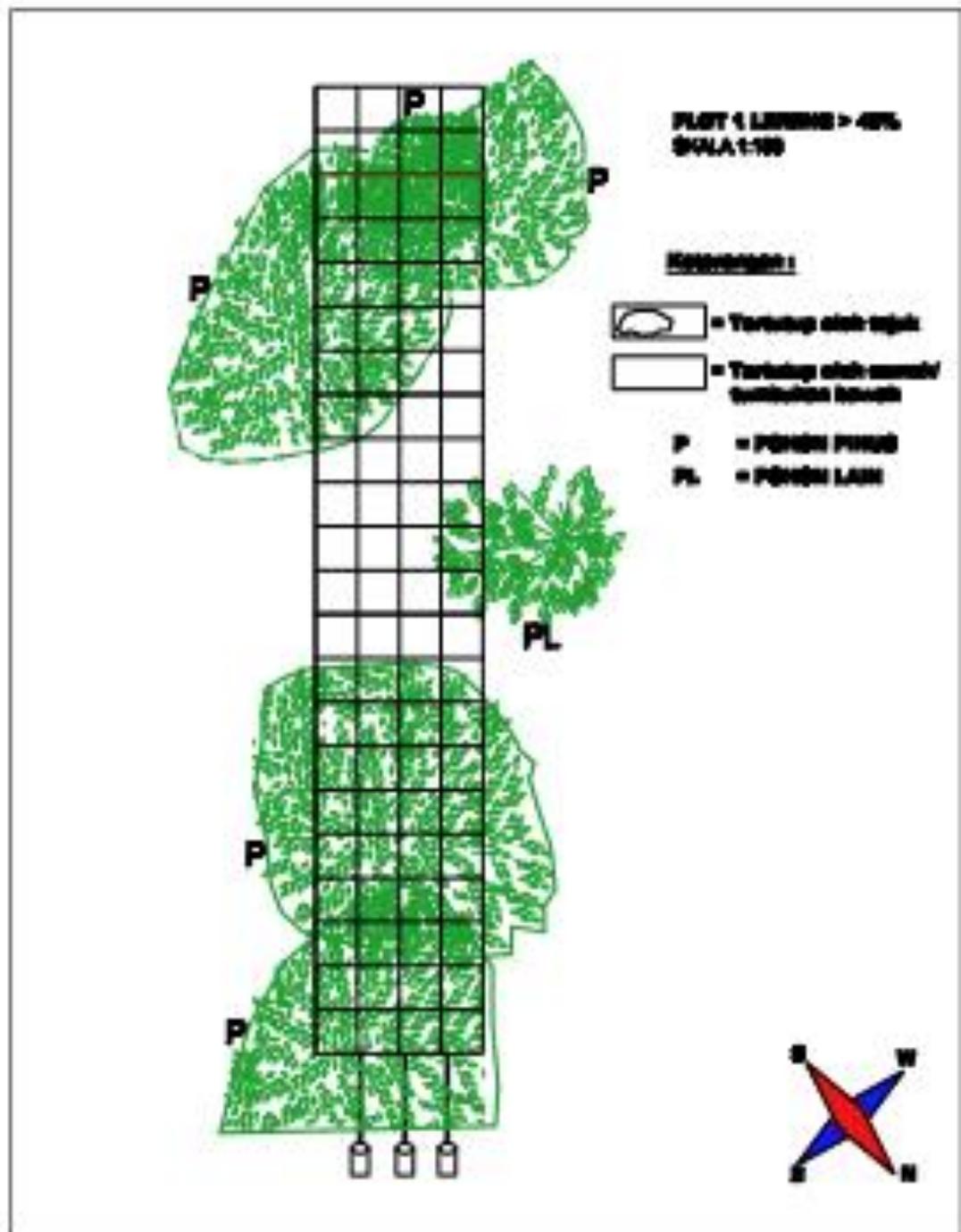
Lampiran 25. Penutupan tajuk plot 2 lereng < 40%



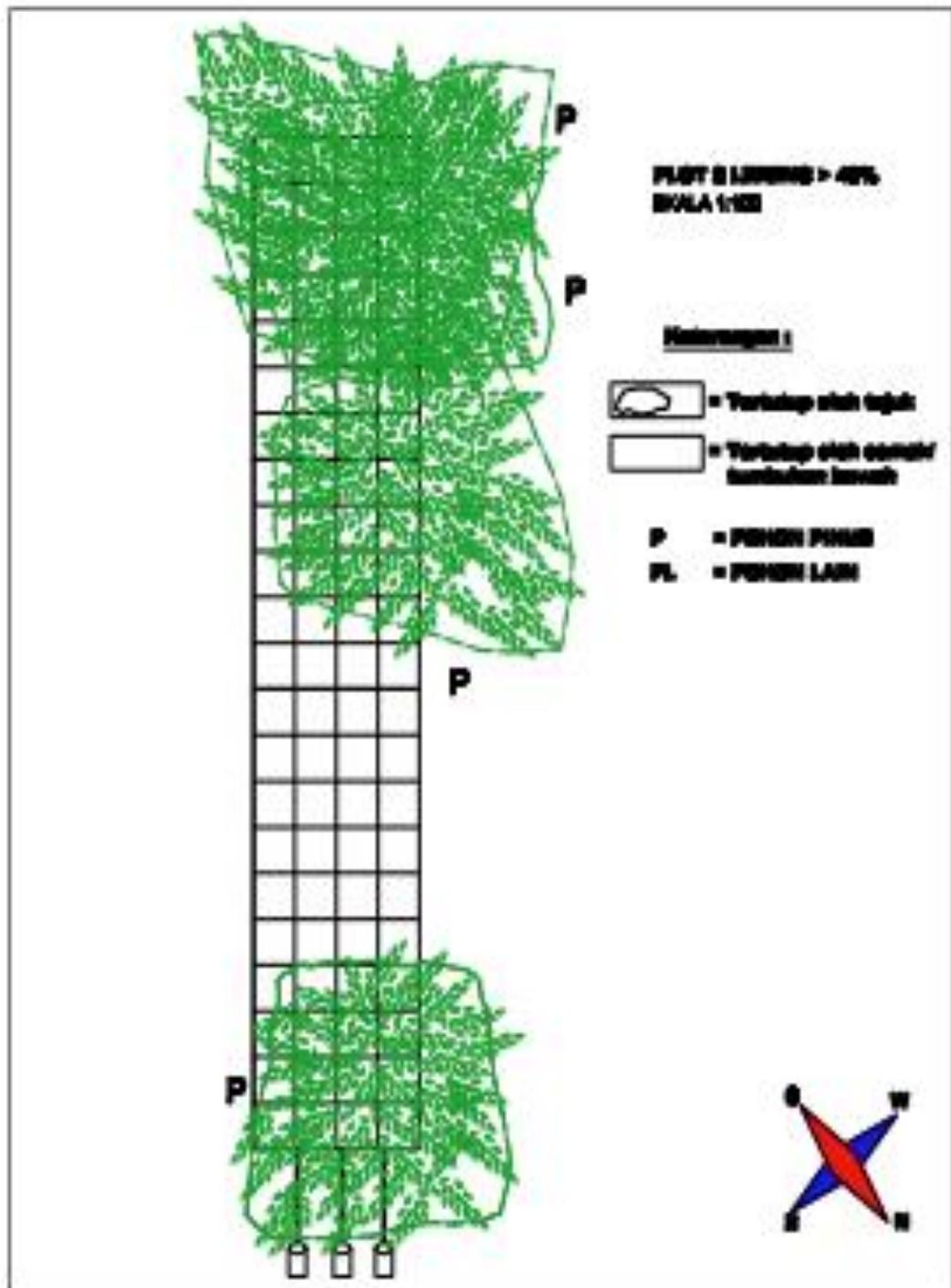
Lampiran 26. Penutupan tajuk plot 3 lereng < 40%



Lampiran 27. Penutupan tajuk plot 1 lereng > 40%



Lampiran 28. Penutupan tajuk plot 2 lereng > 40%



Lampiran 29. Penutupan tajuk plot 3 lereng > 40%

