

**KAJIAN TINGKAT BAHAYA EROSI TANAH MENGGUNAKAN MODEL
RUSLE DI DAS MIKRO BANGSRI, KABUPATEN MALANG**

Oleh
RINDY AUDINA PUTRI



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
MALANG
2019**

**KAJIAN TINGKAT BAHAYA EROSI TANAH MENGGUNAKAN MODEL
RUSLE DI DAS MIKRO BANGSRI, KABUPATEN MALANG**

Oleh

**RINDY AUDINA PUTRI
145040201111176**

**PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI
MINAT MANAJEMEN SUMBERDAYA LAHAN**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar
Sarjana Pertanian Strata Satu (S-1)**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN TANAH
MALANG**

2019

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini merupakan hasil penelitian saya sendiri, dengan bimbingan komisi pembimbing. Skripsi ini tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar di perguruan tinggi manapun dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang dengan jelas ditunjukkan rujukannya dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Malang, Mei 2019

Rindy Audina Putri



LEMBAR PERSETUJUAN

Judul : Kajian Tingkat Bahaya Erosi Tanah Menggunakan Model RUSLE
di DAS Mikro Bangsri, Kabupaten Malang

Nama : Rindy Audina Putri

NIM : 145040201111176

Jurusan : Tanah

Program Studi : Agroekoteknologi

Disetujui

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping II,

Dr. Ir. Sudarto, MS.
NIP. 19560317 198303 1 003

Aditya Nugraha Putra SP., MP.
NIK. 20160989 1227 1 001

Diketahui,

Ketua Jurusan Tanah,

Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU.
NIP. 19540501 198103 1 006

Tanggal Persetujuan :

LEMBAR PENGESAHAN

Mengesahkan

MAJELIS PENGUJI

Penguji I

Penguji II

Syahrul Kurniawan, SP., MP., P.hD.
NIP. 19791018 200501 1 002

Dr. Ir. Sudarto, MS.
NIP. 19560317 198303 1 003

Penguji III

Penguji IV

Aditya Nugraha Putra, SP., MP.
NIK. 20160989 1227 1 001

Iva Dewi Lestariningsih, SP., M.Agr,SC
NIK. 201311750806 2 001

Tanggal Lulus :

Skripsi ini ku persembahkan,

*“Untuk kedua Orangtuaku yang tak pernah berhenti memanjatkan do’a kepadaNya,
yang menjadi alasan untuk tidak pernah berhenti berjuang”.*

*“Untuk kedua adikku Monika dan Duta,
yang slalu memberikan semangat dan kasih sayang”.*

*“Untuk yang sedang berjuang,
Q.S. Al-Insyirah: 5-6”.*

RINGKASAN

RINDY AUDINA PUTRI. 145040201111176. **Kajian Tingkat Bahaya Erosi di DAS Mikro Bangsri, Kabupaten Malang.** Di bawah bimbingan Sudarto sebagai Pembimbing utama dan Aditya Nugraha Putra sebagai Pembimbing pendamping.

Manusia memiliki peran terhadap erosi tanah yang terjadi. Peranan manusia tersebut adalah alih fungsi lahan serta pemilihan vegetasi yang akan ditanam. Apabila peranan atau tindakan manusia tersebut tidak sesuai dengan daya dukung lahan maka akan terjadi degradasi lahan yaitu erosi yang dipercepat. Selain dari peranan manusia, karakteristik pada setiap wilayah akan mempengaruhi laju erosi. DAS Mikro Bangsri memiliki karakteristik relief berbukit sampai bergunung, lereng yang curam hingga terjal, serta tutupan lahan dan penggunaan lahan yang beragam. Karakteristik wilayah ini dapat memperbesar laju erosi. Oleh karena itu, pemetaan estimasi erosi tanah di DAS Mikro Bangsri perlu dilakukan agar diketahui tingkat bahaya erosi sehingga dapat menjadi keputusan dalam upaya arahan dan tata kelola lahan. Tujuan penelitian ini adalah 1) menyusun peta sebaran bahaya erosi di DAS Mikro Bangsri, dan 2) menganalisis akurasi dari peta prediksi bahaya erosi dengan menggunakan model RUSLE di DAS Mikro Bangsri. Hipotesis dari penelitian ini adalah 1) DAS Mikro Bangsri terletak di lereng tengah Gunung Jembangan-Semeru sehingga memiliki karakteristik lereng yang curam hingga terjal, sebaran bahaya erosi terjadi pada daerah yang memiliki lereng yang curam hingga terjal, 2) pemetaan tingkat bahaya erosi menggunakan model RUSLE memiliki akurasi yang tinggi.

Penelitian ini dilaksanakan di DAS Mikro Bangsri, Kecamatan Wajak, Kabupaten Malang dari bulan Juni 2018 hingga Mei 2019. Penelitian ini dilaksanakan dalam empat tahapan yaitu (1) tahap persiapan dan pembuatan peta awal, (2) tahap survei dan validasi lapangan dengan pengamatan indikator erosi seperti *pedestals*, *armour layer*, singkapan akar, erosi alur, dan erosi parit, (3) tahap analisis di laboratorium fisika dan kimia yaitu tekstur, permeabilitas, berat isi, dan c-organik, (4) tahap pengolahan dan analisis data. Peta prediksi tingkat bahaya erosi menggunakan model RUSLE kemudian dilakukan uji validasi menggunakan metode *confusion matrix* dan *kappa coefficient* untuk mengetahui tingkat akurasi peta erosi tersebut.

Sebaran tingkat bahaya erosi yang terjadi di DAS Mikro Bangsri terbagi menjadi 5 kelas bahaya erosi yaitu sangat ringan (1378,88 ha), ringan (362,87 ha), sedang (546,2 ha), berat (454,49 ha), dan sangat berat (242,63 ha). Tingkat bahaya erosi yang mendominasi di DAS Mikro Bangsri adalah bahaya erosi sangat ringan, namun terdapat 4 titik lokasi pengamatan dengan laju erosi yang telah melebihi erosi yang diperbolehkan (EDP) dengan laju EDP berkisar antara 6 ton.ha⁻¹.th⁻¹ hingga 66 ton.ha⁻¹.th⁻¹. Prediksi erosi dengan menggunakan model RUSLE memiliki akurasi keseluruhan yang tinggi, yaitu 82,5%, dan menghasilkan akurasi indeks Kappa yang baik, yaitu 0,71. Berdasarkan hasil uji akurasi tersebut dapat dikatakan bahwa model RUSLE dapat digunakan untuk memprediksi erosi di DAS Mikro Bangsri.

SUMMARY

RINDY AUDINA PUTRI. 145040201111176. **Study of Soil Erosion Using RUSLE Model in Bangsri Micro Watershed, Malang Regency.** Under the Guidance of Sudarto as Supervisor, and Aditya Nugraha Putra as Supervising Counselor.

Humans have a role in soil erosion. These roles are land conversion and the selection of vegetation to be planted. If the role or action of humans is not following the carrying capacity of the land, land degradation will occur which is accelerated erosion. Apart from the role of humans, the characteristics of each region will affect the rate of erosion.

The Bangsri micro watershed has relief characteristics of hilly to mountainous, steep to steep slopes, and diverse land cover and land use. The characteristics of this region can increase erosion. Therefore a mapping of soil erosion estimation in the Bangsri micro watershed needs to be done so that the erosion hazard level is known so that it can be a decision in the direction of land management and governance. The purpose of this study were 1) to compile an erosion hazard distribution map in the Bangsri micro watershed, and 2) to analyze the accuracy of the erosion hazard prediction map using the RUSLE model in the Bangsri micro-watershed. The hypothesis of this study were 1) Bangsri micro watershed is located on the middle slope of Mount Jembangan-Semeru so that it has steep to steep slope characteristics, the distribution of erosion hazard occurs in areas that have steep to steep slopes, 2) mapping the level of erosion hazard using the RUSLE model have high accuracy.

The research was conducted in Bangsri micro watershed, Wajak Subdistrict, Malang Regency from June 2018 to May 2019. This research used four stages i.e. (1) permit preparation and initial erosion estimation map, (2) erosion hazard level validation in the field through observation of erosion indicators such as *pedestals*, armour layers, tree root exposure, rill erosion, and gully erosion, (3) laboratory analysis of soil texture, soil permeability, bulk density, soil organic carbon, (4) data processing and accuracy assessment of erosion hazard level maps. The determination of observation points based on various land cover and land slope. Estimation of soil erosion hazard level map performed using RUSLE (Revised Soil Loss Equation) model, the confusion matrix and the Kappa coefficient method for validation test to determine the accuracy of the erosion model.

The distribution of erosion hazard levels that occur in the Bangsri micro watershed is divided into 5 erosion hazard classes, i.e very light erosion (1378.88 ha), light erosion (362.87 ha), moderate erosion (546.2 ha), severe erosion (454.49 ha), and very severe erosion (242.63 ha). The erosion hazard level that dominates in the Bangsri micro watershed is the very light erosion, but there are 4 observation locations with erosion rates that have exceeded the tolerable erosion with rates ranging from 6 ton.ha⁻¹.yr⁻¹ to 66 ton.ha⁻¹.yr⁻¹.

Erosion prediction using the RUSLE model has a high overall accuracy, which is 82.5% and produces a good accuracy of the Kappa coefficient, which is 0.71. Based on the results of the accuracy test it can be concluded that the RUSLE model can be used to predict erosion in the Bangsri micro-watershed.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Kajian Tingkat Bahaya Erosi Tanah Menggunakan Model RUSLE di DAS Mikro Bangsri, Kabupaten Malang” Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orangtua, dan adik-adik saya yang selalu memberikan dukungan dan do'a serta motivasi,
2. Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU. selaku Ketua Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya,
3. Dr.Ir.Sudarto, MS. selaku Pembimbing Utama atas segala kesabaran, nasihat, arahan, dan bimbingannya kepada penulis,
4. Aditya Nugraha Putra SP., MP. selaku Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan arahan dan masukan dalam penyusunan skripsi
5. Teman-teman seperjuangan DAS Mikro Bangsri “TEAM 7HOKAGE” Muhammad Dani B, Luqman Sholahudin R, Rizki Hardiansah, Desy Citra R, Tika Riana H, Yeni Ainun M,
6. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu atas bantuan motivasi serta dukungan dalam kegiatan penelitian ini

Penulis berharap semoga hasil dari penelitian ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak, dan penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini.

Malang, Mei 2019

Penulis

UCAPAN TERIMAKASIH

Proses penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak secara moral dan material. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orangtua yang telah memberikan, semangat, pengertian yang luar biasa, dan do'a yang terbaik untuk penulis, yang menjadi alasan untuk penulis untuk terus berjuang. Kedua adikku tersayang Monika Nadia P, dan Arya Duta Pratama yang selalu memberikan kasih sayang dan semangat kepada penulis.
2. Syahrul Kurniawan, SP., MP., P.hD, Iva Dewi Lestariningsih, SP., M.Agr,SC, Dr.Ir. Sudarto, MS. Aditya Nugraha Putra, SP.MP. sebagai ketua majelis dan penguji dalam sidang skripsi, atas saran dan arahan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Teman-teman seperjuangan DAS Mikro Bangsri "Team 7Kage" Dani, Luqman, Rizki, Yeni, Tika, dan Dessy atas bantuan dan kerjasamanya selama proses survei dalam kondisi hujan dan panas jatuh bangun.
4. Teman-teman seperjuangan perpustakaan pusat UB: Danty, Novi, Putri, Ikhya, dan Ummi, yang selalu memberikan dorongan dan menemani penulis dalam pengerjaan skripsi ini dari pagi hingga malam.
5. Yanuar Dwi Ramadhan yang selalu berusaha untuk hadir walau terpisah oleh jarak, disaat penulis membutuhkan dukungan dan motivasi.
6. Lolo, Norma, Elfa, Mba Chyn, Riris, Ely, Ovi, Awi, Icha, Revhida, Vency, dan Indah. Teman-teman seperjuangan yang selalu berdiskusi dan membantu penulis dalam proses belajar di Fakultas ini.
7. Temen-temen Soiler'14 yang tidak dapat disebutkan satu persatu oleh penulis, Terimakasih atas pembelajaran dan pengalaman hidup yang telah diberikan kepada penulis.

Semoga Allah SWT senantiasa membalas kebaikan yang telah diberikan kepada penulis. Semoga skripsi ini berguna untuk masyarakat, mahasiswa Fakultas Pertanian, dan penulis khususnya.



RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Rindy Audina Putri dilahirkan di Dumai pada tanggal 24 Agustus 1996. Penulis adalah putri pertama dari tiga bersaudara pasangan Bapak Ruddy Rustendy dan Ibu Sri Sundari. Penulis menghabiskan masa pendidikannya mulai Taman Kanak-Kanak hingga Sekolah Menengah Atas di Kota Dumai. Penulis memulai pendidikan formal di TK Barunawati 1 (2001-2002), selanjutnya menempuh pendidikan Sekolah Dasar di SD S 3 YKPP Dumai (2002-2008), kemudian melanjutkan pendidikan ke jenjang Sekolah Menengah Pertama di SMPN 2 Dumai (2008-2011), dan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMAN 2 Dumai (2011-2014). Setelah lulus dari pendidikan Sekolah Menengah Atas, penulis melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi negeri dan terdaftar sebagai mahasiswa Strata-1 Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya tahun 2014 melalui jalur SNMPTN.

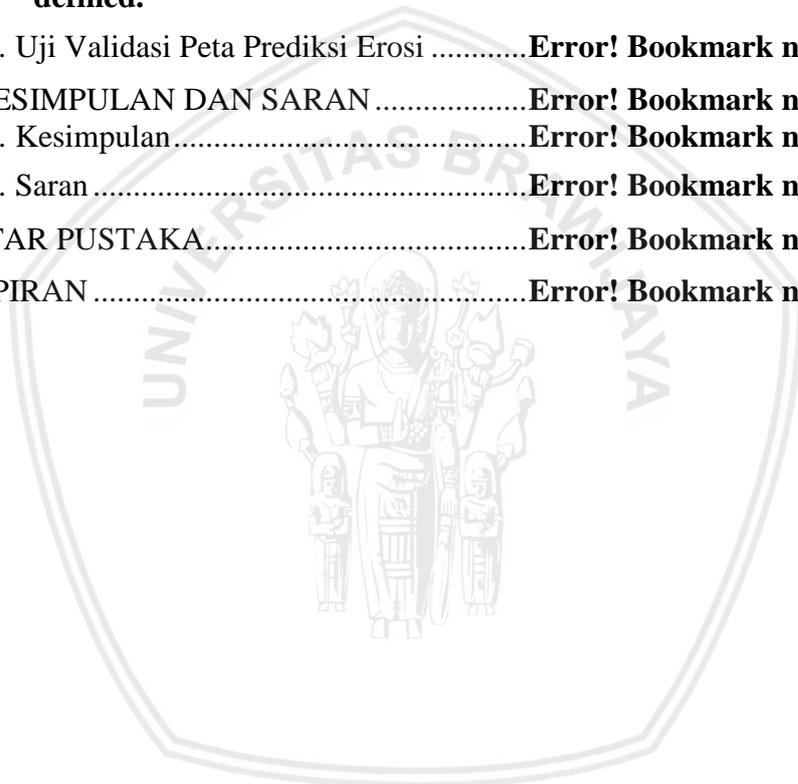
Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam kegiatan akademik, organisasi, dan kepanitiaan di Universitas Brawijaya. Penulis pernah aktif menjadi Asisten Praktikum mata kuliah Teknologi Konservasi Sumberdaya Lahan tahun 2017, Sistem Informasi Sumberdaya Lahan tahun 2018, dan Survei Tanah dan Evaluasi Lahan tahun 2018. Penulis juga turut andil dalam kegiatan organisasi yaitu menjadi Staff Kementerian PSDM Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) FP UB pada tahun 2016, dan Kepala Divisi Kerumahtanggaan Himpunan Mahasiswa Ilmu Tanah (HMIT) FP UB pada tahun 2017. Selain itu, penulis juga mengikuti kepanitiaan seperti Agriculture Vaganza (AVG) sebagai anggota divisi Publikasi Dekorasi dan Dokumentasi (PDD) pada tahun 2015, Program Orientasi Studi Terpadu (POSTER) sebagai anggota divisi Pendamping pada tahun 2016, Pembinaan Mahasiswa Terpadu sebagai Kepala divisi Konsumsi dan Kesehatan pada tahun 2016, Festival Karya Brawijaya (FKB) sebagai anggota divisi Karya pada tahun 2016. Kemudian pada tahun 2017 penulis pernah berkontribusi dalam kegiatan Galang Mitra dan Kenal Profesi (GATRAKSI) sebagai anggota divisi PDD dan kegiatan Soil Launch Anniversary of HMIT (SLASH) sebagai anggota divisi Acara.

DAFTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN	i
SUMMARY	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
UCAPAN TERIMAKASIH	iv
RIWAYAT HIDUP	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	9
DAFTAR LAMPIRAN	10
I. PENDAHULUAN	Error! Bookmark not defined.
1.1. Latar Belakang.....	Error! Bookmark not defined.
1.2. Rumusan Masalah	Error! Bookmark not defined.
1.3. Tujuan Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
1.4. Hipotesis Penelitian	Error! Bookmark not defined.
1.5. Manfaat Penelitian	Error! Bookmark not defined.
1.6. Alur Pikir Penelitian	Error! Bookmark not defined.
II. TINJAUAN PUSTAKA	Error! Bookmark not defined.
2.1. Erosi Tanah.....	Error! Bookmark not defined.
2.2. Macam-Macam Erosi	Error! Bookmark not defined.
2.3. Perbedaan antara USLE dan RUSLE	Error! Bookmark not defined.
2.4. Model RUSLE	Error! Bookmark not defined.
2.5. Aplikasi Sistem Informasi Geografi dan Penginderaan Jauh	Error! Bookmark not defined.
2.6. Indikator Erosi di Lapangan	Error! Bookmark not defined.
2.7. Kelas Tingkat Bahaya Erosi (TBE)	Error! Bookmark not defined.
2.8. Erosi Diperbolehkan (EDP).....	Error! Bookmark not defined.
III. METODE PENELITIAN	Error! Bookmark not defined.
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.3. Tahapan Penelitian	Error! Bookmark not defined.
IV. KONDISI UMUM WILAYAH	Error! Bookmark not defined.
4.1. Lokasi Penelitian	Error! Bookmark not defined.
4.2. Jenis Tanah di Lokasi Penelitian	Error! Bookmark not defined.
4.3. Penggunaan Lahan di Lokasi Penelitian	Error! Bookmark not defined.



4.4. Kemiringan Lereng di Lokasi Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
4.5. Satuan Geologi di Lokasi Penelitian	Error! Bookmark not defined.
4.6. Tipe Iklim di Lokasi Penelitian	Error! Bookmark not defined.
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	Error! Bookmark not defined.
5.1. Erosi di DAS Mikro Bangsri	Error! Bookmark not defined.
5.2. Prediksi Tingkat Bahaya Erosi di DAS Mikro Bangsri.....	Error! Bookmark not defined.
5.3. Analisis Tingkat Bahaya Erosi (TBE)...	Error! Bookmark not defined.
5.4. Analisis Erosi yang Diperbolehkan (EDP).....	Error! Bookmark not defined.
5.5. Uji Validasi Peta Prediksi Erosi	Error! Bookmark not defined.
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	Error! Bookmark not defined.
6.1. Kesimpulan.....	Error! Bookmark not defined.
6.2. Saran	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR PUSTAKA.....	Error! Bookmark not defined.
LAMPIRAN	Error! Bookmark not defined.



DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
1.	Perbedaan Antara Model USLE dan Model RUSLE	Error! Bookmark not defined.
2.	Karakteristik Citra Landsat 8 OLI.....	Error! Bookmark not defined.
3.	Klasifikasi Tingkat Bahaya Erosi (TBE) ...	Error! Bookmark not defined.
4.	Timeline Kegiatan Penelitian	Error! Bookmark not defined.
5.	Klasifikasi Struktur Tanah	Error! Bookmark not defined.
6.	Klasifikasi Permeabilitas Tanah.....	Error! Bookmark not defined.
7.	Parameter dan Metode Analisis di Laboratorium	Error! Bookmark not defined.
8.	Matriks Kesalahan.....	Error! Bookmark not defined.
9.	Nilai Interpretasi Kappa	Error! Bookmark not defined.
10.	Data Jenis Tanah di Lokasi Penelitian	Error! Bookmark not defined.
11.	Luas Penggunaan Lahan di DAS Mikro Bangsri	Error! Bookmark not defined.
12.	Data Kemiringan Lereng di DAS Mikro Bangsri	Error! Bookmark not defined.
13.	Bahaya Erosi pada Beberapa Penggunaan Lahan	Error! Bookmark not defined.
14.	Data Luas dan Tingkat Bahaya Erosi di Lokasi Penelitian	Error! Bookmark not defined.
15.	Uji Validasi <i>Confusion Matrix</i>	Error! Bookmark not defined.



DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
1.	Alur Pikir Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
2.	Perkembangan Bentuk Erosi	Error! Bookmark not defined.
3.	(a) Erosi alur; (b) Erosi parit; (c) Singkapan Akar; (d) Pedestals; (e) Armour Layer.....	Error! Bookmark not defined.
4.	Alur Kerja Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
5.	Peta Titik Pengamatan di Lokasi Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
6.	Peta Jenis Tanah di Lokasi Penelitian	Error! Bookmark not defined.
7.	Peta Penggunaan Lahan DAS Mikro Bangsri	Error! Bookmark not defined.
8.	Peta Kelerengan di Lokasi Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
9.	Peta Geologi di Lokasi Penelitian	Error! Bookmark not defined.
10.	Peta Curah Hujan di Lokasi Penelitian	Error! Bookmark not defined.
11.	Rata-rata Curah Hujan di Stasiun Wajak ...	Error! Bookmark not defined.
12.	Peta Sebaran Bahaya Erosi.....	Error! Bookmark not defined.
13.	Kenampakan <i>Pedestals</i> , Singkapan akar, dan <i>Armour layer</i>	Error! Bookmark not defined.
14.	Peta Sebaran Faktor Erosivitas Hujan di Lokasi Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
15.	Nilai Erodibilitas di Lokasi Penelitian	Error! Bookmark not defined.
16.	Peta Sebaran Faktor Erodibilitas di Lokasi Penelitian	Error! Bookmark not defined.
17.	Peta Sebaran LS di Lokasi Penelitian	Error! Bookmark not defined.
18.	Peta Sebaran Faktor C di Lokasi Penelitian	Error! Bookmark not defined.
19.	Peta Sebaran Faktor P di Lokasi Penelitian	Error! Bookmark not defined.
20.	Peta Tingkat Bahaya Erosi di Lokasi Penelitian	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Teks	Halaman
1.	Klasifikasi Nilai Erodibilitas Tanah.....	Error! Bookmark not defined.
2.	Nilai Faktor C.....	Error! Bookmark not defined.
3.	Nilai Faktor P	Error! Bookmark not defined.
4.	Faktor Kedalaman Ekuivalen Untuk 25 Sub Ordo Tanah	Error! Bookmark not defined.
5.	Perhitungan Laju Erosi dan EDP (Erosi diperbolehkan)	Error! Bookmark not defined.
6.	Hasil Analisis Nilai Erosivitas di Lokasi Penelitian	Error! Bookmark not defined.
7.	Data Hasil Analisis Erodibilitas di Lokasi Penelitian	Error! Bookmark not defined.
8.	Data Hasil Analisis Tingkat Bahaya Erosi di Lapangan.	Error! Bookmark not defined.
9.	Rincian Satuan Peta Lahan di Lokasi Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
10.	Peta Satuan Lahan di Lokasi Penelitian	Error! Bookmark not defined.
11.	Lokasi DAS Mikro Bangsri	Error! Bookmark not defined.
12.	Dokumentasi Kegiatan Laboratorium	Error! Bookmark not defined.
13.	Dokumentasi Pengamatan Tingkat Bahaya Erosi di Lapangan	Error! Bookmark not defined.
14.	Dokumentasi Kegiatan Survei di Lapangan.....	Error! Bookmark not defined.
15.	Dokumentasi Penggunaan Lahan di DAS Mikro Bangsri	Error! Bookmark not defined.

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Erosi tanah merupakan proses alami dalam perkembangan geomorfologi suatu wilayah. Erosi terjadi dipengaruhi oleh sejumlah faktor antara lain faktor iklim, topografi, vegetasi, sifat-sifat tanah, dan peranan manusia (Kartasapoetra *et al.* 2005). Laju erosi yang terjadi dapat dipercepat akibat peranan manusia dalam pengelolaan lahan. Salah satu wilayah yang memiliki keberagaman dalam pengelolaan lahannya adalah DAS Mikro Bangsri yang terletak di Kecamatan Wajak. Menurut data Pemkab Malang (2017), pada tahun 2016 Kecamatan Wajak memiliki $\pm 8.788,65$ ha lahan yang digunakan untuk bidang pertanian dengan berbagai jenis penggunaan lahan antara lain tegalan, agroforestri, hutan produksi, sawah, permukiman, dan terdapat pertambangan pasir sebanyak ± 314 unit yang terletak di empat desa di DAS Mikro Bangsri. Selain itu, berdasarkan data Pemkab Malang (2017) luas hutan di Kecamatan Wajak pada tahun 2016 seluas 1573 ha mengalami penurunan pada tahun 2017 menjadi 900 ha (Pemkab Malang, 2018).

Apabila peranan atau tindakan manusia dalam alih fungsi lahan serta pemilihan vegetasi yang akan ditanam tidak sesuai dengan daya dukung lahan maka dikhawatirkan akan terjadi degradasi lahan salah satunya yaitu erosi yang dipercepat (*accelerated erosion*). Erosi yang dipercepat banyak sekali menimbulkan malapetaka seperti kekeringan, penurunan produktivitas, serta banjir (Kartasapoetra *et al.* 2005). Selain itu, erosi juga menyebabkan lapisan permukaan tanah bagian atas menipis, hilangnya lapisan tanah yang subur dan baik untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman, serta berkurangnya kemampuan tanah untuk menyerap dan menahan air (Arsyad, 2010).

Karakteristik lahan pada DAS Mikro Bangsri yang dipengaruhi oleh aktivitas vulkanik Gunung Jembangan-Semeru sehingga memiliki lereng curam hingga terjal dapat memperbesar kekuatan perusak air yang mengalir di permukaan tanah sehingga memperbesar terjadinya erosi. Oleh karena itu, penting dilakukan analisis erosi tanah yang terjadi di DAS Mikro Bangsri agar dapat menjadi keputusan dalam upaya arahan tata kelola lahan. Terdapat beberapa model yang dapat digunakan dalam mengestimasi erosi salah satunya adalah model RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*) yang merupakan revisi dari model USLE.

Model RUSLE dengan integrasi Sistem Informasi Geografis (SIG) telah digunakan di seluruh dunia untuk melakukan perencanaan konservasi, mengukur erosi tanah (Ashiagbor *et al.*, 2013; Ganasri dan Ramesh, 2016; Uddin *et al.*, 2016; Yuan *et al.*, 2016). SIG merupakan suatu sistem yang mengatur *hardware*, *software*, dan data serta dapat melakukan kegiatan menyimpan, mengolah, maupun menganalisis secara spasial sehingga diperoleh informasi yang berkaitan dengan aspek keruangan (Sandi dan Assyakur, 2012 *dalam* Setiawan, 2016).

Penelitian prediksi tingkat bahaya erosi dengan menggunakan model RUSLE telah dilakukan oleh Nugroho (2015) di DAS Petir Yogyakarta. Penelitian dilakukan dengan melakukan pengamatan dan pencatatan parameter erosi pada setiap Satuan Peta Lahan (SPL). Namun hasil dari peta prediksi tingkat bahaya erosi tersebut tidak dilakukan validasi di lapangan. Penelitian tentang prediksi bahaya erosi juga dilakukan oleh Andriyanto (2015) di DAS Kalikonto dengan menggunakan model RUSLE. Peta prediksi erosi tersebut kemudian dilakukan validasi dengan hasil pengamatan lapangan dengan menggunakan plot erosi. Hasil penelitian tersebut menunjukkan prediksi erosi dengan menggunakan model RUSLE menghasilkan koefisien determinasi $R^2 = 0,56$ atau dapat dikatakan hasil prediksi erosi menggunakan RUSLE dengan kondisi aktual di lapangan memiliki hubungan yang erat. Penelitian prediksi bahaya erosi juga dilakukan oleh Saptari, Supriadi, dan Darmawan (2015) di DAS Bandung. Peta prediksi bahaya erosi divalidasi dengan menggunakan peta bahaya erosi BAPEDDA. Hasil penelitian ini menghasilkan tingkat akurasi yang cukup dengan indeks Kappa sebesar 0,51.

Kemampuan sistem informasi geografis yang berbeda dengan sistem informasi lainnya menjadikan SIG bermanfaat untuk menjelaskan kejadian serta merencanakan strategi. Melalui integrasi model RUSLE dan SIG memberikan beberapa manfaat diantaranya adalah dapat menghemat biaya, mempunyai akurasi yang lebih baik untuk daerah aliran sungai yang lebih besar, ketersediaan data dan model relatif mudah digunakan, serta memudahkan dalam mendapatkan informasi berupa penggunaan dan tutupan lahan, topografi, tanah, manajemen, dan memprediksi rata-rata tingkat erosi tanah pada skala tahunan (Ketema dan Dwarakish, 2019).

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana sebaran tingkat bahaya erosi yang terjadi di DAS Mikro Bangsri?
2. Bagaimana akurasi prediksi erosi menggunakan model RUSLE di DAS Mikro Bangsri?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan masalah yang telah dikemukakan tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menyusun Peta sebaran bahaya erosi di DAS Mikro Bangsri,
2. Menganalisis akurasi dari Peta prediksi bahaya erosi dengan menggunakan model RUSLE di DAS Mikro Bangsri.

1.4. Hipotesis Penelitian

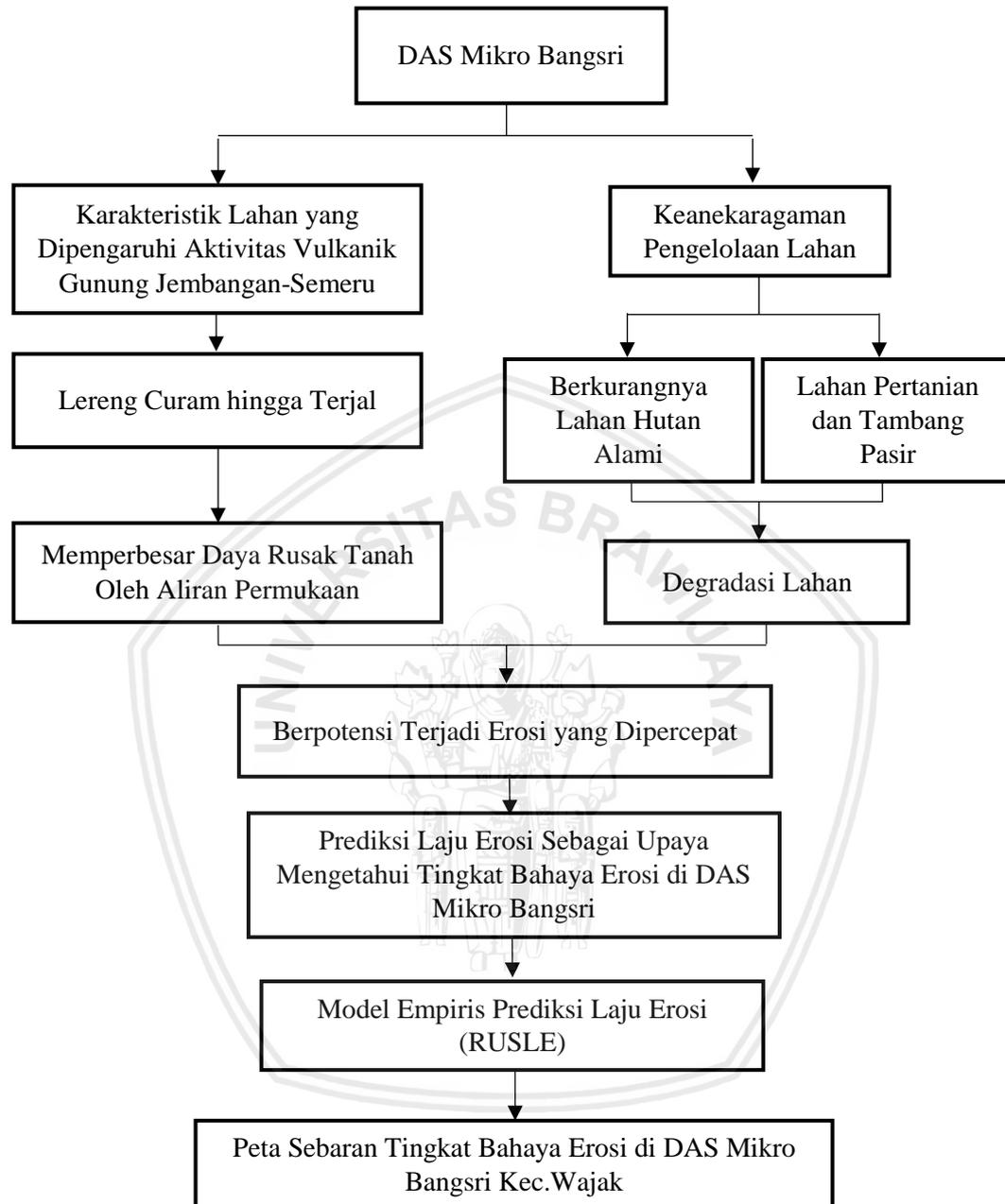
Hipotesis yang dikemukakan berdasarkan rumusan masalah dan tujuan penelitian yaitu:

1. DAS Mikro Bangsri terletak di lereng tengah Gunung Jembangan-Semeru sehingga memiliki karakteristik lereng yang curam hingga terjal, sebaran bahaya erosi terjadi pada daerah yang memiliki lereng yang curam hingga terjal.
2. Pemetaan tingkat bahaya erosi menggunakan model RUSLE memiliki akurasi yang tinggi.

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi kepada Pemerintah Kabupaten Malang berupa peta sebaran tingkat bahaya erosi serta memberikan kemudahan dan suatu metode baru dalam menganalisis bahaya erosi di DAS Mikro Bangsri.

1.6. Alur Pikir Penelitian



Gambar 1. Alur Pikir Penelitian

I. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Erosi Tanah

Erosi adalah proses hilangnya atau terkikisnya tanah atau bagian-bagian tanah oleh air atau angin dari suatu tempat ke tempat lain. Tanah yang terkikis diangkut oleh aliran permukaan akan diendapkan di tempat-tempat lain seperti sungai, saluran irigasi, waduk, ataupun muara sungai (Arsyad, 2010). Proses terjadinya erosi melalui penghancuran, pengangkutan, dan pengendapan (Meyer *et al.*, 1991 dalam Banuwa, 2008). Indonesia yang memiliki iklim tropika basah, air merupakan penyebab utama terjadinya erosi, sedangkan angin tidak mempunyai pengaruh yang berarti (Arsyad, 2010). Erosi tanah terjadi melalui dua proses yakni proses penghancuran partikel-partikel tanah (*detachment*) dan proses pengangkutan (*transport*) partikel-partikel tanah yang sudah dihancurkan. Kedua proses ini terjadi akibat hujan dan aliran permukaan (*run off*) yang dipengaruhi oleh berbagai faktor.

Faktor-faktor yang mempengaruhi erosi antara lain a) faktor curah hujan (intensitas, diameter, lama dan jumlah hujan), b) faktor tanah, c) kemiringan dan panjang lereng, dan d) faktor vegetasi (Wischmeier dan Smith, 1978 dalam Banuwa, 2008).

a) Curah hujan

Kehilangan tanah sangat berkaitan erat dengan curah hujan yaitu pada kemampuan butir-butir hujan sebagai tenaga dalam proses *detachment* atau penghancuran agregat tanah pada permukaan tanah serta kontribusi hujan dalam menghasilkan aliran permukaan (*runoff*). Respon tanah terhadap hujan juga dipengaruhi oleh kelembaban tanah, yang bergantung juga pada kejadian hujan yang jatuh pada hari sebelumnya. Hal ini berpengaruh terhadap kemampuan tanah dalam infiltrasi atau menyerap air hujan.

Erosi yang terjadi meningkatkan aliran permukaan oleh karena berkurangnya kapasitas infiltrasi tanah. Jumlah aliran permukaan yang meningkat akan mengurangi kandungan air yang tersedia dalam tanah yang mengakibatkan pertumbuhan tumbuhan menjadi kurang baik. Berkurangnya pertumbuhan tumbuhan berarti berkurangnya perlindungan terhadap tanah dan sisa-sisa tumbuhan yang kembali ke tanah yang akan mengakibatkan erosi menjadi lebih besar. Oleh karena itu, besarnya erosi berkaitan dengan

banyaknya aliran permukaan, maka semakin besar aliran permukaan maka erosi juga meningkat (Arsyad, 2010).

Faktor hujan yang juga berpengaruh terhadap variasi kenampakan erosi adalah erosivitas hujan. Erosivitas hujan merupakan fungsi dari intensitas dan durasi, massa, diameter, serta kecepatan hujan (Morgan, 2005). Selain itu besarnya energi kinetik hujan yang jatuh juga berpengaruh terhadap asal mula erosi yang terjadi di suatu daerah (Wischmeier dan Smith, 1978).

b) Faktor Tanah

Berbagai tipe tanah memiliki kepekaan terhadap erosi yang berbeda-beda. Sifat-sifat tanah yang mempengaruhi erosi adalah tekstur, struktur, bahan organik tanah, kedalaman, sifat lapisan tanah, dan tingkat kesuburan tanah (Nursa'ban, 2006).

Tanah yang bertekstur pasir halus juga mempunyai kapasitas infiltrasi cukup tinggi namun jika terjadi aliran permukaan maka butir-butir halus akan mudah terangkut (Arsyad, 2010). Tanah dengan tekstur dominan pasir sangat halus dan debu lebih peka terhadap erosi daripada tekstur dominan lempung. Hal ini disebabkan oleh sifat tekstur pasir sangat halus dan debu yang sulit membentuk struktur mantap sehingga lebih peka terhadap erosi (Arsyad, 2010 *dalam* Ashari, 2013).

Pengaruh bahan organik yang utama terhadap erosi adalah memperlambat kecepatan aliran permukaan, peningkatan infiltrasi dan pemantapan agregat tanah. Sifat lapisan bawah tanah yang mempengaruhi kepekaan terhadap erosi adalah permeabilitas tanah. Permeabilitas tanah dipengaruhi oleh tekstur dan struktur.

c) Kemiringan dan Panjang Lereng

Kemiringan dan panjang lereng adalah dua faktor penting terjadinya erosi, karena faktor – faktor tersebut menentukan besarnya kecepatan aliran air (Asdak, 1995 *dalam* Nursa'ban, 2006). Unsur lain yang berpengaruh terhadap erosi adalah konfigurasi, keseragaman, dan arah lereng (Arsyad, 2010). Menurut Utomo (1989) *dalam* Nursa'ban (2006) mengatakan bahwa kemiringan lereng dan panjang lereng adalah dua unsur topografi yang paling berpengaruh terhadap aliran permukaan dan erosi.

Semakin curam dan panjangnya lereng permukaan tanah maka semakin besar kekuatan perusak air yang mengalir di permukaan tanah. Hal ini juga dikemukakan oleh Manoppo (2009) bahwa tingkat kemiringan sangat mempengaruhi tingkat erosi tanah, semakin besar kemiringan semakin besar tingkat erosi tanah.

d) Faktor vegetasi

Pengaruh tutupan vegetasi terhadap erosi adalah melindungi kerusakan tanah dari butiran hujan (Sarief, 1986). Selain itu dapat menurunkan kecepatan aliran permukaan, menahan partikel-partikel tanah, dan mempertahankan kemantapan kapasitas tanah dalam menyerap air (Asdak, 1995). Tanaman mampu mempengaruhi erosi disebabkan oleh; 1) intersepsi air hujan oleh tajuk dan adsorpsi melalui energi air hujan, sehingga dapat memperkecil erosi, 2) penyebaran akar tanaman dapat mempengaruhi struktur tanah, 3) peningkatan aktivitas Mikroorganisme dalam tanah, 4) peningkatan kecepatan kehilangan air karena transpirasi (Utomo, 1989).

Selain itu, vegetasi juga berfungsi mengurangi kecepatan aliran permukaan dan kekuatan perusak hujan (Arsyad, 2010). Vegetasi mampu menahan dan mengakumulasi air hujan yang jatuh sebelum menyentuh permukaan tanah. Setiap vegetasi memiliki morfologi yang berbeda-beda, morfologi seperti kerapatan kanopi, diameter batang, bentuk percabangan, tinggi pohon, kerapatan tanaman, hingga sistem perakaran mempunyai pengaruh yang berbeda terhadap proses erosi (Geißler *et al.*, 2012).

Pada tanah yang permukaannya gundul atau tanpa tanaman pelindung, yang diakibatkan oleh cara pengelolaan yang salah, lapisan-lapisan permukaan tanah akan lebih cepat mengalami kehilangan tanah (Manoppo, 2009). Bagian dari tanaman seperti akar diketahui sangat efektif dalam mengurangi tingkat erosi pada tanah berpasir.

2.2. Macam-Macam Erosi

Macam-macam erosi berdasarkan bentuknya dibedakan menjadi (a) erosi percikan, (b) erosi lembar, (c) erosi alur, (d) erosi parit (Hardiyatmo, 2006 dalam Tarigan, 2012). a) Erosi percikan merupakan erosi hasil dari percikan atau benturan air hujan secara langsung pada partikel tanah dalam keadaan basah, b) Erosi lembar (*sheet erosion*) merupakan pengangkutan lapisan tanah yang merata tebalnya dari suatu permukaan tanah. Penyebab erosi ini adalah kekuatan butir-butir hujan dan aliran permukaan yang merata di atas permukaan tanah, c) erosi alur (*rill erosion*) merupakan pengangkutan tanah dari alur-alur tertentu pada permukaan tanah, yang merupakan parit-parit kecil dan dangkal. Erosi alur terjadi karena air mengalir dipermukaan tanah tidak merata akan tetapi terkonsentrasi pada alur tertentu sehingga pengangkutan tanah terjadi tepat pada tempat aliran permukaan terkonsentrasi, d) erosi parit (*gully erosion*) proses terjadinya sama dengan erosi alur, tetapi alur yang terbentuk lebih besar. Erosi parit berukuran 40 cm lebarnya dengan kedalaman sekitar 30 cm.



Sumber: Setiawan (2011) dalam Rokhmaningtyas (2017)

Gambar 1. Perkembangan Bentuk Erosi

2.3. Perbedaan antara USLE dan RUSLE

Model *Universal Soil Loss Equation* (USLE) dan turunan modifikasinya (MUSLE) dan model yang direvisi (RUSLE) adalah model empiris yang paling umum digunakan untuk pengamatan erosi. Model USLE yang dikembangkan oleh Wischmeier dan Smith (1978) sangat luas penggunaannya untuk memprediksi erosi lembar dan alur. Setelah penggunaan model USLE cukup lama, peneliti mengembangkan dan merevisi model USLE yang disebut RUSLE (*Revised Soil*

Loss Equation) yang juga memprediksi erosi lembar dan alur yang dihubungkan dengan aliran permukaan.

Perbedaan-perbedaan antara model USLE dan model RUSLE dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbedaan Antara Model USLE dan Model RUSLE

Faktor	Universal Soil Loss Equation (USLE)	Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)
R	Berdasarkan pada rata-rata curah hujan jangka panjang untuk area geografi yang spesifik di US.	RUSLE mengoreksi perhitungan R (erosivitas), untuk merefleksikan efek dari curah hujan pada topografi datar
K	Besarnya nilai K ditentukan pada tekstur tanah, bahan organik tanah, permeabilitas, dan faktor lain sesuai dengan jenis tanah.	Sama dengan USLE tetapi terdapat tambahan menghitung pada setiap perubahan musim, seperti pembekuan dan pencairan, kelembaban tanah, dan konsolidasi tanah.
LS	Persamaan menggunakan lereng makro.	Persamaan baru dikembangkan, memprediksi erosi dari berbagai gradien lereng.
C	Berdasarkan urutan penanaman, kekasaran permukaan, dan tutupan kanopi, menyatukan faktor – faktor ini ke dalam tabel kehilangan tanah berdasarkan tanaman dan pengelolaan tanah.	Menggunakan sub – sub faktor seperti: Kanopi tanaman (CC), tutupan lahan (SC), kekasaran permukaan (SR), penggunaan lahan sebelumnya (PLU) RUSLE sub faktor diberi nilai, dan dikalikan bersama untuk mendapatkan NE (Nisbah Erosi), Perhitungan NE dilakukan setiap 15 hari dalam setahun. Menghitung kembali setiap terjadi perubahan pada saat pengelolaan tanah.
P	Berdasarkan konservasi yang diterapkan untuk memperlambat aliran permukaan dengan demikian memperlambat pergerakan tanah. Faktor P berubah mengikuti kemiringan lereng.	RUSLE menghitung efek <i>strip cropping</i> berdasarkan kapasitas pengangkutan aliran pada strip terhadap jumlah sedimen yang mencapai strip. Faktor P untuk perencanaan konservasi mempertimbangkan jumlah dan lokasi deposisi.

Sumber: Renard *et al.* (1994)

2.4. Model RUSLE

Model RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*) merupakan salah satu model empiris yang didesain untuk memprediksi besarnya erosi tahunan oleh aliran permukaan dari suatu bentang lahan berlereng dengan tanaman dan sistem pengelolaan tertentu. Model empiris merupakan model yang dikembangkan berdasarkan variabel-variabel penting yang diperoleh dari penelitian dan pengamatan selama proses erosi terjadi (Hajigholizadeh, 2018). Persamaan yang digunakan pada model RUSLE masih sama dengan model terdahulu yaitu USLE. Persamaan model RUSLE ialah erosivitas (R), erodibilitas tanah (K), panjang dan kemiringan lereng (LS), pengelolaan tanaman (C), dan faktor konservasi tanah (P).

2.4.1. Erosivitas (R)

Erosivitas merupakan kemampuan hujan untuk menimbulkan erosi (Utomo, 1989). Intensitas hujan rendah jarang menimbulkan erosi, tetapi intensitas hujan yang tinggi akan menimbulkan erosi. Sifat – sifat hujan yang mempengaruhi erosi adalah besarnya butir-butir hujan, dan kecepatan tumbukannya. Erosivitas hujan merupakan hasil perkalian antara energi kinetik (E) dari satu kejadian hujan dengan intensitas hujan maksimum 30 menit (I_{30}) (Asdak, 2010).

2.4.2. Erodibilitas (K)

Erodibilitas merupakan mudah tidaknya tanah untuk menahan tumbukan butir-butir hujan. Ketahanan tanah merupakan salah satu faktor penentu besarnya erosi. Semakin tinggi nilai indeks erodibilitas tanah, maka rendah ketahanan tanah sehingga semakin mudah pula tanah tererosi (Indrihastuti, 2016). Lahan hutan, pertanian monokultur, dan lahan pertanian tumpangsari pada kelerengan yang sama memiliki tingkat erosi yang berbeda-beda. Hal ini diantaranya disebabkan oleh vegetasi pada masing-masing lahan berbeda. Selain vegetasi, sifat fisik tanah faktor lain yang menentukan besarnya erosi, meliputi kelerengan, permeabilitas, tekstur, dan struktur tanah (Hardjowigeno, 2003 dalam Indrihastuti, 2016).

2.4.3. Panjang dan kemiringan lereng (LS)

Faktor panjang lereng (L) diukur dari tempat mulai terjadinya aliran air di atas permukaan tanah sampai ke tempat mulai terjadinya pengendapan disebabkan karena berkurangnya kecuraman lereng. Sedangkan faktor kemiringan lereng (S) menyatakan kecuraman lereng dalam persen (Arsyad, 2006).

2.4.4. Pengelolaan tanaman (C)

Faktor pengelolaan tanaman mencerminkan hubungan antara vegetasi dari tutupan tanaman dan penggunaan lahan terhadap besarnya erosi (Panagos *et al.*, 2015). Nilai faktor C bervariasi dari 0 (tidak ada perlindungan atau tanah terbuka) sampai 1 (tanah tertutup rapat oleh tanaman). Nilai menengah menunjukkan tingkat kerentanan erosi tergantung pada perlindungan yang diberikan oleh vegetasi (Wischmeier dan Smith, 1978; Renard *et al.*, 1991). Pada beberapa penelitian metode yang digunakan dalam menentukan nilai C dilakukan dengan menggunakan data NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (Van der Knijff *et al.*, 2000; Gabriels *et al.*, 2003; Karaburun, 2010). Vijith *et al.* (2018) dalam penelitiannya menyatakan bahwa terdapat metode lain untuk menentukan nilai faktor C yaitu dengan mengklasifikasikan penggunaan lahan menggunakan data Citra Landsat 8 OLI/TIRS. Pengelolaan tanaman diharapkan mampu menekan limpasan permukaan.

2.4.5. Faktor Tindakan Khusus Konservasi Tanah (P)

Faktor praktik konservasi atau faktor praktik pendukung berkaitan dengan langkah-langkah konservasi di suatu daerah, khusus untuk setiap penggunaan lahan, untuk mengurangi kehilangan tanah. Langkah-langkah konservasi penting yang banyak diadaptasi pada lahan pertanian adalah pengolahan kontur, strip penyangga, terasering, pengalihan limpasan air (Renard *et al.*, 1997 dalam Boggs *et al.*, 2001). Nilai faktor P umumnya bervariasi dari 0 hingga 1 yang menunjukkan efektif praktik konservasi tanpa praktik konservasi.

2.5. Aplikasi Sistem Informasi Geografi dan Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh merupakan suatu ilmu atau teknologi untuk memperoleh informasi atau fenomena alam melalui analisis suatu data yang diperoleh dari hasil rekaman obyek, daerah atau fenomena yang dikaji. Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan sensor yang dipasang pada pesawat terbang atau satelit (Liliesand dan Kiefer, 1994). Data hasil perekaman penginderaan jauh menggambarkan suatu kondisi wilayah yang disebut citra. Citra satelit merupakan sebuah gambar dua dimensi yang memiliki informasi tentang ukuran, lokasi dan warna pada setiap objek (Ekadinata *et al.*, 2008 dalam Andriyanto, 2015).

2.5.1. Klasifikasi Penggunaan Lahan

Citra yang dihasilkan oleh sebuah satelit memperlihatkan keseluruhan kenampakan tutupan lahan di muka bumi. Salah satu citra satelit yang dapat digunakan adalah Citra Landsat. Citra Landsat dapat digunakan dalam klasifikasi tutupan lahan, dengan demikian tutupan lahan terbaru dapat diperoleh dengan mudah. Citra Landsat yang digunakan dalam klasifikasi tutupan lahan adalah Landsat 8. Landsat 8 mengorbit bumi setiap 99 menit, serta melakukan liputan pada area yang sama setiap 16 hari. Landsat 8 memiliki 2 sensor yaitu sensor *Operasional Land Imager* (OLI) terdiri dari 9 saluran (band) termasuk band pankromatik beresolusi spasial tinggi, dan *Thermal Infra Red Sensor* (TIRS) yang terdiri dari 2 band termal. Tabel 2 merupakan karakteristik band pada Landsat 8 OLI.

Tabel 2. Karakteristik Citra Landsat 8 OLI

Band	Tipe	Spektral (μm)
1	30 m Coastal/Aerosol	0.435 – 0.451
2	30 m Blue	0.452 – 0.512
3	30 m Green	0.533 – 0.590
4	30 m Red	0.636 – 0.673
5	30 m NIR	0.851 – 0.879
6	30 m SWIR-1	1.566 – 1.651
7	30 m SWIR-2	2.107 – 2.294
8	15m Pan	0.503 – 0.676
9	30 m Cirrus	1.363 – 1.384

Interpretasi visual citra dilakukan berdasarkan pada pengenalan ciri obyek secara spasial. Karakteristik obyek dapat dikenali berdasarkan unsur-unsur interpretasi seperti warna/rona, bentuk, ukuran, pola, tekstur, bayangan, situs, asosiasi (Ekadinata *et al.*, 2008). Terdapat beberapa tahap dalam mengklasifikasi tutupan lahan, antara lain: pra-pengolahan citra, interpretasi data secara visual, klasifikasi, uji akurasi (Lapan, 2015). Kombinasi band terbaik yang digunakan untuk klasifikasi tutupan lahan adalah kombinasi band 754 dimana band 7 adalah spektrum SWIR-2, band 5 adalah spektrum NIR, dan band 4 adalah spektrum red (Mentari, 2013 *dalam* Sampurno *et al.*, 2016). Klasifikasi tutupan lahan dilakukan dengan menggunakan metode *Maximum likelihood classification* (MLC). MLC merupakan metode paling umum yang digunakan untuk klasifikasi tutupan lahan (Foody *et al.*, 1992; Jia *et al.*, 2011 *dalam* Sampurno *et al.*, 2016).

2.5.2. Prediksi Laju Erosi

Pada umumnya analisis tingkat bahaya erosi dilakukan dengan pengukuran langsung di lapangan ataupun menggunakan model. Teknologi yang semakin berkembang membuat proses analisis tingkat bahaya erosi dapat dilakukan secara spasial dengan Sistem Informasi Geografis (SIG). Teknologi SIG berbasis piksel digunakan sebagai alat pemodelan spasial dalam memprediksi erosi pada lahan dengan keadaan topografi yang kompleks (Lorito *et al.*, 2004).

Penelitian Andriyanto (2015) mengkaji perhitungan besarnya erosi tanah menggunakan model RUSLE diintegrasikan dengan SIG dan dilakukan validasi erosi pada lokasi penelitian. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa hasil prediksi laju erosi secara spasial dibandingkan dengan pengukuran di lapangan memiliki hubungan yang erat, dengan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,56$. Hasil penelitian Saptari *et al.* (2015) dengan menggunakan model RUSLE dan dilakukan uji validasi dengan menggunakan indeks Kappa menghasilkan akurasi sebesar 0,518 atau mempunyai akurasi yang cukup.

2.6. Indikator Erosi di Lapangan

Stocking dan Murnaghan (2000) mengungkapkan bahwa terdapat indikator-indikator yang dapat diukur di lapangan untuk mengetahui tingkat degradasi suatu lahan yang disebabkan oleh erosi. Pengukuran tersebut berupa erosi alur, erosi parit, singkapan akar, *pedestals*, dan *armour layer*.

a) Erosi Alur

Pengukuran erosi alur paling umum adalah dengan mengukur tanah yang telah hilang akibat erosi alur, yaitu mengukur volume ruang seperti pada Gambar 3a. Untuk menghitung jumlah tanah yang hilang diperlukan pengukuran kedalaman, lebar, dan panjang erosi alur. Setiap panjang erosi alur memiliki kedalaman dan lebar yang berbeda-beda, oleh karena itu dibutuhkan beberapa kali pengukuran kedalaman dan lebar dalam satu bentuk erosi alur.

b) Erosi Parit

Pengukuran hilangnya tanah dari erosi parit pada dasarnya sama seperti erosi alur, yang membedakan adalah erosi parit memiliki skala yang lebih besar dan dengan bentuk penampang yang berbeda. Erosi parit biasanya memiliki permukaan lantai yang rata dan sisi yang miring. Untuk mengetahui jumlah tanah

yang hilang diperlukan pengukuran kedalaman, lebar dasar, dan panjang erosi parit, seperti pada Gambar 3b.

c) Singkapan Akar

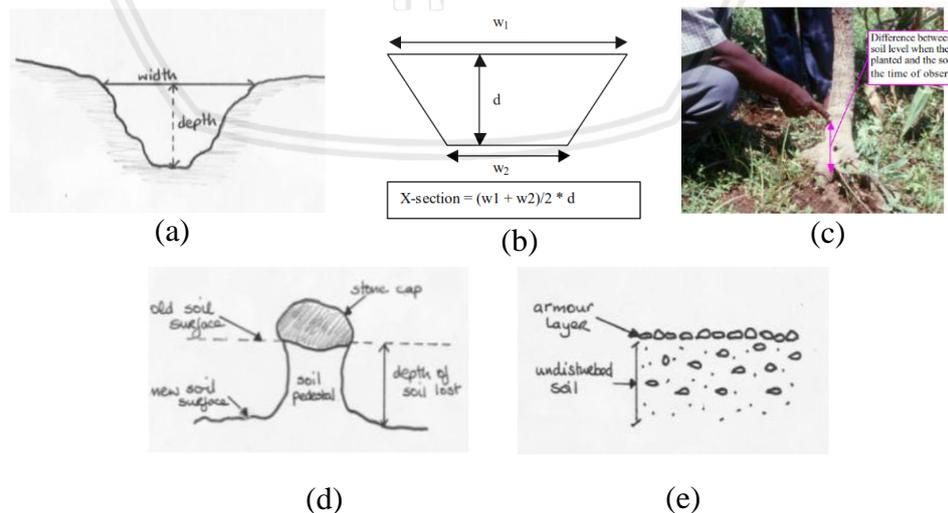
Singkapan akar menunjukkan batas permukaan tanah asli ketika tanaman mulai tumbuh. Alat untuk mengukur singkapan akar adalah dengan menggunakan penggaris, dimulai dari permukaan tanah ke titik dimana batang pohon yang semula berada di permukaan tanah, seperti pada Gambar 3c.

d) *Pedestals*

Pedestals merupakan kolom tanah yang berdiri keluar dari permukaan tanah yang telah terkikis, biasanya dilindungi oleh batu atau akar tanaman. *Pedestals* merupakan indikator erosi lembar (*sheet erosion*). Pengukuran dilakukan dari dasar permukaan tanah yang telah hilang sampai batas batu atau akar tanaman yang melindungi permukaan tanah. Ketinggian *pedestals* mewakili tanah yang telah hilang sejak pengolahan lahan terakhir, seperti pada Gambar 3d.

e) *Armour Layer*

Armour Layer merupakan konsentrasi partikel kasar di permukaan tanah, tanah yang memiliki partikel kasar yang biasanya secara acak di distribusikan ke seluruh lapisan tanah atas. Apabila terdapat konsentrasi partikel kasar, hal ini biasanya menunjukkan bahwa partikel tanah yang lebih halus telah tererosi, seperti pada Gambar 3e.



Sumber: Stocking dan Murnaghan (2000)

Gambar 2. (a) Erosi alur; (b) Erosi parit; (c) Singkapan Akar; (d) *Pedestals*; (e) *Armour Layer*.

2.7. Kelas Tingkat Bahaya Erosi (TBE)

Hasil prediksi laju erosi dengan menggunakan model RUSLE kemudian dibagi ke dalam 5 kelas tingkat bahaya erosi dari sangat ringan hingga sangat berat (Tabel 3), sehingga diketahui tingkat bahaya erosi pada lokasi penelitian. Kriteria tingkat bahaya erosi dianalisis agar dapat diketahui sebaran wilayah besaran tingkat erosi sebagai evaluasi bahaya erosi yang memungkinkan penyusunan rekomendasi tindakan konservasi.

Tabel 3. Klasifikasi Tingkat Bahaya Erosi (TBE)

No	Tingkat Bahaya Erosi	Erosi ($\text{ton.ha}^{-1}.\text{th}^{-1}$)
1	Sangat Ringan	≤ 15
2	Ringan	16 – 60
3	Sedang	61 – 180
4	Berat	181 – 480
5	Sangat Berat	> 480

Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2018)

2.8. Erosi Diperbolehkan (EDP)

Erosi diperbolehkan (*tolerable erosion*) merupakan laju erosi yang masih diperbolehkan atau ditoleransikan agar terpelihara ketebalan tanah yang cukup bagi pertumbuhan tanaman agar memungkinkan produktivitas yang tinggi (Arsyad, 2010). Erosi yang diperbolehkan dinyatakan dalam $\text{ton.ha}^{-1}.\text{th}^{-1}$. Erosi diperbolehkan ditentukan berdasarkan ekuivalen tanah dan umur guna tanah. Kedalaman ekuivalen merupakan hasil perkalian kedalaman tanah (hasil pengukuran di lapangan) dengan faktor kedalaman tanah. Jika besarnya erosi yang terjadi (A) masih di bawah nilai erosi yang dapat ditoleransikan (T), maka tidak akan membahayakan kelestarian sumber daya tanah dan air, akan tetapi jika nilai A lebih besar dari nilai T, maka perlu diperhatikan dan dilakukan tindakan konservasi yang tepat guna menekan dalam mengurangi laju erosi yang terjadi agar tidak membahayakan kondisi pada DAS (Rusnam, 2013).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni tahun 2018 hingga bulan Mei tahun 2019 (Tabel 4). Tempat penelitian berada di DAS Mikro Bangsri, Kecamatan Wajak, Kabupaten Malang, peta lokasi DAS Mikro Bangsri dapat dilihat pada Lampiran 11. Terdapat empat tahapan dalam penelitian ini yaitu tahap persiapan dan pembuatan peta awal, tahap survei dan validasi lapangan, tahap analisis di laboratorium, tahap pengolahan dan analisis data. Tahap Persiapan dan pengolahan peta dilakukan di Laboratorium Pedologi dan Sistem Informasi Sumberdaya Lahan (PSISDL), survei dan validasi lapangan dilakukan di DAS Mikro Bangsri, analisis fisika tanah dilakukan di Laboratorium Fisika Tanah, dan analisis kimia tanah dilakukan di Laboratorium Kimia Jurusan Tanah Universitas Brawijaya.

Tabel 1. *Timeline* Kegiatan Penelitian

Kegiatan	Tahun 2018						Tahun 2019					
	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei
Studi Literatur	■											
Penyusunan Proposal Penelitian	■	■										
Persiapan Peta Dasar Dan Survei		■	■									
Persiapan Surat Menyurat			■	■								
Persiapan Peralatan Survei			■	■								
Survei Lapangan				■	■	■						
Analisis Laboratorium							■	■	■			
Analisis Data												
Konsultasi	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Penyusunan Hasil Penelitian												
Revisi Naskah Penelitian												

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan untuk menunjang pelaksanaan penelitian antara lain *software* GIS dan *remote sensing* yang digunakan untuk pengolahan data spasial dan Citra Satelit Landsat 8 OLI/TIRS (*software* ArcGIS 10.5, *software* PCI Geomatika 2016, *software* ENVI 5.3), *software* Microsoft Excel yang digunakan untuk menginput dan mengolah data hasil survei lapangan dan data hasil laboratorium, GPS berfungsi untuk memberikan informasi berupa titik koordinat selama pengamatan di lapangan, kamera berfungsi sebagai dokumentasi, survei set, kantong plastik, ring master, ring sampel, palu, dan kertas label, bor tanah sebagai penunjang kegiatan survei di lapangan, peralatan di laboratorium Fisika dan Kimia berupa alat analisis permeabilitas, analisis tekstur, analisis berat isi, dan analisis bahan organik tanah.

Bahan-bahan yang digunakan selama penelitian berlangsung antara lain a) Sampel tanah, b) DEM SRTM 30m, c) Citra Landsat 8 OLI/TIRS, d) Peta Rupa Bumi Indonesia skala 1:25.000, e) Peta Geologi skala 1:100.000, f) Peta tanah DAS Brantas skala 1:50.000, g) Data curah hujan 10 tahun, h) Bahan-bahan kimia untuk analisis bahan organik tanah dan tekstur.

a) Sampel tanah

Sampel tanah yang digunakan untuk analisis permeabilitas, dan berat isi adalah sampel tanah utuh (tidak terganggu), sedangkan sampel tanah yang digunakan untuk analisis tekstur, dan bahan organik tanah adalah sampel tanah komposit pada setiap SPL (satuan peta lahan) pada setiap kedalaman 20cm.

b) *Digital Elevation Model* (DEM) SRTM resolusi 30m

DEM SRTM dengan resolusi 30m didapatkan dari website earthexplorer.usgs.gov untuk pembuatan *hillshade*, Peta Kemiringan Lereng, Peta LS (salah satu parameter prediksi erosi), dan Peta Batas DAS.

c) Citra Landsat 8 OLI/TIRS

Data Citra Landsat 8 OLI/TIRS dengan path: 118, row: 66 memiliki format *Geotiff, tahun perekaman 5 Juni 2017, digunakan untuk membuat Peta Penggunaan Lahan dan Peta Faktor CP.

d) Peta rupa bumi Indonesia

Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) lembar Tlogosari 1607-441 dan lembar Tumpang 1607-443 skala 1:25.000 digunakan untuk pembuatan Peta Administrasi Kecamatan Wajak, Kabupaten Malang sekaligus untuk membuat Peta Lokasi Penelitian di DAS Mikro Bangsri.

e) Peta geologi

Peta Geologi lembar: Turen 1607-4 Skala 1:100.000 digunakan untuk pembuatan Peta Geologi.

f) Peta tanah DAS Brantas skala 1:50.000

Peta tanah DAS Brantas digunakan sebagai acuan pembuatan Peta Faktor K (erodibilitas), dan data sekunder pembuatan Peta Tanah di DAS Mikro Bangsri.

- g) Data curah hujan 10 tahun (2007-2016)

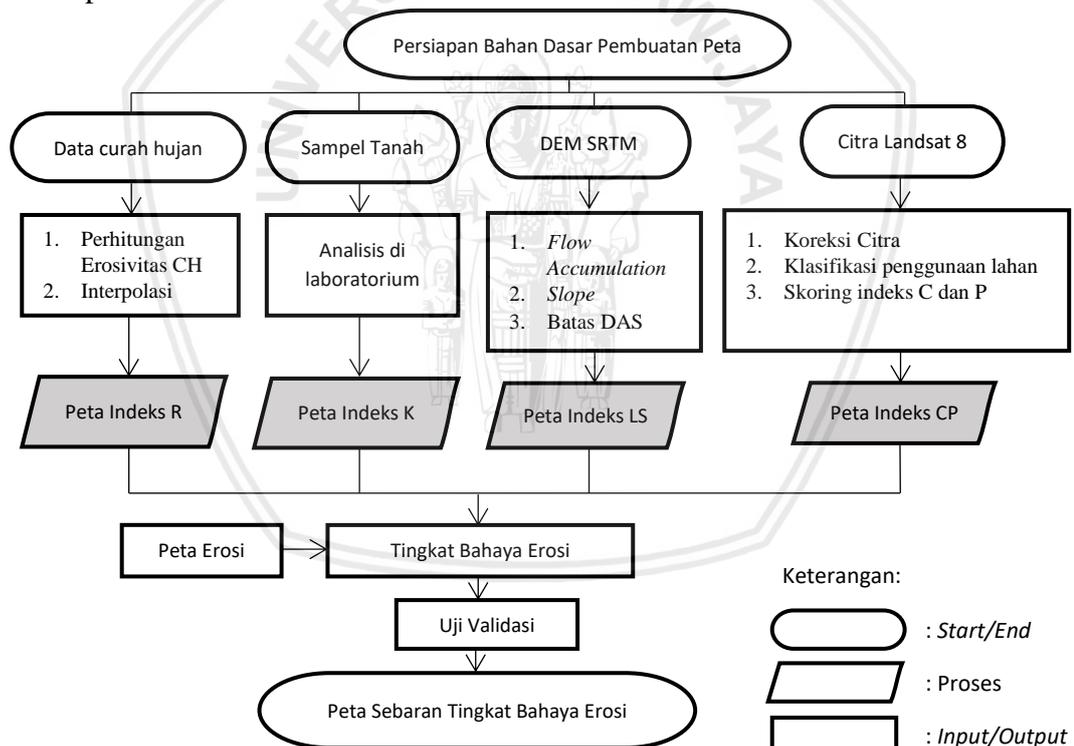
Data curah hujan harian selama 10 tahun di Stasiun Wajak, Poncokusumo, Turen, Gunungsari, Tumpang, Pasrujambe, Pronojiwo, Supiturang, Munggir, Bendo, Curah Kobaan.

- h) Bahan-bahan untuk analisis bahan organik dan tekstur tanah

Larutan H_3PO_4 , $K_2Cr_2O_7$, H_2SO_4 , $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, difenilamina, aquades, H_2O_2 , H_2O , $Na_4P_2O_7$, HCl.

3.3. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dibagi ke dalam 4 tahapan yaitu (1) tahap persiapan dan pengolahan peta awal (2) kegiatan survei di lapangan (3) analisis laboratorium (4) pengolahan data dan uji akurasi peta. Alur kerja penelitian secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 1. Alur Kerja Penelitian

3.3.1. Tahap persiapan dan pembuatan peta awal

Tahap persiapan meliputi beberapa kegiatan antara lain menyiapkan perizinan di lokasi penelitian, studi literatur, dan menyiapkan bahan-bahan yang dibutuhkan untuk membuat pembuatan peta awal. Setelah semua sudah dipersiapkan selanjutnya yang dilakukan adalah pembuatan peta dasar serta peta pendugaan bahaya erosi.

3.3.1.1. Pembuatan peta dasar

Peta dasar diperoleh dari pengolahan beberapa bahan yang sudah dikumpulkan pada tahap persiapan. Data yang digunakan untuk membuat peta dasar adalah DEM (*Digital Elevation Model*) SRTM resolusi 30 m, Peta Geologi, Citra Landsat 8 OLI/TIRS.

a. Pembuatan peta kemiringan lereng

Peta kemiringan lereng membutuhkan data DEM SRTM yang memiliki ukuran piksel 30 meter. Pembuatan peta kemiringan lereng dengan menggunakan aplikasi ArcGIS 10.5 dengan memasukkan data DEM DAS Mikro Bangsri ke dalam aplikasi. *Tool* yang digunakan untuk memproses data DEM ini adalah “*slope*”, selanjutnya memilih “*percent_rise*” pada pilihan “*output measurement*”. Hasil dari proses tersebut adalah data kemiringan lereng di DAS Mikro Bangsri. Data tersebut kemudian disesuaikan dengan data rentang kemiringan lereng Rayes (2006). *Tool* yang digunakan adalah “*reclassify*”. Pada *tool* ini dibutuhkan data “*slope*” yang telah diproses. Selanjutnya menentukan jumlah dan rentang kelas kemiringan dengan memilih “*classify*”. Setelah menjalankan prosesnya maka didapatkan peta kemiringan lereng sesuai dengan kelas yang digunakan.

b. Pembuatan peta geologi

Pembuatan peta geologi dibuat dengan menggunakan aplikasi ArcGIS 10.5. Data yang dibutuhkan adalah peta digital geologi. Peta yang digunakan adalah peta geologi lembar: Turen 1607-4 skala 1:100.000. proses pembuatan peta geologi yaitu dengan memasukkan data peta geologi ke dalam aplikasi, setelah itu dilakukan rektifikasi dan melakukan proses digitasi berdasarkan lokasi penelitian.

c. Pembuatan peta penggunaan lahan

Pembuatan peta penggunaan lahan dilakukan dengan cara klasifikasi citra satelit landsat 8, menggunakan metode supervised klasifikasi hirarki (*Hirerarchical*

Classification). Metode klasifikasi ini digunakan untuk menginterpretasikan citra menggunakan data spektral dan juga melalui informasi spasial dari obyek pada citra seperti tekstur, bentuk, dan lain-lain. Level pertama adalah membedakan antara data dan *no data*. Kelas data terdiri dari daratan, sedangkan kelas *no data* terdiri dari awan dan bayangan. Level kedua adalah membedakan antara vegetasi dan non vegetasi. Kelas vegetasi terdiri dari Kayu dan Non kayu. Sementara itu, kelas non vegetasi terdiri dari permukiman dan pertambangan (lahan kosong). Level ketiga adalah membedakan antara kayu dan non kayu. Kelas non kayu terdiri dari tegalan, sawah, semak belukar. Sementara itu, pada kelas kayu terdiri dari hutan produksi, hutan alami dan agroforestri.

d. Pembuatan peta erosi dengan model RUSLE

1. Peta faktor erosivitas

Curah hujan merupakan salah satu faktor penentu terjadinya erosi. Data curah hujan masih berupa data sekunder non spasial dari tahun 2007 hingga 2016 di 11 stasiun. Data tersebut kemudian diolah menjadi data spasial melalui posisi koordinat masing-masing stasiun curah hujan. Perhitungan indeks erosivitas hujan dihitung dengan persamaan Utomo (1994) yang disajikan pada Persamaan 1. Setelah dihitung dengan persamaan Utomo kemudian digunakan metode interpolasi Kriging untuk mengetahui sebaran indeks erosivitas hujan.

$$R_b = 10,80 + 4,15 H_b \quad (1)$$

Keterangan: R_b = erosivitas bulanan (MJ/ha/th); H_b = curah hujan bulanan (cm)

2. Peta faktor erodibilitas

Indeks erodibilitas menunjukkan tingkat kerentanan tanah terhadap erosi. Nilai erodibilitas diperoleh dari data hasil uji laboratorium sampel tanah di lapangan. Jenis data yang diperlukan adalah tekstur tanah, bahan organik, permeabilitas tanah, dan klasifikasi struktur tanah. Faktor erodibilitas tanah dihitung menggunakan persamaan Wischmeier dan Smith (1978) yang disajikan pada Persamaan 2. Pengambilan sampel tanah di lapangan disesuaikan dengan SPL (Satuan peta lahan) pada setiap kedalaman 0-20 cm.

Persamaan 2 merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai erodibilitas pada penelitian ini.

$$100K = 1,292 (2,1M^{1,14}(10^{-4}) (12 - a) + 3,25 (b - 2) + 2,5 (c - 3)) \quad (2)$$

Keterangan: K = erodibilitas tanah; M = ukuran partikel (% debu + pasir sangat halus) x (100 - %liat), %pasir sangat halus diperoleh dari perhitungan 30% dari fraksi pasir; a = kandungan bahan organik (%C x 1,73); b = kelas struktur tanah (Tabel 5) ; c = kelas permeabilitas tanah (Tabel 6).

Tabel 2. Klasifikasi Struktur Tanah

Kelas	Keterangan Struktur Tanah
1	Granuler Sangat Halus
2	Granuler Halus
3	Granuler Sedang – Kasar
4	Massif, Kubus, Lempeng

Tabel 3. Klasifikasi Permeabilitas Tanah

Kelas	Permeabilitas (cm.jam ⁻¹)	Keterangan
1	> 12,5	Cepat
2	6,26 – 12,5	Agak Cepat
3	2,01 – 6,24	Sedang
4	0,51 – 2,00	Agak Lambat
5	0,125 – 0,50	Lambat
6	< 0,125	Sangat Lambat

3. Peta faktor panjang dan kemiringan lereng

Nilai faktor LS diperoleh dari data DEM SRTM resolusi 30m, diolah menjadi data *slope* (kelerengan), *flow direction* (arah aliran) dan *flow accumulation* (akumulasi aliran). Data tersebut kemudian digunakan untuk menghitung faktor panjang dan kemiringan lereng dengan menggunakan Persamaan 3. Nilai faktor LS pada model RUSLE telah dilakukan pembaruan oleh Renard *et al.* (1997). Kemiringan lereng dibedakan menjadi dua yaitu < 9% dan ≥ 9%. Ekici, 2010 (*dalam Pelton et al.*, 2012) mengemukakan bahwa pada beberapa penelitian telah dikembangkan suatu persamaan untuk mencari nilai LS dengan memanfaatkan data DEM (*Digital Elevation Model*) pada SIG.

$$LS = \left(\frac{y \times cz}{22,1}\right)^{0,4} \times \left(\frac{\sin \theta \times 0,01745}{0,09}\right)^{1,4} \times 1,4 \quad (3)$$

Keterangan: LS = panjang dan kemiringan lereng; $y = \text{flow accumulation}$; $cz =$ ukuran piksel (30 m) ; $\sin \emptyset =$ panjang lereng (*slope*)

4. Faktor pengelolaan tanaman dan tindakan konservasi

Nilai faktor tanaman dan pengelolaan lahan diperoleh dari interpretasi Citra Landsat 8 OLI. Hasil dari klasifikasi tersebut berupa penggunaan lahan, yang kemudian dilakukan validasi di lapangan. Untuk mengetahui nilai dari faktor C menggunakan data pada Lampiran 2, sedangkan nilai untuk faktor P menggunakan data pada Lampiran 3.

5. Prediksi erosi dengan model RUSLE

Pembuatan Peta Prediksi Erosi dengan model RUSLE oleh Renard (1997) menggunakan rumus pada Persamaan 4. Data yang diperlukan adalah peta-peta yang telah dibuat sebelumnya pada bagian a) hingga d), sedangkan untuk mengetahui tingkat bahaya erosi (TBE) pada lokasi penelitian, hasil dari perhitungan erosi tersebut dilakukan klasifikasi menjadi 5 kelas, dapat dilihat secara rinci pada Tabel 3.

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (4)$$

Keterangan: A = banyaknya tanah tererosi (ton/ha/th), R = erosivitas hujan, K = erodibilitas tanah, LS = panjang dan kemiringan lereng, C = faktor pengelolaan tanaman, P = faktor tindakan konservasi

e. Erosi Diperbolehkan (EDP)

EDP merupakan erosi yang masih dapat diperbolehkan atau ditoleransikan. Untuk mengetahui erosi yang terjadi di lokasi penelitian masih diperbolehkan atau dapat menyebabkan degradasi lahan, maka dilakukan perhitungan EDP. Apabila laju erosi yang terjadi sama atau di bawah nilai EDP maka erosi masih dapat diperbolehkan, sedangkan apabila laju erosi di lokasi penelitian melebihi dari nilai EDP maka telah terjadi degradasi lahan, oleh karena itu harus dilakukan tindakan konservasi yang tepat. Perhitungan EDP menggunakan Persamaan Hammer (1981) yang disajikan pada Persamaan 5. Untuk nilai dari F_k (faktor kedalaman) dapat dilihat pada Lampiran 4. Kedalaman tanah diamati di lapangan dengan menggunakan bor tanah. Umur kelestarian tanah untuk ordo Entisols adalah 400 tahun (Arsyad,2006) sedangkan umur kelestarian tanah untuk ordo Inceptisols adalah 300 tahun (Widiatmaka, 2012).

Persamaan 5 merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung erosi yang diperbolehkan dalam penelitian ini.

$$Edp = \frac{\text{Kedalaman Ekuivalen}}{\text{Umur atau kelestarian tanah}} \quad (5)$$

Kedalaman ekuivalen = Kedalaman x Fk

Keterangan: Edp = erosi diperbolehkan ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{th}^{-1}$) Fk = faktor kedalaman menggambarkan kemudahan kerusakan tanah.

3.3.2. Survei lapangan

Survei lapangan dilakukan untuk pengambilan sampel tanah, pengukuran kedalaman solum, dan pengamatan tingkat bahaya erosi di lapangan. Terdapat beberapa parameter yang menjadi pengamatan di lapangan untuk mengetahui kondisi erosi di lapangan.

3.3.2.1. Penentuan titik pengamatan

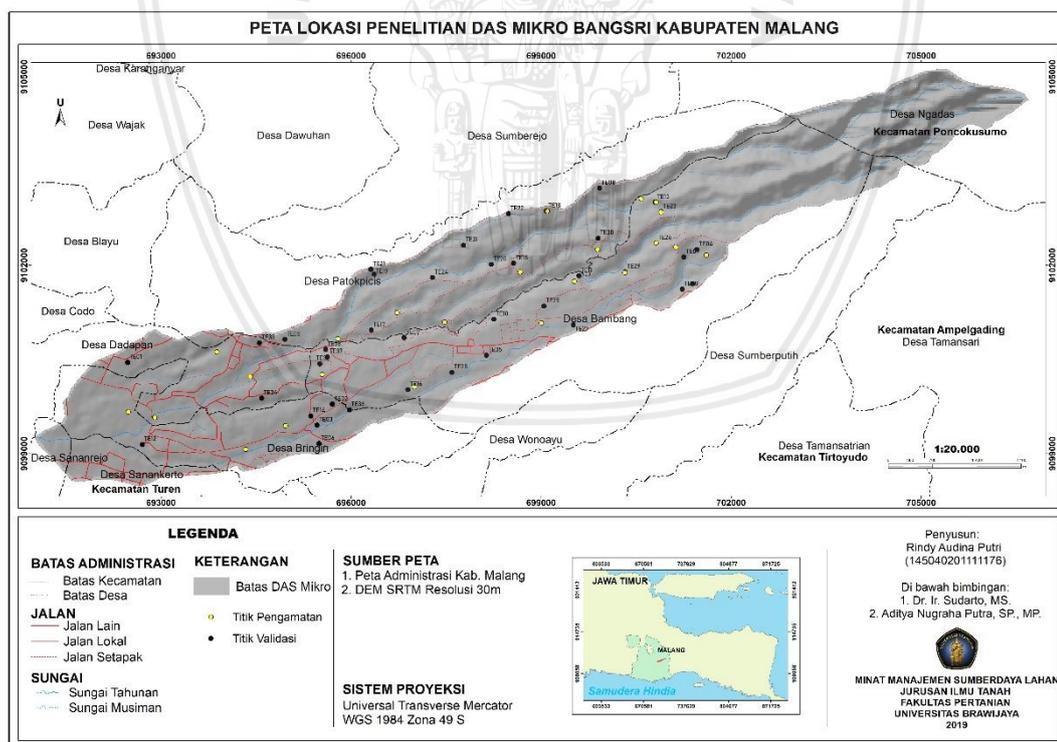
Titik pengamatan perlu ditentukan diawal karena titik ini yang nantinya akan dilakukan pengamatan (observasi). Titik pengambilan sampel tanah dan pengamatan ketebalan solum diamati sesuai dengan Satuan Peta Lahan (SPL) yang berjumlah 24 titik, titik ini merupakan titik sebagai *training area*. Data pada titik pengamatan sesuai SPL tersebut digunakan untuk menghitung Indeks erodibilitas dan EDP. Sedangkan titik validasi (pengamatan erosi dengan indikator) berjumlah 40 titik ditentukan secara acak dengan mempertimbangkan beberapa aspek yaitu penggunaan lahan dan kondisi lereng serta aksesibilitas lokasi titik tersebut. Titik pengamatan tingkat bahaya erosi ini digunakan sebagai titik validasi (pengujian akurasi pada peta). Sebaran Peta Titik Pengamatan disajikan pada Gambar 5.

3.3.2.2. Pengamatan lapangan

Pengamatan di lapangan berupa pengambilan sampel tanah (utuh dan komposit), pengamatan struktur tanah, pengukuran kemiringan lereng dan kedalaman solum tanah, validasi penggunaan dan tutupan lahan, serta tindakan konservasi yang dilakukan petani. Sampel tanah yang diambil pada saat pengamatan adalah sampel tanah utuh dan komposit. Pengambilan sampel tanah

utuh menggunakan ring sampel yang digunakan untuk analisis laboratorium permeabilitas dan berat isi tanah. Pengambilan sampel tanah komposit dilakukan secara zig-zag dengan kedalaman 0-20 cm menggunakan bor tanah (Sinaga, 2014). Sampel tanah komposit digunakan untuk analisis laboratorium meliputi tekstur tanah, dan bahan organik tanah. Pengamatan struktur tanah dilakukan dengan cara pengambilan agregat utuh di lapangan, pengamatan dibagi menjadi dua yaitu bentuk agregat, ukuran agregat. Bentuk agregat dievaluasi berdasarkan kenampakan dan ukurannya dapat diukur langsung.

Pengukuran kemiringan lereng menggunakan klinometer pada setiap titik pengamatan. Kemiringan lereng diukur dengan mengarahkan klinometer ke arah batas bawah lahan dan titik bidik yang dipilih sejajar dengan posisi mata. Pengukuran kedalaman solum tanah diukur menggunakan bor tanah hingga 120 cm atau kedalaman tanah. Pengamatan erosi di lapangan menggunakan meteran, dan dilakukan observasi kenampakan indikator erosi setelah beberapa hari terjadinya hujan di lokasi penelitian.



Gambar 2. Peta Titik Pengamatan di Lokasi Penelitian

3.3.2.3. Pengamatan tingkat bahaya erosi di lapangan

Pengamatan erosi di lapangan pada penelitian ini menggunakan pendekatan secara kualitatif. Kriteria pengamatan tingkat bahaya erosi secara kualitatif ini merupakan hasil modifikasi dari kriteria tingkat bahaya erosi oleh Morgan (2005) dengan Stocking dan Murnaghan (2000).

Kriteria pengamatan tingkat bahaya erosi di lapangan dijelaskan secara rinci berikut ini:

a) Sangat Ringan

Tidak ada *pedestals* atau akar pohon yang tampak di permukaan; tidak ada bukti pemadatan atau permukaan tanah yang mengeras; tanaman penutup tanah lebih dari 70% (permukaan tanah dan kanopi).

b) Ringan

Terdapat *pedestals* kecil dengan kedalaman 0,1-0,5cm, terdapat sedikit *armour layer* (partikel kasar) tidak lebih dari 10% di area; terdapat beberapa pemadatan permukaan tanah; erosi alur setiap 50-100m; tanaman penutup tanah sebesar 30-70%.

c) Sedang

Terdapat *pedestals* dan akar pohon yang tampak yang menandai permukaan tanah sebelumnya hingga kedalaman 0,5-1cm dan menempati tidak lebih dari 10% dari luas; terdapat erosi alur terputus-putus setiap 20-50m dengan kedalaman < 20cm; tanaman penutup tanah 30-70%.

d) Berat

Terdapat singkapan akar, *pedestals* dan gundukan tanah hingga kedalaman 1-5cm menempati tidak lebih dari 10% area; terdapat erosi alur yang terhubung dan terus menerus setiap 5-10m, dengan kedalaman hingga 30 cm; tanaman penutup tanah kurang dari 30%.

e) Sangat Berat

Terdapat erosi alur secara terus menerus setiap 2-5m atau erosi parit setiap 20 m; singkapan akar, *pedestals* dan (*tree mounds*) atau gundukan tanah hingga kedalaman 5-10 cm mencakup lebih dari 10% area; terdapat (*armour layer*) partikel kasar; tanah gundul; pendangkalan badan air; kerusakan jalan oleh erosi dan sedimentasi.

3.3.3. Analisis Laboratorium

Data sampel tanah yang telah diambil dari pengamatan di lapangan kemudian dianalisis di laboratorium berupa analisis permeabilitas, tekstur tanah, berat isi, dan bahan organik tanah (Tabel 7). Analisis tanah dilakukan di Laboratorium Fisika Tanah, dan Laboratorium Kimia Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya.

Tabel 4. Parameter dan Metode Analisis di Laboratorium

No	Parameter	Metode	Satuan
1	Permeabilitas/KHJ	<i>Constant Head</i>	cm.jam ⁻¹
2	Tekstur Tanah	Pipet	%
3	Berat Isi	Silinder	g.cm ⁻³
4	Bahan Organik	<i>Walkey and Black</i>	%

3.3.4. Tahap Uji Validasi

Uji validasi pada penelitian ini menggunakan matriks kesalahan atau *confusion matrix*. Uji validasi dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi pada Peta Prediksi Tingkat Bahaya Erosi. Uji akurasi dinilai dengan cara membandingkan bahaya erosi pada peta dan bahaya erosi di lapangan. Uji *confusion matrix* terdiri dari perhitungan *producer's accuracy*, *user's accuracy*, *overall accuracy*, dan indeks Kappa Jensen (2005) dalam (Wulansari, 2017).

Producer's accuracy merupakan akurasi yang dilihat dari sisi penghasil peta, *user's accuracy* merupakan akurasi yang dilihat dari sisi pengguna petanya, sedangkan indeks Kappa digunakan untuk menentukan bagaimana klasifikasi membandingkan secara acak menempatkan nilai ke dalam setiap piksel. Perhitungan *producer's accuracy* dan *user's accuracy* disajikan pada Tabel 8. Perhitungan indeks Kappa disajikan pada Persamaan 6, hasil dari perhitungan indeks Kappa selanjutnya diinterpretasi untuk mengetahui tingkat akurasi pada peta tersebut (Tabel 9). Perhitungan *overall accuracy* disajikan pada Persamaan 7, hasil dari *overall accuracy* dinyatakan dalam bentuk persentase (%), apabila hasil perhitungan menunjukkan nilai 80-85% maka peta tersebut memiliki akurasi yang tinggi.

$$Kappa = \frac{N \sum_{i=1}^I X_{ii} - \sum_{i=1}^I X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^I (X_{i+} X_{+i})} \quad (6)$$

Keterangan: N = jumlah seluruh sampel dalam *confusion matrix*

X_{ii} = kelas yang benar di prediksi dan divalidasi lapangan

X_{i+} = jumlah seluruh kolom pada suatu baris

X_{+1} = jumlah seluruh baris pada suatu kolom

Persamaan 7 merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung *overall accuracy* atau akurasi secara keseluruhan.

$$\text{Overall accuracy} = \frac{A + B + C + D + E}{\sum \text{Kolom}} \quad (7)$$

Tabel 5. Matriks Kesalahan

Kelas Erosi		Erosi di Lapangan (<i>Ground Check</i>)					Total baris	<i>User's accuracy</i>
		Sangat Ringan	Ringan	Sedang	Berat	Sangat Berat		
Hasil Peta	Sangat Ringan	A	a	b	c	d	Baris 1	
	Ringan	e	B	f	g	h	Baris 2	
	Sedang	i	j	C	k	l	Baris 3	
	Berat	m	n	o	D	p	Baris 4	
	Sangat Berat	q	r	s	t	E	Baris 5	
Total Kolom		Kolom 1	Kolom 2	Kolom 3	Kolom 4	Kolom 5	N	
<i>Producer's accuracy</i>								
<i>Overall accuracy</i>								

Sumber: Jensen (2005) dalam Wulansari (2017)

Keterangan:

X_{ii} atau (A, B, C,...D) = jumlah kelas yang benar dari hasil peta dengan validasi di lapangan,

a, b, c,...t = jumlah kelas hasil validasi di lapangan

Lanjutan. Tabel 8

No	Kelas Erosi	<i>Producer's accuracy</i>	<i>User's accuracy</i>
1	Sangat Ringan	$\frac{A}{\sum \text{Kolom 1}} \times 100\%$	$\frac{A}{\sum \text{Baris 1}} \times 100\%$
2	Ringan	$\frac{B}{\sum \text{Kolom 2}} \times 100\%$	$\frac{B}{\sum \text{Baris 2}} \times 100\%$
3	Sedang	$\frac{C}{\sum \text{Kolom 3}} \times 100\%$	$\frac{C}{\sum \text{Baris 3}} \times 100\%$
4	Berat	$\frac{D}{\sum \text{Kolom 4}} \times 100\%$	$\frac{D}{\sum \text{Baris 4}} \times 100\%$
5	Sangat Berat	$\frac{E}{\sum \text{Kolom 5}} \times 100\%$	$\frac{E}{\sum \text{Baris 5}} \times 100\%$

Sumber: Jensen (2005) dalam Wulansari (2017)

Tabel 9 merupakan interpretasi nilai koefisien Kappa menurut Fleiss (1982) dalam Napitupulu (2014).

Tabel 6. Nilai Interpretasi Kappa

No	Indeks Kappa	Agreement
1	<0.40	<i>Bad</i>
2	$0.40 - 0.60$	<i>Fair</i>
3	$0.60 - 0.75$	<i>Good</i>
4	>0.75	<i>Excellent</i>

Sumber: Fleiss (1982) dalam Napitupulu (2014)



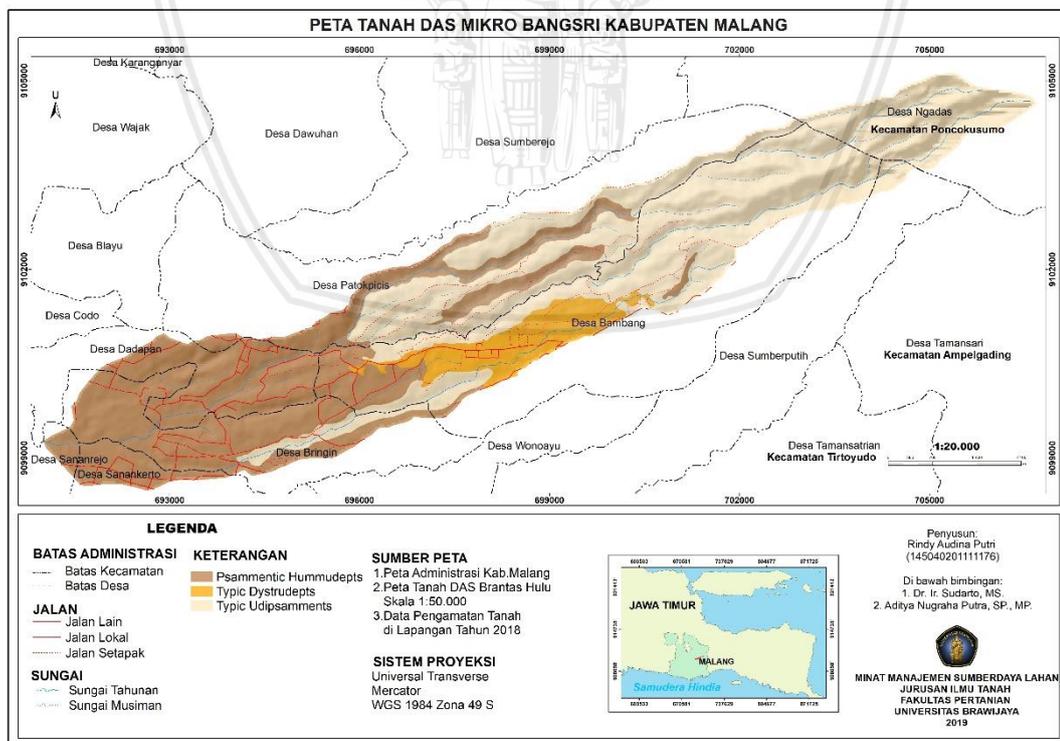
IV. KONDISI UMUM WILAYAH

4.1. Lokasi Penelitian

DAS Mikro Bangsri merupakan wilayah sub-sub DAS Lesti yang berada di Kecamatan Wajak, Kabupaten Malang. DAS Mikro Bangsri memiliki luasan sebesar ± 2.985,07 ha. Secara geografis DAS Bangsri terletak antara 691005 hingga 706692 dan antara 9099260 hingga 9104640. Pada sistem grid UTM (*Universal Transverse Mercator*) wilayah ini berada pada Zona 49S. Secara administrasi, berbatasan dengan tujuh Desa di Kecamatan Wajak, yaitu Desa Ngadas, Desa Patokpicias, Desa Bambang, Desa Dadapan, Desa Bringin, Desa Sanankerto, dan Desa Sananrejo.

4.2. Jenis Tanah di Lokasi Penelitian

Tanah pada DAS Mikro Bangsri berkembang dari bahan endapan gunung api berupa tuf, pasir dan pasir. Berdasarkan hasil penelitian Ridwan (2019) terdapat dua jenis ordo tanah di DAS Mikro Bangsri, yaitu ordo Inceptisols dan ordo Entisols (Tabel 10). Inceptisols merupakan tanah yang memiliki perkembangan lebih lanjut dibandingkan dengan Entisols yang merupakan tanah baru terbentuk. Sebaran jenis tanah di lokasi penelitian pada Gambar 6.



Gambar 1. Peta Jenis Tanah di Lokasi Penelitian

Tabel 10 merupakan data jenis tanah di DAS Mikro Bangsri beserta luasan dalam satuan hektar dan persen.

Tabel 1. Data Jenis Tanah di Lokasi Penelitian

No	Jenis Tanah	Luas	
		Ha	%
1	Typic Dystrudepts	226,4	7,4
2	Psammentic Humudepts	1216,6	40,8
3	Typic Udipsamments	1542	51,7
Total		2985,07	100

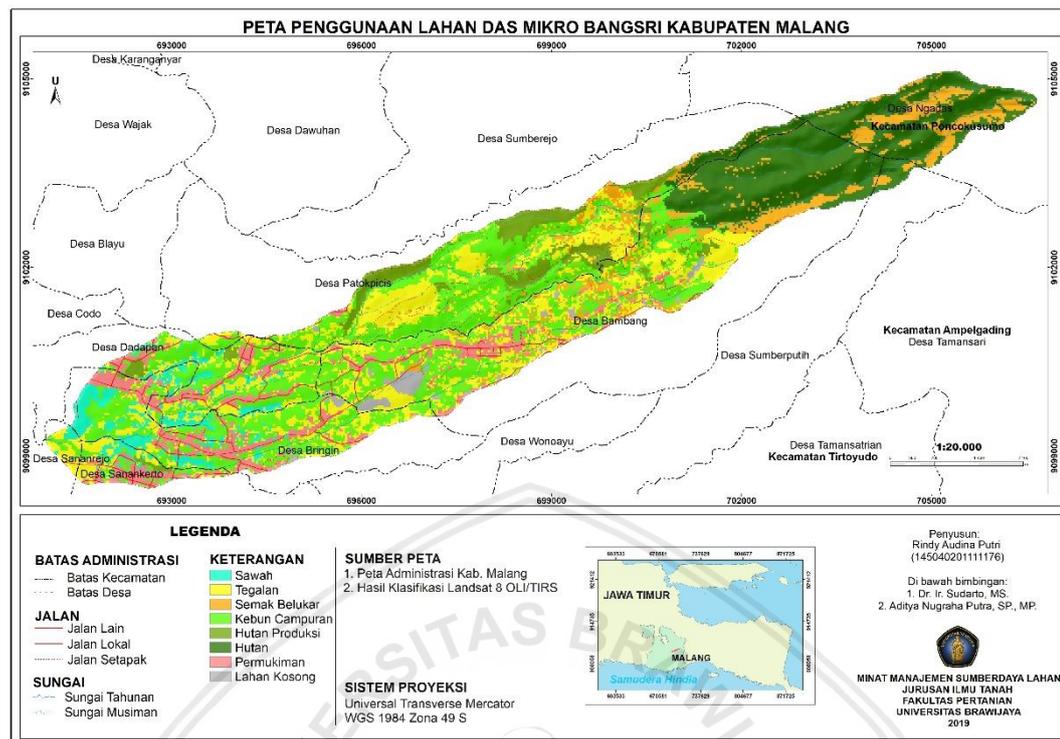
Sumber: Hasil Penelitian Ridwan (2019)

Ordo Inceptisols dengan Jenis tanah Typic Dystrudepts memiliki luas sebesar 226,44 ha, dan jenis tanah Psammentic Humudepts memiliki luas sebesar 1216,61 ha, sedangkan ordo Entisols dengan jenis tanah Typic Udipsamments memiliki luas sebesar 1542,01 ha. berdasarkan luas tersebut diketahui jenis tanah yang mendominasi di DAS Mikro Bangsri adalah Typic Udipsamments.

4.3. Penggunaan Lahan di Lokasi Penelitian

Penggunaan lahan pada DAS Mikro Bangsri terbagi atas 8 penggunaan lahan yaitu sawah, tegalan, semak belukar, agroforestri, hutan produksi, hutan alami, permukiman, dan lahan kosong/pertambangan pasir. Identifikasi penggunaan lahan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh menggunakan data Citra Landsat 8 OLI. Sebaran penggunaan lahan di lokasi penelitian disajikan pada Gambar 7.

Tabel 11 memperlihatkan persentase luas masing-masing penggunaan lahan pada lokasi penelitian. Berdasarkan hasil klasifikasi dapat dilihat bahwa jenis penggunaan lahan yang mendominasi pada lokasi penelitian adalah penggunaan lahan agroforestri ± 933,5 ha atau sebesar 31,3% dari total luas keseluruhan. Penggunaan lahan paling kecil adalah lahan kosong/pertambangan pasir seluas 25,2 ha atau 0,8%. Penggunaan lahan pada lereng bawah DAS Mikro Bangsri didominasi oleh penggunaan lahan sawah, permukiman dan tegalan, pada lereng tengah DAS Mikro Bangsri didominasi oleh penggunaan lahan agroforestri dan hutan produksi, sedangkan pada bagian lereng atas DAS Mikro Bangsri di dominasi oleh penggunaan lahan hutan alami TNBTS dan semak belukar.



Gambar 2. Peta Penggunaan Lahan DAS Mikro Bangsri

Tabel 2. Luas Penggunaan Lahan di DAS Mikro Bangsri

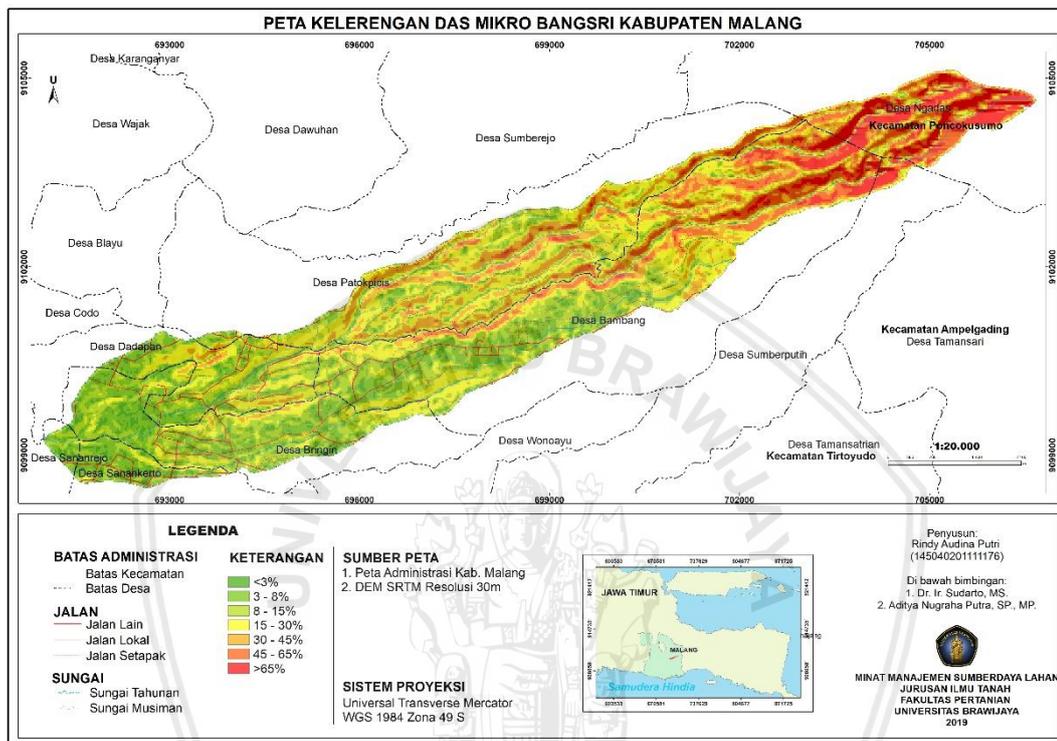
No	Penggunaan Lahan	Luas	
		ha	%
1	Sawah	136,3	4,6
2	Tegalan	657	22
3	Semak Belukar	402,3	13,5
4	Agroforestri	933,5	31,3
5	Hutan Produksi	172,2	5,8
6	Hutan Alami	406,7	13,6
7	Permukiman	252	8,4
8	Lahan Kosong	25,2	0,84
Total		2985,07	100

Sumber: Hasil Analisis 2019

4.4. Kemiringan Lereng di Lokasi Penelitian

Kemiringan lereng menunjukkan besarnya sudut lereng dalam persen atau derajat. Kecuraman lereng 100% sama dengan kecuraman 45° (Arsyad, 2010). Kelerengan pada DAS Mikro Bangsri sangat beragam dan sebagian besar mempunyai kelerengan 15-30% (berbukit) dengan luas sebesar $\pm 772,4$ ha. Keberagaman lereng pada DAS Mikro Bangsri dikarenakan wilayah ini terletak di lereng Gunung Jembangan-Semeru. Secara keseluruhan sebaran kelerengan pada DAS Mikro Bangsri dapat dilihat pada Gambar 8. Berdasarkan peta pada Gambar

7 dapat dilihat bahwa lahan yang berada di bagian tengah DAS Mikro Bangsri didominasi oleh lahan yang memiliki kelerengan 8-15% (agak miring) dan 15-30% (miring) dengan total 1416,8 ha. Sedangkan pada bagian timur DAS Mikro Bangsri didominasi oleh lereng 30 - >65%, agak curam hingga curam dengan total 927 ha. Data kelerengan secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 12.



Gambar 3. Peta Kelerengan di Lokasi Penelitian

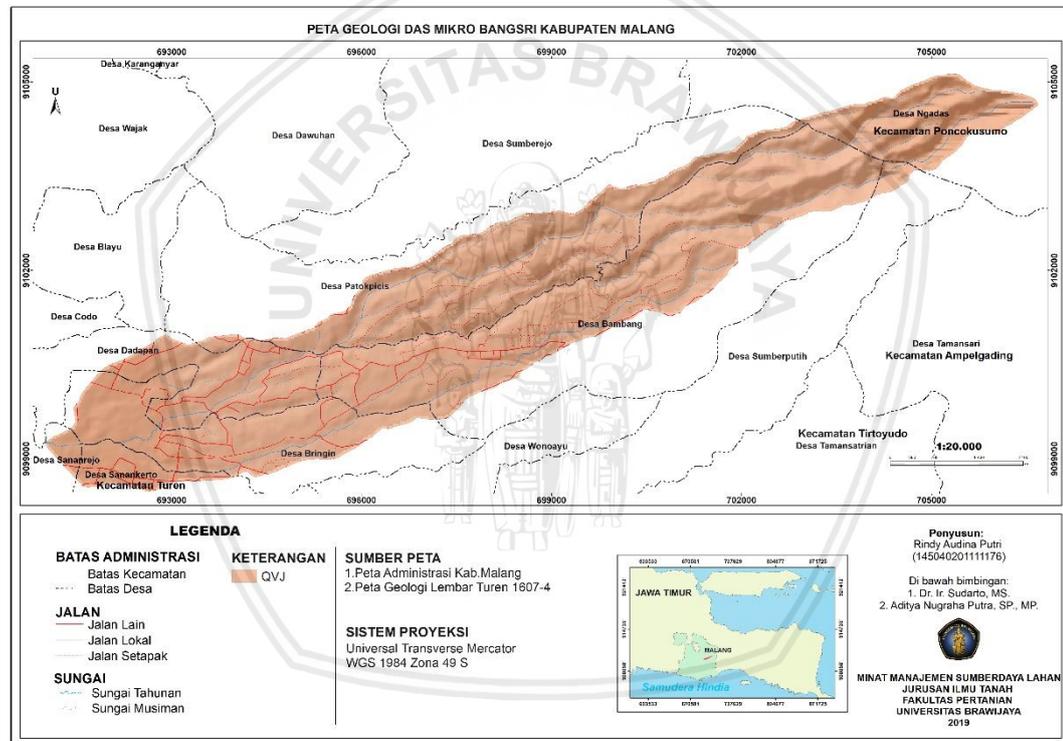
Tabel 3. Data Kemiringan Lereng di DAS Mikro Bangsri

No	Lereng (%)	Relief	Luas	
			ha	%
1	< 3	Datar	103,8	3,5
2	3 - 8	Landai/Berombak	537,5	18,0
3	8 - 15	Agak Miring/Bergelombang	644,4	21,6
4	15 - 30	Miring/Berbukit	772,4	25,9
5	30 - 45	Agak Curam	439,8	14,7
6	45 - 65	Curam	311,7	10,4
7	> 65	Sangat Curam	175,5	5,9
Total			2985,07	100

Sumber: Hasil Analisis 2019

4.5. Satuan Geologi di Lokasi Penelitian

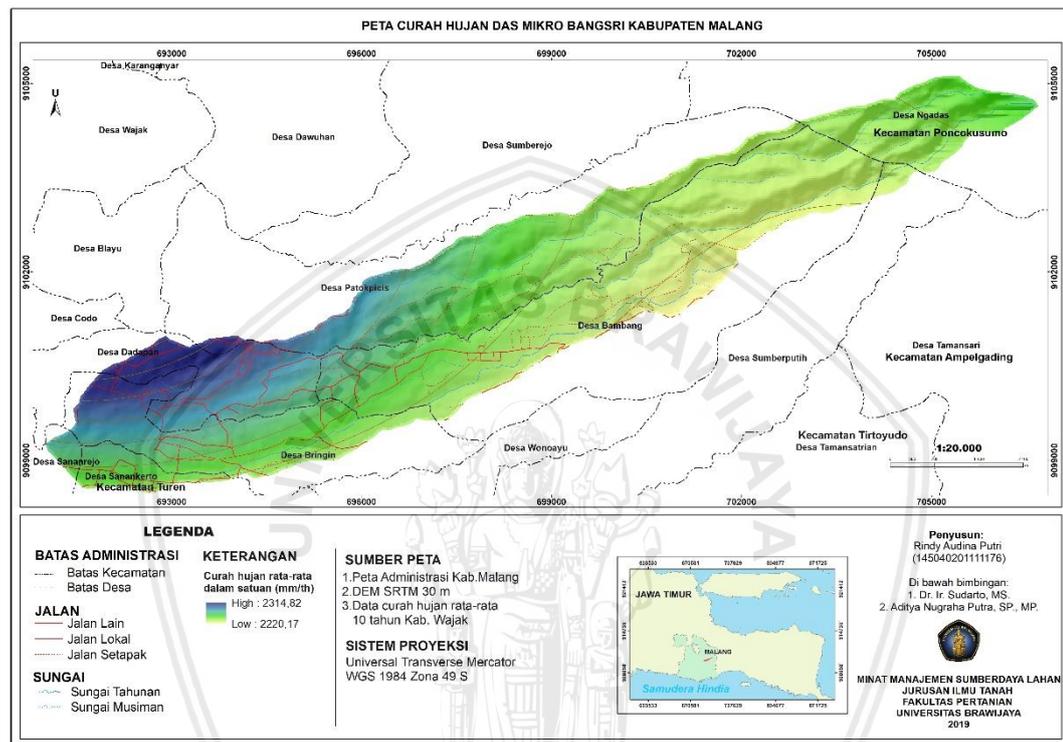
DAS Mikro Bangsri tersusun atas satu satuan geologi berdasarkan Peta Geologi lembar Turen, yaitu Quarter Vulkanik Jembangan (QVJ). Endapan Gunung Api Jembangan terdiri dari lava basal olivin, tuf, tuf pasiran, dan pasir. Penyebaran terjadi di sebelah utara dan barat Gunung Mahameru. Diperkirakan berumur holosen dengan lingkungan pengendapan subaerial vulkanik (Sujanto *et al.*, 1992). Sebagian dari satuan ini juga diduga sebagai alas dari Endapan Gunung Api Kepolo karena terdapat singkapan yang menunjukkan sebagian dari Endapan Gunung Api Jembangan tertindih Endapan Gunung Api Kepolo. Secara rinci Peta Geologi DAS Mikro Bangsri disajikan pada Gambar 9.



Gambar 4. Peta Geologi di Lokasi Penelitian

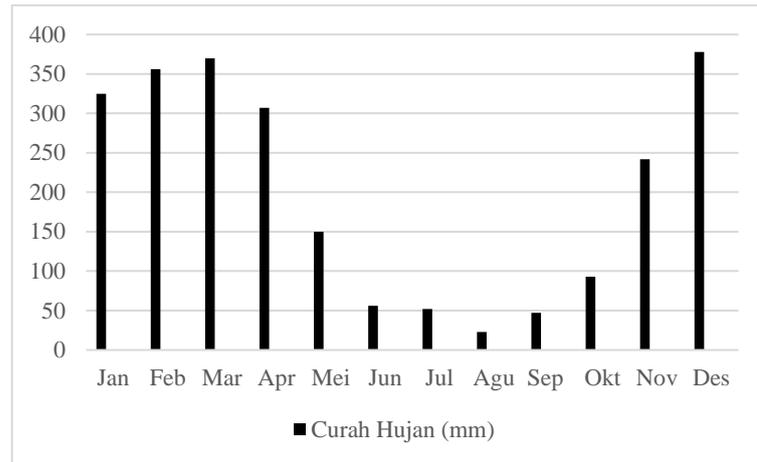
4.6. Tipe Iklim di Lokasi Penelitian

Data curah hujan diperoleh dari Stasiun Wajak. Data curah hujan yang digunakan selama 10 tahun, dimulai dari tahun 2007 hingga tahun 2016 (Gambar 10). Diketahui bahwa curah hujan tertinggi terjadi pada bulan Desember dan curah hujan terendah terjadi pada bulan Agustus.



Gambar 5. Peta Curah Hujan di Lokasi Penelitian

Pada Gambar 11 menjelaskan 2 Tipe iklim di DAS Mikro Bangsri, yaitu tipe iklim Schmidt dan Ferguson dan tipe iklim Oldeman. Iklim Schmidt dan Ferguson menjelaskan bulan basah memiliki curah hujan > 100 mm, sedangkan bulan kering < 60 mm. Tipe iklim Oldeman menjelaskan bulan basah memiliki curah hujan > 200 mm, dan bulan kering memiliki curah hujan < 100 mm.



Gambar 6. Rata-rata Curah Hujan di Stasiun Wajak

Menurut klasifikasi iklim Schmidt dan Ferguson tipe iklim pada lokasi penelitian adalah Tipe D (Sedang) dengan nilai Q sebesar 0,6. Bulan basah terjadi pada bulan Januari hingga Mei, dan bulan November hingga Desember. Sedangkan bulan kering terjadi pada bulan Juni hingga bulan Oktober. Menurut klasifikasi iklim Oldeman di lokasi penelitian memiliki tipe iklim C3, yaitu Tipe C memiliki bulan basah berturut-turut 6 bulan, subdivisi 3 memiliki bulan kering berturut-turut 5 bulan.

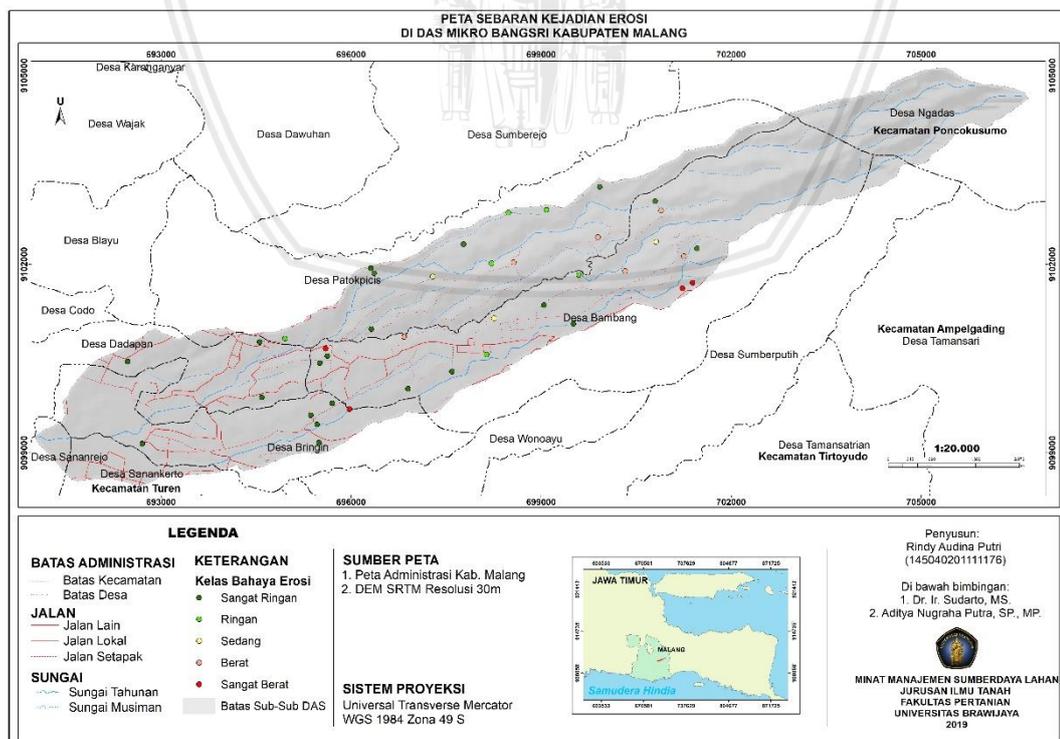
V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Erosi di DAS Mikro Bangsri

Erosi yang terjadi di DAS Mikro Bangsri adalah erosi yang terletak di lahan pertanian. Penggunaan lahan tersebut adalah agroforestri, hutan produksi, padang rumput, semak belukar, tegalan, dan bera. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan indikator kejadian erosi yaitu *pedestals*, *armour layer*, singkapan akar, erosi alur dan erosi parit. *Pedestals*, *armour layer*, dan singkapan akar merupakan indikator telah terjadinya erosi lembar (*sheet erosion*).

5.1.1. Sebaran erosi di DAS Mikro Bangsri

Terdapat 40 titik pengamatan erosi di lahan pertanian (Gambar 12). Berdasarkan pengamatan erosi pada setiap penggunaan lahan, lahan agroforestri terdapat bahaya erosi sangat ringan berjumlah 10 titik pengamatan, erosi ringan berjumlah 5 titik pengamatan, erosi sedang berjumlah 8 titik pengamatan, dan erosi berat berjumlah 3 titik pengamatan. Pada lahan hutan produksi terdapat bahaya erosi sangat ringan berjumlah 4 titik pengamatan, dan erosi berat berjumlah 1 titik pengamatan. Pada lahan padang rumput dan semak belukar terdapat bahaya erosi sangat ringan berturut-turut berjumlah 1 dan 2 titik pengamatan.



Gambar 1. Peta Sebaran Bahaya Erosi

Pada lahan tegalan terdapat bahaya erosi sangat ringan berjumlah 1 titik pengamatan, erosi ringan 1 titik pengamatan, erosi sedang 2 titik pengamatan, dan erosi sangat berat berjumlah 1 titik pengamatan. Pada penggunaan lahan bera ditemukan bahaya erosi ringan berjumlah 1 titik pengamatan. Data pengamatan bahaya erosi di lahan dapat dilihat secara rinci pada Lampiran 8.

Tabel 1. Bahaya Erosi pada Beberapa Penggunaan Lahan

Penggunaan Lahan	Bahaya Erosi				
	Sangat Ringan	Ringan	Sedang	Berat	Sangat Berat
Agroforestri	10	5	8	3	0
Hutan produksi	4	0	0	1	0
Padang rumput	1	0	0	0	0
Semak belukar	2	0	0	0	0
Tegalan	1	1	2	0	1
Bera	0	1	0	0	0

5.1.2. Jenis erosi di DAS Mikro Bangsri

Jenis erosi yang ditemukan pada lahan pertanian di DAS Mikro Bangsri ada 2 yaitu, erosi lembar dan erosi alur. Erosi lembar terjadi secara merata sehingga untuk pengamatan di lahan ditandai dengan terdapat indikator erosi lembar yaitu *pedestals*, *armour layer*, dan singkapan akar. Erosi permukaan banyak ditemui di lahan pertanian dibandingkan dengan erosi alur.



Gambar 2. Kenampakan *Pedestals*, Singkapan akar, dan *Armour layer*

Pedestals yang tinggi dan berjumlah banyak terjadi pada lahan yang kurang akan tutupan vegetasi, sedangkan lahan yang memiliki vegetasi yang rapat *pedestals* hanya berukuran kecil. Pada indikator *armour layer* menunjukkan bahwa telah terjadi aliran permukaan yang merata pada lahan tersebut sehingga meninggalkan partikel kasar di atas permukaan tanah, dan singkapan akar menunjukkan aliran permukaan telah terjadi secara merata sehingga akar tanaman terlihat dipermukaan tanah (Stocking dan Murnaghan, 2000).

5.2. Prediksi Tingkat Bahaya Erosi di DAS Mikro Bangsri

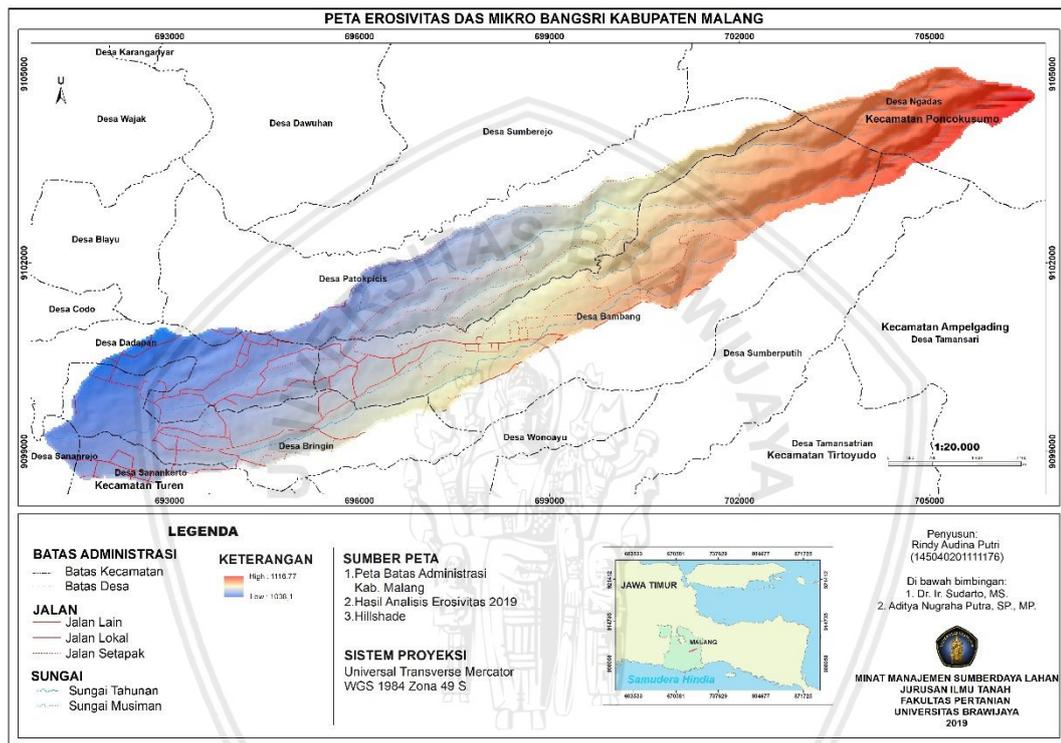
Karakteristik lahan yang berbeda-beda disetiap daerah mengakibatkan erosi yang terjadipun berbeda-beda pula. DAS Mikro Bangsri yang terletak di lereng Gunung Jembangan-Semeru memiliki karakteristik lahan yang berbeda dengan daerah lain. Erosi di lokasi penelitian dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu faktor erosivitas hujan, erodibilitas tanah, panjang dan kemiringan lereng, pengelolaan tanaman, dan tindakan konservasi tanah.

5.2.1. Faktor erosivitas hujan

Analisis nilai erosivitas hujan pada penelitian ini menggunakan data curah hujan bulanan dari tahun 2007 hingga tahun 2016 dengan menggunakan rumus Utomo. Hasil dari analisis indeks erosivitas hujan di DAS Mikro Bangsri dapat dilihat secara rinci pada Lampiran 6. Berdasarkan hasil analisis tersebut erosivitas tertinggi berada di Stasiun Supiturang dengan nilai erosivitas sebesar 1426,3 sedangkan nilai erosivitas terendah berada di Stasiun Wajak dengan nilai 1005,5. Untuk mengetahui sebaran nilai erosivitas pada lokasi penelitian selanjutnya dilakukan interpolasi dengan metode Kriging. Berdasarkan hasil interpolasi diketahui bahwa sebaran nilai erosivitas terendah adalah sebesar 1038,1 berada pada lereng bawah DAS Mikro Bangsri antara lain terletak di Desa Sanankerto, Dadapan, dan sebagian tersebar di Desa Patokpicis, sedangkan sebaran erosivitas tertinggi adalah sebesar 1116,77 berada pada lereng atas DAS Mikro Bangsri yaitu terletak di Desa Ngadas. Peta faktor erosivitas hujan dapat dilihat pada Gambar 14.

Curah hujan memiliki peranan sangat penting dalam proses terjadinya erosi, karena kemampuan butir-butir hujan sebagai tenaga dalam proses penghancuran agregat tanah pada permukaan tanah, serta kontribusi hujan dalam proses

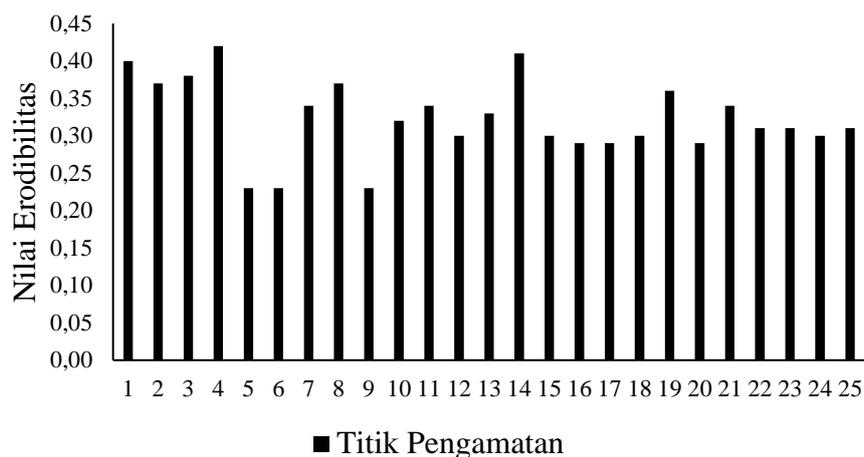
pengangkutan partikel-partikel tanah yang telah hancur dan dibawa oleh aliran permukaan. Diketahui bahwa nilai erosivitas pada bagian lereng atas DAS Mikro Bangsri memiliki nilai yang besar, apabila nilai erosivitas besar maka semakin besar pula terjadinya erosi. Hal ini sesuai dengan Sitepu (2017) yang menyatakan bahwa meningkatnya intensitas hujan akan meningkatkan jumlah laju erosi. Morgan (2005) berpendapat bahwa nilai erosivitas yang tinggi disebabkan oleh intensitas hujan, durasi, massa, diameter, serta kecepatan hujan.



Gambar 3. Peta Sebaran Faktor Erosivitas Hujan di Lokasi Penelitian

5.2.2. Faktor erodibilitas tanah

Erodibilitas tanah (K) menunjukkan tingkat kepekaan tanah terhadap erosi yaitu mudah tidaknya tanah mengalami erosi. Faktor erodibilitas erat kaitannya dengan daya tahan tanah terhadap pukulan butir air hujan. Berdasarkan hasil analisis sampel tanah dan perhitungan nilai erodibilitas diketahui bahwa sebaran nilai erodibilitas tanah tertinggi di DAS Mikro Bangsri adalah 0,42 sedangkan nilai erodibilitas terendah adalah 0,23. Secara rinci dapat dilihat pada Gambar 15.



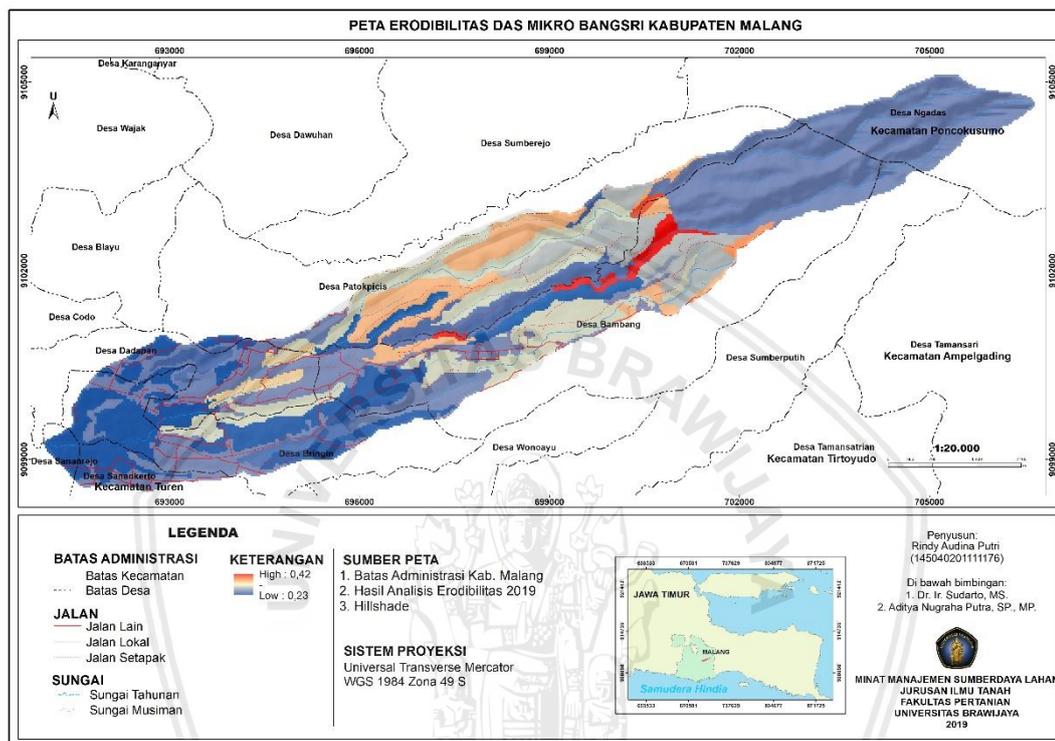
Gambar 4. Nilai Erodibilitas di Lokasi Penelitian

Berdasarkan klasifikasi kelas erodibilitas tanah menurut Arsyad (2010) pada Lampiran 1, nilai erodibilitas pada lokasi penelitian tergolong sedang hingga agak tinggi. Semakin tinggi nilai erodibilitas maka semakin rentan pula daya tahan tanah terhadap pukulan butir air hujan. Hal ini sesuai dengan pendapat Morgan dan Rickson (2005) yang menyatakan bahwa apabila semakin tinggi erodibilitas, maka semakin besar pula kemampuan tanah mengalami erosi.

Erodibilitas tanah secara tidak langsung dipengaruhi oleh sifat fisikokimia tanah antara lain kohesi tanah (Coh), konduktivitas jenuh (K_s), jumlah pukulan air hujan (NDI), berat diameter rata-rata agregat tanah atau kemantapan agregat tanah (MWD), resistensi penetrasi tanah (PR), berat isi tanah (BD) dan total porositas, ukuran partikel tanah, pH tanah, bahan organik tanah, KTK tanah (CEC), N-total dan N-tersedia, P-total dan P-tersedia, K-total dan K-tersedia (Wang, 2018; Deng, 2019). Parameter yang sering digunakan untuk menilai erodibilitas tanah adalah kemantapan agregat tanah (Wang, 2018).

Faktor-faktor yang mempengaruhi kemantapan agregat antara lain, tekstur tanah, tipe mineral liat, bahan organik tanah, Na (Sodium), Fe, Al, dan $CaCO_3$ (Le bissonais, 1996). Menurut El-Swaify dan Dangler (1976) dalam Rachman dan Abdurachman (2006) bahwa parameter kemantapan agregat tanah mempunyai korelasi yang lebih besar terhadap erodibilitas tanah dibandingkan dengan kandungan liat, debu, debu dan pasir sangat halus, bahan organik, struktur, dan permeabilitas. Kemper dan Rosenau (1986) dalam Rachman dan Abdurachman (2006) menyatakan bahwa semakin mantap kemantapan agregat tanah maka

semakin rendah kepekaannya terhadap erosi (erodibilitas tanah), begitu pula sebaliknya. Sedangkan menurut Harjadi dan Agtriariny (1997) dalam Andriani (2017) menyatakan bahwa tekstur juga berpengaruh pada erodibilitas tanah yaitu dengan semakin kasarnya tekstur tanah, maka nilai K akan cenderung semakin besar. Peta sebaran nilai erodibilitas dapat dilihat pada Gambar 16.

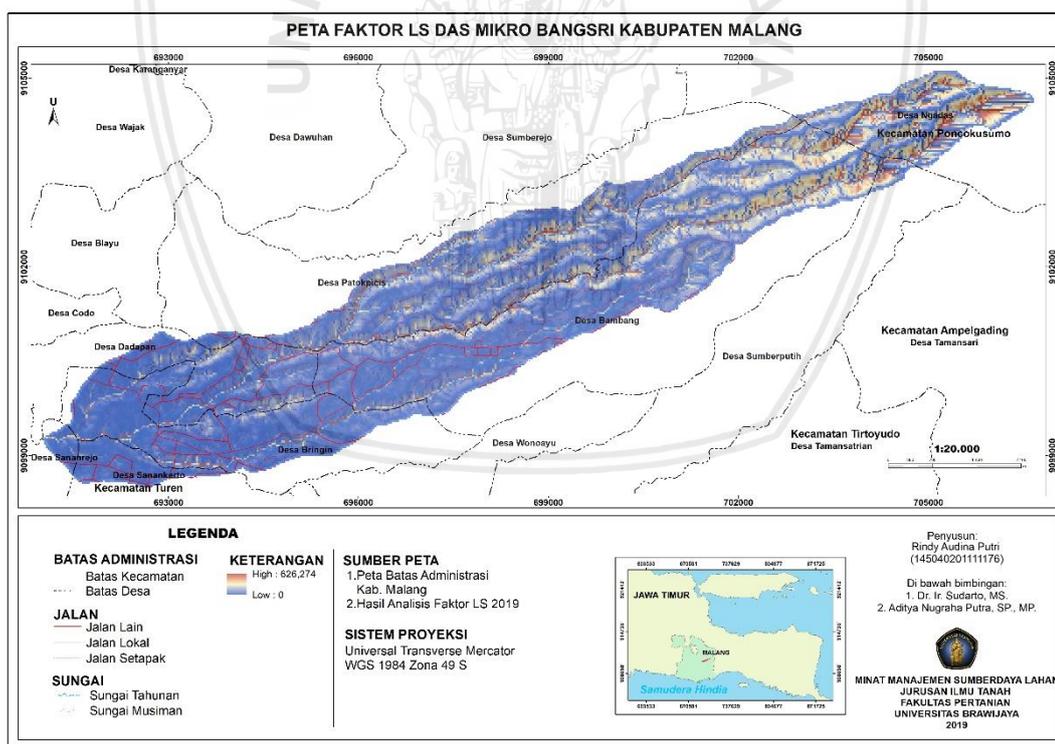


Gambar 5. Peta Sebaran Faktor Erodibilitas di Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian memiliki tingkat erodibilitas sedang hingga agak tinggi (Lampiran 7) karena dipengaruhi oleh teksturnya yang kasar (pasir berlempung dan lempung berpasir). Pada tekstur tanah kasar mempunyai infiltrasi yang tinggi, namun apabila terjadi aliran permukaan maka butir-butir halus akan mudah terangkut (Arsyad, 2010). Tekstur tanah juga berhubungan dengan bahan organik dan kemandapan agregat tanah. Semakin kasar tekstur tanahnya maka bahan organik akan berkurang, hal ini disebabkan karena banyak bahan organik yang tercuci akibat permeabilitas yang agak cepat hingga cepat pada lokasi penelitian. Hal tersebut mengakibatkan tanah sulit untuk membentuk struktur mantap, sehingga kemandapan agregatnya rendah dan lebih peka terhadap erosi. Tanah dengan kemandapan agregat rendah berdampak terhadap tingkat pengikisan tanah yang tinggi (Arsyad, 2010 dalam Ashari, 2013).

5.2.3. Faktor panjang dan kemiringan lereng

Faktor topografi pada lokasi penelitian memperlihatkan pengaruh panjang lereng dan kemiringan lereng terhadap proses erosi tanah. Kedua faktor tersebut menentukan besarnya kecepatan dan volume aliran air. Faktor LS dianalisis secara spasial dengan menggunakan data DEM SRTM resolusi spasial 30m x 30m. Faktor panjang lereng (L) diukur dari tempat mulai terjadinya aliran air di atas permukaan tanah sampai ke tempat mulai terjadinya pengendapan yang disebabkan oleh berkurangnya kecuraman lereng atau ke tempat yang lebih rendah. Faktor L atau panjang lereng mengacu pada aliran permukaan, yaitu lokasi berlangsungnya erosi dan deposisi sedimen. Faktor kemiringan lereng (S) dinyatakan dalam derajat atau persen. Pengolahan DEM digunakan untuk mengetahui karakteristik fisik berupa arah aliran (*flow direction*), dan akumulasi aliran (*flow accumulation*) yang berguna untuk menentukan panjang lereng (L). Sedangkan data *slope* digunakan untuk mengetahui karakteristik fisik berupa kemiringan lereng (S).



Gambar 6. Peta Sebaran LS di Lokasi Penelitian

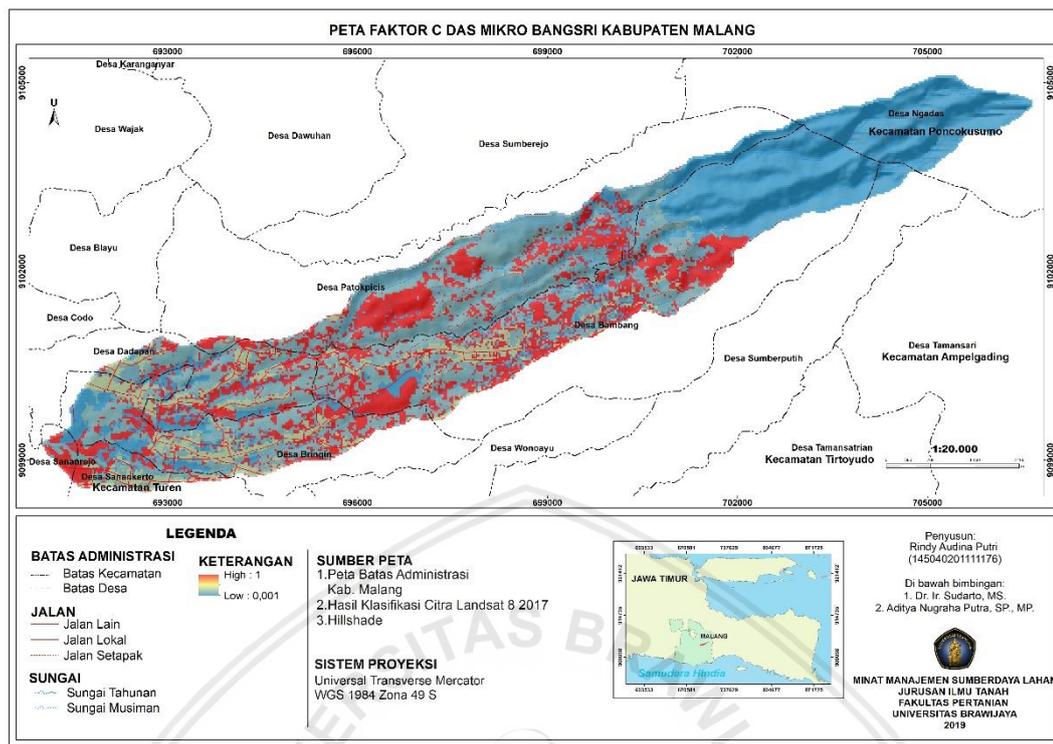
Berdasarkan hasil analisis spasial memperlihatkan nilai LS meningkat dari 0 hingga 626,27 (Gambar 17). Nilai faktor LS yang besar tersebar pada sepanjang tebing sungai atau jurang dengan kelerengan yang curam hingga terjal. Hal ini

disebabkan karena DAS Mikro Bangsri terletak dikawasan vulkanik gunungapi jembangan-semeru, sehingga memiliki lereng yang curam hingga sangat curam. Apabila semakin meningkat akumulasi aliran dan semakin besar kemiringan lereng maka semakin besar nilai faktor LS. Zachar (1982) dalam (Tarigan, 2012) menyatakan bahwa apabila sudut lereng semakin besar maka energi dalam penghancuran agregat tanah meningkat, koefisien aliran dan daya angkut meningkat, kestabilan tanah menurun, dan perpindahan material tanah lebih besar.

Pengaruh faktor LS dalam proses erosi terletak pada kecepatan aliran permukaan yang ditentukan oleh kemiringan lereng. Sedangkan kedudukan lereng menentukan besar-kecilnya erosi. Pada lereng atas akibat adanya tumbukan air hujan, menyebabkan hancurnya agregat-agregat tanah. Partikel-partikel tanah yang terlepas diangkut oleh aliran permukaan menuruni lereng. Pada lereng tengah, erosi yang terjadi akan lebih besar lagi karena disamping adanya pengaruh dari daya rusak butir hujan, juga dipengaruhi oleh aliran permukaan dari lereng bagian atas sehingga menyebabkan tanah yang terangkut lebih banyak. Kecepatan aliran permukaan yang tinggi menyebabkan kapasitas penghancuran semakin tinggi pula (Bermanakusumah, 1978 dalam Yulina *et al.*, 2015).

5.2.4. Pengelolaan tanaman

Pengelolaan tanaman merupakan salah satu yang berperan penting dalam besarnya erosi. Nilai faktor vegetasi penutup tanah dan pengelolaan tanaman (C) diperoleh dari jenis tutupan lahan, sehingga nilai faktor C yang terbesar adalah 1 pada tutupan lahan berupa tambang pasir ataupun bekas tambang pasir, sedangkan nilai faktor C terendah adalah 0,001 pada tutupan lahan hutan alami yang berada di lereng atas DAS Mikro Bangsri (Gambar 18). Berdasarkan nilai faktor C dapat dilihat bahwa lahan yang tidak memiliki penutup tanah atau gundul memiliki nilai yang besar terhadap proses erosi tanah, sedangkan lahan yang memiliki tutupan vegetasi yang rapat seperti hutan alami memiliki nilai faktor C terendah dalam pengaruhnya terhadap proses erosi.



Gambar 7. Peta Sebaran Faktor C di Lokasi Penelitian

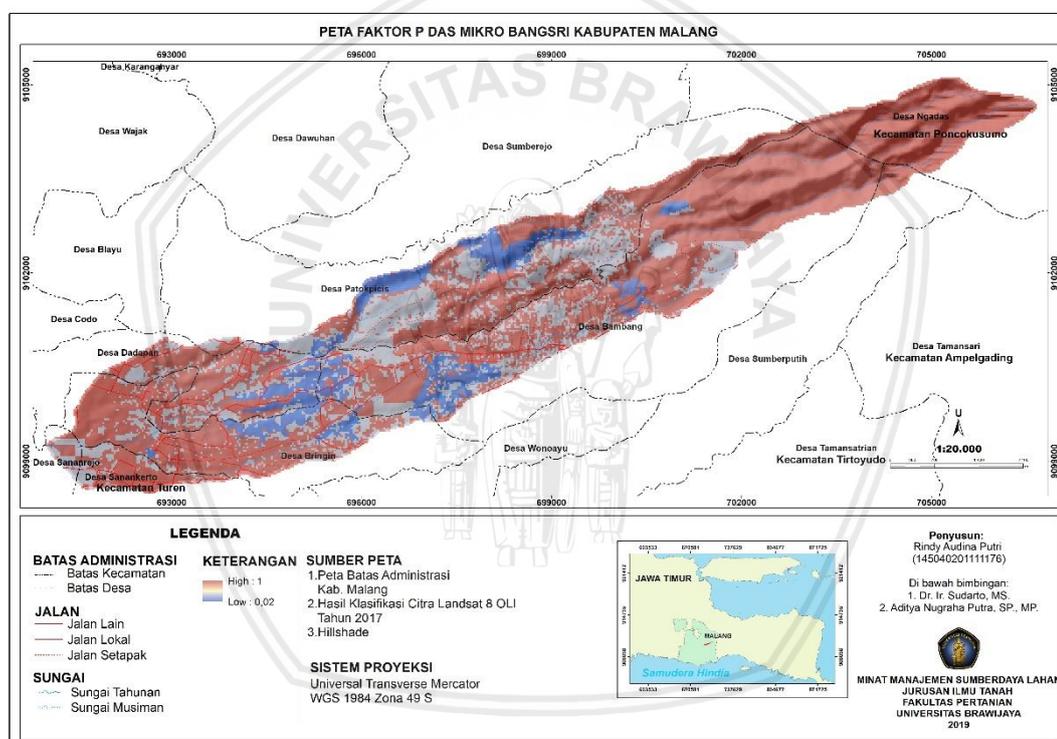
Vegetasi merupakan faktor penting dalam terjadinya erosi, air hujan yang jatuh ke permukaan tanah akan dapat tertahan dalam tajuk-tajuk vegetasi sehingga energi kinetik air tidak langsung mengenai permukaan tanah. Hal ini disebabkan karena vegetasi mampu intersepsi air hujan oleh tajuk dan adsorpsi melalui energi air hujan, sehingga dapat memperkecil erosi (Utomo, 1989), melindungi permukaan tanah melalui sisa-sisa tumbuhan yang jatuh, sehingga air hujan tidak langsung jatuh ke permukaan tanah (Arsyad, 2010).

5.2.5. Faktor tindakan khusus konservasi tanah

Faktor praktik konservasi berkaitan dengan langkah-langkah konservasi untuk mengurangi kehilangan tanah. Pada lokasi penelitian budidaya pertanian masih dilakukan pada wilayah yang memiliki lereng curam, oleh karena itu pentingnya melakukan tindakan konservasi tanah. Berdasarkan hasil survei setiap titik pengamatan petani telah menerapkan praktik konservasi tanah berupa pembuatan teras gulud, teras bangku, dan alang-alang, namun terdapat beberapa titik penelitian yang tidak menerapkan praktik konservasi (Lampiran 8).

Nilai faktor P untuk lahan budidaya pertanian terkecil adalah 0,02 (alang-alang). Sedangkan beberapa wilayah di lokasi penelitian terdapat pertambangan

pasir dan permukiman yang tidak memiliki praktik konservasi tanah, sehingga nilai faktor P adalah 1 (tanpa praktik konservasi). Peta sebaran faktor P disajikan pada Gambar 19. Langkah-langkah konservasi yang diterapkan petani berperan penting dalam mengurangi atau menekan laju aliran permukaan yang menyebabkan terjadinya erosi. Hal ini sesuai dengan Arsyad (2010) yang menyatakan bahwa faktor praktik konservasi seperti teras berfungsi mengurangi panjang lereng dan menahan air, sehingga mengurangi kecepatan dan jumlah aliran permukaan, dan memungkinkan terjadinya penyerapan air oleh tanah. Yuliarta *et al.* (2002) menambahkan manfaat teras adalah dapat menampung dan mengendalikan kecepatan dan arah aliran permukaan, sehingga erosi dapat berkurang.

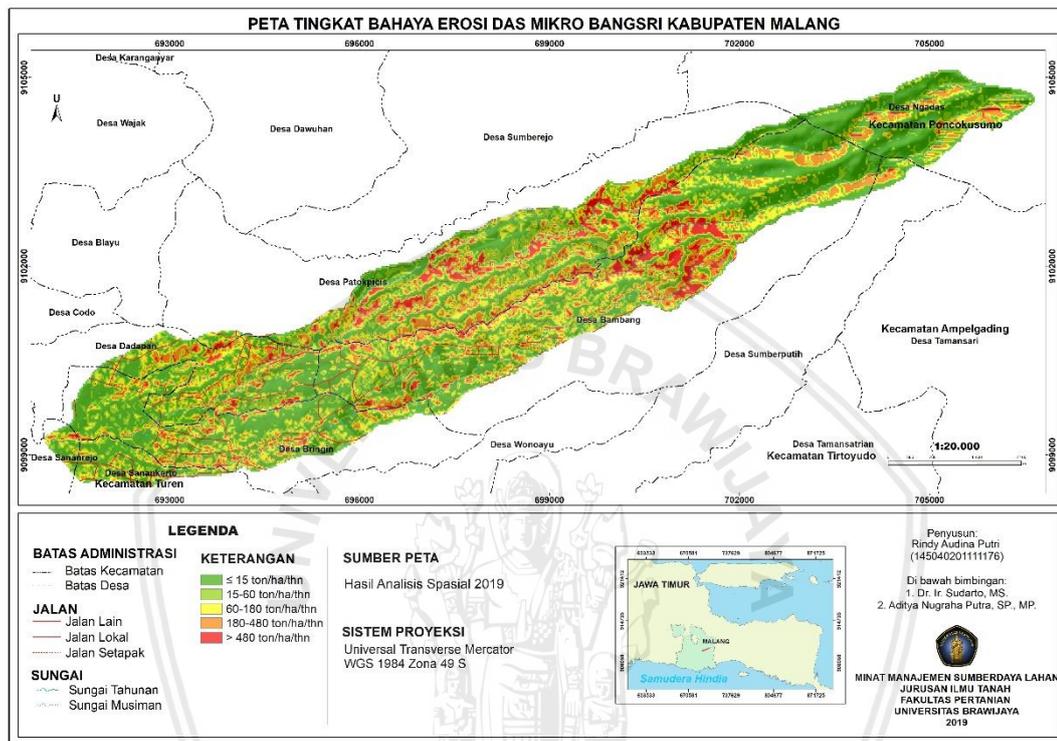


Gambar 8. Peta Sebaran Faktor P di Lokasi Penelitian

5.3. Analisis Tingkat Bahaya Erosi (TBE)

Pemetaan prediksi bahaya erosi di DAS Mikro Bangsri dengan menggunakan model RUSLE merupakan perkalian antara nilai erosititas, nilai erodibilitas, faktor kelerengan serta pengelolaan lahan. Integrasi model RUSLE dengan Sistem Informasi Geografi maka erosi di dalam DAS dapat dipetakan secara spasial. Proses pemetaan dengan menggunakan RUSLE ini merupakan proses *overlay* atau tumpang tindih dari beberapa parameter yang sebelumnya telah

dilakukan pengolahan. Hasil dari *overlay* tersebut kemudian dilakukan klasifikasi menjadi kelas bahaya erosi yang mengacu pada Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2018) menghasilkan 5 kelas bahaya erosi di lokasi penelitian, yaitu “Sangat Ringan”, “Ringan”, “Sedang”, “Berat” dan “Sangat Berat”. Sebaran setiap kelas bahaya disajikan pada Gambar 20.



Gambar 9. Peta Tingkat Bahaya Erosi di Lokasi Penelitian

Berdasarkan Peta pada Gambar 20 memperlihatkan bahwa wilayah DAS Mikro Bangsri didominasi oleh kelas sangat ringan dengan laju erosi $\leq 15 \text{ ton.ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$ seluas 1378,9 ha atau 46,2% dari total luas keseluruhan DAS Mikro Bangsri. Selanjutnya bahaya erosi berturut-turut di lokasi penelitian yaitu kelas erosi sedang (18,3%), kelas erosi berat (15,2%), kelas erosi ringan (12,2%), dan kelas erosi sangat berat (8,1%). Adapun data mengenai hasil dari prediksi bahaya erosi disajikan pada Tabel 14.

Data tanah pada DAS Mikro Bangsri tidak terlalu beragam, keberagaman bahaya erosi di DAS Mikro Bangsri dapat disebabkan oleh faktor lain. Bahaya erosi sangat ringan tersebar di bagian Timur hingga Barat DAS, dengan penggunaan lahan hutan alami, hutan produksi, agroforestri, dan sawah. Hutan alami diketahui berada di bagian lereng atas DAS Mikro Bangsri yang memiliki kelerengan 30%

hingga > 65% yaitu curam hingga sangat curam, hutan produksi dan agroforestri memiliki keterengan <3% hingga 30% yaitu datar hingga miring.

Tabel 2. Data Luas dan Tingkat Bahaya Erosi di Lokasi Penelitian

No	Bahaya Erosi	Erosi (ton.ha ⁻¹ .th ⁻¹)	Luas	
			(ha)	(%)
1	Sangat Ringan	≤ 15	1378,88	46,2
2	Ringan	16 – 60	362,87	12,2
3	Sedang	61 – 180	546,2	18,3
4	Berat	181 – 480	454,49	15,2
5	Sangat Berat	> 480	242,63	8,1
Total			2985,07	100

Sumber: Hasil Analisis 2019

Pada wilayah ini tutupan vegetasi sangat berpengaruh besar dalam proses terjadinya erosi. Vegetasi mampu memperkecil energi kinetik hujan melalui intersepsi air hujan oleh tajuk, seresah dapat memperbaiki sifat fisik tanah serta seresah yang dihasilkan dapat menutup permukaan tanah sehingga menghambat aliran permukaan (*run off*), begitu pula pada penggunaan lahan hutan produksi dan agroforestri yang memiliki tutupan berbagai strata. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Martua (2006) dalam Purba (2009) bahwa seresah berpengaruh menurunkan aliran permukaan pada hutan pegunungan. Pendapat ini didukung oleh Rachman *et al.* (2003) dalam Dariah *et al.* (2004) yang menjelaskan bahwa tanaman yang mengakumulasi sisa-sisa tanaman berpengaruh baik terhadap kualitas tanah, yaitu terjadinya perbaikan stabilitas agregat tanah, ketahanan tanah, dan resistensi atau daya tahan tanah terhadap daya hancur curah hujan.

Bahaya erosi ringan hingga sedang tersebar di DAS Mikro Bangsri. Erosi ringan hingga sedang terjadi pada wilayah yang memiliki kemiringan lereng <3% hingga 15% yaitu datar hingga agak miring. Erosi disebabkan oleh adanya aliran permukaan, jumlah aliran air yang menjadi limpasan sangat bergantung terutama topografi (kemiringan lereng). Aliran permukaan pada lahan datar cenderung mempunyai limpasan permukaan yang lebih kecil dibandingkan topografi miring.

Bahaya erosi sedang hingga berat terjadi pada bagian Timur yaitu bagian lereng atas DAS dengan kemiringan >65% , serta erosi sangat berat terjadi di tebing sungai dan tebing jurang. Semakin besar kemiringan lereng maka semakin besar pula aliran permukaan yang terjadi. Menurut Nugroho (2015) lahan dengan kemiringan lereng >45% akan menyebabkan kecepatan dan volume aliran

permukaan semakin besar akibat tidak adanya waktu air untuk terinfiltrasi. Sehingga erosi yang ditimbulkan juga akan semakin besar.

5.4. Analisis Erosi yang Diperbolehkan (EDP)

Laju erosi merupakan ketebalan pengikisan tanah dalam satuan waktu, yaitu $\text{ton.ha}^{-1}\text{th}^{-1}$. Laju erosi pada penelitian ini diprediksi secara spasial menggunakan model RUSLE. Berdasarkan hasil prediksi erosi diketahui jumlah erosi pada DAS Mikro Bangsri adalah sebesar $41.233,5 \text{ ton.ha}^{-1}\text{th}^{-1}$. Sedangkan laju erosi rata-rata pada lokasi penelitian adalah sebesar $13,81 \text{ ton.ha}^{-1}\text{th}^{-1}$ (Lampiran 5). Nilai erosi yang diperbolehkan (EDP) dihitung menggunakan persamaan Hammer (1981) dengan menggunakan data pengamatan kedalaman tanah yang diamati di lapangan, data berat isi pada setiap SPL, data sekunder berupa umur kelestarian tanah, dan faktor kedalaman setiap sub ordo tanah pada lokasi penelitian.

Data analisis erosi yang diperbolehkan (EDP) disajikan pada Lampiran 5. Berdasarkan analisis tersebut EDP pada lokasi penelitian berkisar antara $6 \text{ ton.ha}^{-1}\text{th}^{-1}$ hingga $66 \text{ ton.ha}^{-1}\text{th}^{-1}$, dari 24 titik pengamatan sesuai SPL terdapat 4 titik SPL yang melebihi laju erosi yang diperbolehkan, dan 20 titik pengamatan erosi yang terjadi lebih kecil dari laju erosi yang diperbolehkan. Titik pengamatan yang mempunyai erosi melebihi dari nilai EDP adalah titik 3,17,22,23.

Pada lokasi penelitian yang memiliki sifat fisik tanah seperti tekstur dominan berpasir, stabilitas agregat yang rendah dilihat dari strukturnya granular, dan permeabilitasnya yang cepat hingga agak cepat. Berdasarkan hasil observasi di lapangan, indikator-indikator erosi yang terbentuk dikarenakan permukaan tanah tidak terlindungi oleh vegetasi, air hujan yang jatuh langsung menyentuh permukaan tanah sehingga terbentuk indikator-indikator seperti *pedestals*, *armour layer*. Oleh sebab itu, teknik konservasi yang sesuai di lokasi penelitian adalah teknik konservasi secara vegetatif. Hasil dari observasi pada penggunaan lahan agroforestri multistrata dengan berbagai macam jenis tanaman mempunyai bahaya erosi sangat ringan hingga ringan. Oleh karena itu pada titik pengamatan yang erosinya melebihi EDP sebaiknya dilakukan perlakuan multistrata. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Naharuddin (2018) yang menyatakan bahwa pola agroforestri *trees along border* dan *random mixture* efektif dapat menekan laju erosi, karena pada perlakuan ini mempunyai tutupan kanopi lebih luas, semakin

banyak lahan yang ditutupi oleh vegetasi akan semakin baik dalam melindungi tanah dari proses erosi.

5.5. Uji Validasi Peta Prediksi Erosi

Uji validasi bertujuan untuk menilai tingkat akurasi Peta tingkat bahaya erosi yang dihasilkan dengan menggunakan model RUSLE. Peta tingkat bahaya erosi ini dibandingkan dengan hasil survei di lapangan (*groundcheck*). *Groundcheck* dilakukan dengan meninjau tingkat erosi di lapangan dengan indikator-indikator erosi. Sampel yang digunakan untuk uji akurasi berjumlah 40 titik diambil berbeda dari sampel untuk *training area*.

Tabel 3. Uji Validasi *Confusion Matrix*

Kelas Erosi		Erosi di Lapangan (<i>Ground Check</i>)					Total	User's Accuracy (%)
		Sangat Ringan	Ringan	Sedang	Berat	Sangat Berat		
Hasil Prediksi	Sangat Ringan	19	0	1	0	1	21	90,5
	Ringan	0	5	0	0	0	5	100
	Sedang	0	0	4	0	0	4	100
	Berat	0	2	1	3	0	6	50
	Sangat Berat	0	0	0	2	2	4	50
Total Sampel		19	7	6	5	3	40	
<i>Producer's accuracy (%)</i>		100	71,4	66,7	60	66,7		
<i>Overall accuracy (%)</i>		82,50						
Indeks Kappa		0,71						

Sumber: Hasil Analisis 2019

Berdasarkan hasil uji akurasi terdapat 33 titik yang akurat, dan 7 titik yang tidak akurat. Hal ini ditunjukkan dengan nilai *producers accuracy* yang tidak berbeda jauh, dari sangat ringan, ringan, sedang, sangat berat, dan berat masing-masing memiliki tingkat akurasi 100%, 71,4%, 66,7%, 66,7%, dan 60%. Pada perhitungan (*overall accuracy*) akurasi keseluruhan menghasilkan akurasi sebesar 82,50% dengan nilai indeks Kappa 0,71 (Tabel 14). Berdasarkan akurasi secara keseluruhan (*overall accuracy*) tingkat kebenaran dari Peta tingkat bahaya erosi di DAS Mikro Bangsri mempunyai akurasi yang tinggi. Sedangkan pada indeks Kappa peta tingkat bahaya erosi mempunyai akurasi yang baik (*good*). Berdasarkan hasil uji akurasi tersebut model RUSLE dapat digunakan di DAS Mikro Bangsri untuk memprediksi erosi.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

1. Sebaran tingkat bahaya erosi yang terjadi di DAS Mikro Bangsri terbagi menjadi 5 kelas bahaya erosi yaitu bahaya erosi sangat ringan (1378,88 ha), ringan (362,87 ha), sedang (546,2 ha), berat (454,49 ha), dan sangat berat (242,63 ha). Tingkat bahaya erosi yang mendominasi di DAS Mikro Bangsri adalah sangat ringan, namun terdapat 4 titik lokasi pengamatan dengan laju erosi yang telah melebihi erosi yang diperbolehkan. Laju EDP pada DAS Mikro berkisar antara $6 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{th}^{-1}$ hingga $66 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{th}^{-1}$.
2. Prediksi erosi dengan menggunakan model RUSLE memiliki akurasi keseluruhan yang tinggi, yaitu 82,5%, dan menghasilkan akurasi indeks Kappa yang baik, yaitu 0,71. Berdasarkan hasil uji akurasi tersebut dapat dikatakan bahwa model RUSLE dapat digunakan untuk memprediksi erosi di DAS Mikro Bangsri.

6.2. Saran

Pengamatan pada penelitian mengenai bahaya erosi ini sebaiknya dilakukan pada musim penghujan, sehingga pada saat validasi di lapangan bentuk erosi dapat dilihat dengan jelas dan laju erosi dapat diobservasi dengan menggunakan plot erosi.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriani, V. 2017. Analisis Erodibilitas Tanah di Berbagai Jenis Tanah dan Penggunaan Lahan (Studi kasus: Sub DAS Cikapundung Bandung). Skripsi. Institut Pertanian Bogor.
- Andriyanto, C. 2015. Estimation Of Soil Erosion For a Sustainable Land Use Planning: RUSLE Model Validation by Remote Sensing Data Utilization in The Kalikonto Watershed. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*. 3 (1):459-468.
- Arsyad, S. 2006. Konservasi Tanah dan Air. Bogor : IPB Press.
- _____. 2010. Konservasi Tanah dan Air. Bogor : IPB Press.
- Asdak, C. 1995. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- _____. 2010. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Ashari, A. 2013. Kajian Tingkat Erodibilitas Beberapa Jenis Tanah di Pegunungan Baturagung Desa Putat dan Nglanggeran Kecamatan Patuk Kabupaten Gunung Kidul. *Jurnal Informasi XXXIX(1):15-31*.
- Ashiagbor, G., Forkuo, E.K., Laari, P., dan Aabeyir, R. 2013. Modeling soil erosion using RUSLE and GIS tools. *Int. J. Remote Sens. Geosci.*, 2(4), 1–17.
- Banuwa, I. S. 2008. Pengembangan Alternatif Usahatani Berbasis Kopi Untuk Pembangunan Pertanian Lahan Kering Berkelanjutan di DAS Sekampung Hulu. Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Boggs, G., Devonport, C., Evans, K., Puig, P. 2001. GIS-Based Rapid Assessment of Erosion Risk in A Small Catchment in The Wet/Dry Tropics of Australia. *Land Degr. Deve.* 12,417–434.
- Dariah, A., A. Rachman, dan U. Kurnia. 2004. Erosi dan Degradasi Lahan Kering di Indonesia. dalam U. Kurnia, A. Rachman, dan A. Dariah (Eds.). *Teknologi Konservasi Tanah pada Lahan Berlereng*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Bogor. p. 7.
- Deng Y S, Shen X, Xia D, Cai C F, Ding S W, Wang T W. 2019. Soil Erodibility and Physicochemical Properties of Collapsing Gully Alluvial Fans in Southern China. *Pedosphere*. 29(1): 102-113.
- Departemen Kehutanan. 1998. Pedoman Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Teknik Lapangan dan Konservasi Tanah Daerah Aliran Sungai. Departemen Kehutanan. Jakarta.
- Ekadinata, A., S. Dewi, D.P. Hadi, D.K. Nugroho, dan F. Johana. 2008. Sistem Informasi Geografis Untuk Pengelolaan Bentang Lahan Berbasis Sumberdaya Menggunakan ILWIS Open Source. World Agroforestri Centre. Bogor.
- FAO. 2001. Strategic Enviromental Aassessment, An Asessment of the Impact Cassava Production and Processing on the Enviroment and Biodiversity, Rome.

- Gabriels, D., Ghekiere, G., Schiettecatte, W., Rottiers, I. 2003. Assessment of USLE Cover Management C-factors for Crop Rotation Systems on Arable Farms in The Kemmelbeek Watershed, Belgium. *Soil and Till. Res.* 74(1), 47-53.
- Ganasri, B.P., dan Ramesh, H. 2016. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. *Geosci. Front.*, 7, 953–961. doi:10.1016/j.gsf.2015.10.007.
- García-Ruiz, J. M. 2010. The Effects of Land Uses on Soil Erosion in Spain: a review. *Catena* 81(1), 1-11.
- Geißler, C., Kühna, P., Böhnke, M., Bruelheide, H., Shi, X., & Scholten, T. 2012. Splash Erosion Potential Under Tree Canopies in Subtropical SE China. *CATENA Soil Science Journal*, 91:85-93.
- Hajigholizadeh, M., Melesse, A.M., Fuentes. H. R. 2018. Erosion and Sediment Transport Modelling in Shallow Waters: A Review on Approaches Models and Applications. p 1-24.
- Hammer, W. I. 1981. Soil Conservation Consultant Report Center for Soil Research. LPT Bogor. Indonesia.
- Indrihastuti, Dinik. 2016. Analisis Lahan Kritis dan Arahan Rehabilitasi Lahan dalam Pengembangan Wilayah Kabupaten Kendal Jawa Tengah. Skripsi. Institut Pertanian Bogor.
- Karaburun, A. 2010. Estimation of C Factor for Soil Erosion Modeling Using NDVI in Buyukcekmece Watershed. *Ozean J. App. Sci.*3(1),77-85.
- Kartasapoetra, G., A.G. Kartasapoetra, MM Sutedjo. 2005. Teknologi Konservasi Tanah dan Air. Jakarta: Cetakan Kelima, Rineka Cipta.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2018. Peraturan Direktur Jenderal Pengendalian Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung. Jakarta.
- Ketema, A., dan Dwarakish, G, S. 2019. Water Erosion Assessment Methods: a review, *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, DOI:10.1080/09715010.2019.1567398.
- Lapan. 2015. Pedoman Pengolahan Data Penginderaan Jauh Landsat 8 Untuk MPT. pp.7-13.
- Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate Stability and Assessment of Crustability and Erodibility: 1. Theory And Methodology. *European Journal of Soil Science*, 47, 425–437.
- Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W. 1994. Remote Sensing and Image Interpretation. 3rd Edition, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, 750.
- Lorito, S., D.Pavanelli, A. Bigi, S. Stanchi, G. Vianello. 2004. Introduction of GIS-Based RUSLE Model for Land Planning and Environmental Management in Three Different Italian Ecosystems. Department of Environmental and Agricultural Science and Technology (DiSTA). Bologna University. Italy.
- Manoppo, F.J. 2009. Analisa Erosi Tanah Pasir Kelanauan Bitung (Erosion Analysis of Bitung Silty Sand). *Tekno.* 7. (49).

- Morgan, R.P.C. 2005. Soil Erosion and Conservation Third Edition. United Kingdom: Blackwell Publishing. p 88.
- Morgan, R.P.C., Rickson, R.J. 2005. Slope Stabilization and Erosion Control: A Bioengineering Approach. Published by E & FN Spon, an imprint of Chapman & Hall, 2-6 Boundary Row, London SE1 8HN, UK.
- Naharuddin, N. 2018. Sistem Pertanian Konservasi Pola Agroforestri dan Hubungannya dengan Tingkat Erosi di Wilayah Sub-DAS Wuno, DAS Palu, Sulawesi Tengah. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*. 6(3): 183-192.
- Napitupulu, D. 2014. Studi Validitas dan Realibilitas Faktor Sukses Implementasi E-government Berdasarkan Pendekatan Kappa. *Jurnal Sistem Informasi (Journal of Information Systems)*. 2(10): 70-74.
- Nugroho, C.N.R., Dibyosaputro, S. 2015. Pemetaan Tingkat Bahaya Erosi Menggunakan Model Revised Universal Soil Loss Equation (Rusle) Di Daerah Aliran Sungai Petir Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Bumi Indonesia*. 4 (1): 71-82.
- Nursa'ban, M. 2006. Pengendalian Erosi Tanah Sebagai Upaya Melestarikan Kemampuan Fungsi Lingkungan. *Geomedia*. 4 (2).
- Ochoa, P. A., Fries, A., Mejía, D., Burneo, J. I., Ruíz-Sinoga, J. D., Cerdà, A. 2016. Effects of climate, land cover and topography on soil erosion risk in a semiarid basin of the Andes. *Catena*140, 31-42.
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E., Montanarella, L. 2015. Estimating The Soil Erosion Cover Management Factor at The European Scale. *Land Use Policy*. 48:38–50.
- Pancholi, V. H., Lodha, P. P., Prakash, I. 2015. Estimation of Runoff and Soil Erosion for Vishwamitri River Watershed, Western India Using RS and GIS. *American Journal of Water Science and Engineering*. 1(2):7-14. doi: 10.11648/j.ajwse.20150102.11
- Pelton, J., Frazier, E., Pickilings, E. 2012. Calculating Slope Length Factor (LS) in The Revised Soil Loss Equation (RUSLE). GIS 4 Geomorphology. http://gis4geomorphology.com/wp_content/uploads/2014/05/LS-Factor-in-RSULE-with-ArcGIS_10.X_Pelton_Fraazier_Pickilings_2014.docx. Diakses pada tanggal 6 Agustus 2018.
- Pemerintah Kabupaten Malang. 2017. Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah Tahun 2016. Pemerintah Kabupaten Malang. Malang.
- _____. 2018. Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah Tahun 2017. Pemerintah Kabupaten Malang. Malang.
- Purba, M. P. 2009. Besar Aliran Permukaan (*Run off*) pada Berbagai Tipe Kelerengan di Bawah Tegakan *Eucalyptus* spp. Skripsi. Universitas Sumatera Utara.
- Purwantara, S dan Nursa'ban, M. 2012. Pengukuran Tingkat Bahaya Bencana Erosi di Kecamatan Kokap. *Geomedia* 10 (1): 111-128.

- Rachman, A., dan Abudarachman, A. 2006. Penetapan Agregat Tanah. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. p 63-64.
- Rayes, M. L. 2006. Metode Inventarisasi Sumber Daya Lahan. Yogyakarta. Andi Offset.
- Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, J.P. Porter. 1991. RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation. *J. Soil Water Conserv.* 46(1):30-33.
- Renard, K.G., G.R. Foster, D.C. Yoder, and D.K. McCool. 1994. RUSLE revisited: Status, questions, answers, and the future. *J. Soil Water Conserv.* 49(3):213-220.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D. K., Yoder, D.C. 1997. Predicting Soil Erosion by Water a Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). USDA: Handbook No. 703. 404.
- Rokhmaningtyas, R. P. 2017. Estimasi Kehilangan Tanah Aktual Terkait Pengaruh Vegetasi di DAS Bompon. Universitas Gadjah Mada. Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>
- Rusnam., Ekaputram, E. G., dan Sitanggang, E. M. 2013. Analisis Spasial Besaran Tingkat Erosi Pada Tiap Satuan Lahan di Sub DAS Batang Kandis. *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND.* 10(2):149-167.
- Sampurno, M. R., dan Thoriq, A. 2016. Klasifikasi Tutupan Lahan Menggunakan Citra Landsat 8 Operational Land Imager (Oli) Di Kabupaten Sumedang. *Jurnal Teknotan.* 10(2) : 61-70.
- Saptari, A.Y., Supriadi, A., Wikantika, K., Darmawan, S., 2015. Remote Sensing Analysis In RUSLE Erosion Estimation. *Indonesian Journal of Geospatial.* 4(1): 34 - 45.
- Sarief, E. S. 1986. Ilmu Tanah Pertanian. Bandung: Pustaka Buana.
- Setiawan, Aries Dwi. 2016. Pemetaan Status Hara N, P, K, Dan C-Organik Dengan Menggunakan Teknik Interpolasi IDW (Inverse Distance Weighted) Dalam Sistem Informasi Geografis: Studi Kasus di Perkebunan Kopi Robusta Malangsari, Kalibaru, Banyuwangi. Skripsi. Universitas Jember.
- Sinaga, J, H,K.A., Supriadi., dan Lubis, A. 2014. Analisis Pengaruh Tekstur Dan C-Organik Tanah Terhadap Produksi Tanaman Ubi Kayu (*Manihot esculenta Crantz*) Di Kecamatan Pegajahan Kabupaten Serdang Bedagai. *Jurnal Online Agroekoteknologi.* 2(4): 1439-1450.
- Sitepu, F., Selintung M., Harianto, T. 2017. Pengaruh Intensitas Curah Hujan dan Kemiringan Lereng Terhadap Erosi yang Berpotensi Longsor. *Jurnal Penelitian Enjiniring.* 21(1): 23-27.
- Stocking, M., dan Murnaghan, N. 2000. Land Degradation-Guidlines For Field Assesment. Overseas Development Group University of East Anglia Norwich, UK. pp. 29-80.
- Tarigan, D, R. 2012. Pengaruh Erosivitas Dan Topografi Terhadap Kehilangan Tanah Pada Erosi Alur Di Daerah Aliran Sungai Secang Desa Hargotirto

- Kecamatan Kokap Kabupaten Kulonprogo. *Jurnal Bumi Indonesia*. Vol.1(3): 412-420.
- Uddin, K., Murthy, M.S.R., Wahid, S.M., dan Matin, M.A. 2016. Estimation of soil erosion dynamics in the Koshi Basin using GIS and remote sensing to assess priority areas for conservation. *PLoS ONE*, 11(3), 19. doi:10.1371/journal.pone.0150494.
- Utomo, W. H. 1989. *Konservasi Tanah di Indonesia: Suatu Rekaman dan Analisa*. Jakarta: Rajawali. p. 26.
- Vadari, T., Subagyono, K., Sustrino, N. 2004. Model Prediksi Erosi: Prinsip, Keunggulan, dan Keterbatasan. In U. Kurnia, A. Rahman, & A. Dariah (Eds) *Konservasi Pada Lahan Kering Berlereng*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Van der Knijff, J.M., Jones, R.J.A., Montanarella, L. 2000. Soil erosion risk assessment in Europe, European Commission, European Soil Bureau.
- Vijith. H., Hurmain. A., dan Dodge-Wan. D. 2018. Impacts of Land Use Changes and Land Cover Alteration on Soil Erosion Rates and Vulnerability of Tropical Mountain Ranges in Borneo, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.09.003>.
- Wang, H., Zhang, G., Li, N. N., Zhang, B., Yang, H. 2018. Soil Erodibility Influenced by Natural Restoration Time of Abandoned Farmland on The Loess Plateau of China. *Elsevier: Geoderma* 325: 18-27.
- Wischmeier, W.H. dan Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. *Agricultural handbook no. 537*., United States Department of Agriculture, Washington, D.C. 67pp.
- Wulansari, H. 2017. Uji Akurasi Klasifikasi Penggunaan Lahan Dengan Menggunakan Metode Defuzzifikasi Maximum Likelihood * Berbasis Citra Alos Avnir-2. *Jurnal Bhumi*, 3(1): 98-110.
- Yuan, L.F., Yang, G.S., Zhang, Q, F., Li, H.F. 2016. Soil erosion assessment of the Poyang Lake Basin, China: Using USLE, GIS, and remote sensing. *J. Remote Sens. GIS*, 5(3). doi:10.4172/24694134.1000168.
- Yuliarta., dan Priyono. 2002. *Teknologi Budidaya pada Sistem Usahatani Konservasi*. Grafindo. Jakarta.
- Yulina, H., Saribun, D.S., Adin, Z. 2015. Hubungan antara Kemiringan dan Posisi Lereng dengan Tekstur Tanah, Permeabilitas dan Erodibilitas Tanah pada Lahan Tegalan di Desa Gunung Sari, Kecamatan Cikatomas, Kabupaten Tasikmalaya. *Jurnal Agrikultura*, 26 (1): 15-22.