

**REDIKSI TINGKAT BAHAYA EROSI MENGGUNAKAN
METODE USLE (*UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION*)
DI SUB DAS LEKO PANCING**

**Chairi Ni'ma
G041171005**



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN
DEPARTEMEN TEKNOLOGI PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

**PREDIKSI TINGKAT BAHAYA EROSI MENGGUNAKAN
METODE USLE (*UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION*)
DI SUB DAS LEKO PANCING**

**Chairi Ni'ma
G041171005**



Skripsi
Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknologi Pertanian
Pada
Departemen Teknologi Pertanian
Fakultas Pertanian
Universitas Hasanuddin
Makassar

**DEPARTEMEN TEKNOLOGI PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2023

LEMBAR PENGESAHAN
PREDIKSI TINGKAT BAHAYA EROSI MENGGUNAKAN
METODE USLE (*UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION*)
DI SUB DAS LEKO PANCING

Disusun dan diajukan oleh

CHAIRI NI'MA
G041171005


Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin pada tanggal 27 Februari 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

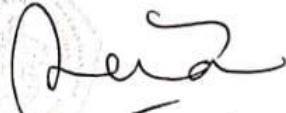
Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping


Dr. Ir. Mahmud Achmad, M.P.
NIP. 19700603 199403 1 003


Dr. Ir. Sitti Nur Faridah, M.P.
NIP. 19681007 199303 2 002

Ketua Program Studi
Teknik Pertanian


Divah Yumeina, S.TP., M.Agr., Ph.D
NIP. 19810129200912 2 003



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Chairi Ni'ma
NIM : G041171005
Program Studi : Teknik Pertanian
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa skripsi Dengan Judul Prediksi Tingkat Bahaya Erosi Menggunakan Metode Usle (*Universal Soil Loss Equation*) di Sub DAS Leko Pancing adalah Karya Saya Sendiri Dan Tidak Melanggar Hak Cipta Pihak Lain. Apabila dikemudian hari skripsi karya saya ini membuktikan bahwa sebagian atau keseluruhannya adalah hasil karya orang lain yang saya pergunakan dengan cara melanggar hak cipta pihak lain, maka saya bersedia menerima sanksi.

Makassar, 27 Februari 2023

Yang Menyatakan


Chairi Ni'ma

ABSTRAK

CHAIRI NI'MA (G041171005). Prediksi Tingkat Bahaya Erosi menggunakan Metode Usle (*Universal Soil Loss Equation*) di Sub Das Leko Pancing. Pembimbing: MAHMUD ACHMAD dan SITTI NUR FARIDAH.

Pemanfaatan DAS oleh makhluk hidup dalam berbagai hal untuk kelangsungan hidup dan meningkatkan kesejahteraan. Terjadinya perubahan tataguna lahan pada suatu DAS dapat mengakibatkan perubahan efektifitas perlakuan DAS. Tujuan diadakannya penelitian yaitu untuk memetakan tingkat bahaya erosi, berdasarkan nilai LS, dan faktor lainnya yang dapat menyebabkan erosi menggunakan metode USLE. Beberapa metode yang digunakan untuk mencari nilai LS yaitu Metode Penilaian panjang dan kemiringan lereng, metode LS Moore and Burch 1992, Metode LS Desmet and Govers 1996 dan metode LS Boehner and Selige 2006. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa nilai erosivitas hujan paling tinggi terjadi di stasiun Pucak sebesar 1523,2053 mm/bulan. Nilai Jenis tanah yang mendominasi di Sub DAS Leko Pancing yaitu Nitosol dengan nilai K 0,09 memiliki luas 16.327 ha. Tingkat bahaya erosi yang paling tinggi terjadi pada pertanian lahan kering campur semak dengan nilai CP 0,43 memiliki luas 18.232,45 ha. Sedangkan untuk tingkat yang rendah yaitu lahan terbuka dengan nilai CP 0,9 memiliki luas 27,24 ha. Tingkat bahaya erosi didominasi oleh kelas berat yang diteliti yaitu penilaian panjang dan kemiringan lereng luas 10.092,6 ha persentase 39,35%, metode Moore and Burch 1992, luas 8.883,00 ha persentase 34,60%, metode Boehner and Selige 2006 luas 7.535,97 ha persentase 35%, dan metode Desmet and Govers luas 8.267,94 ha persentase 32,20%.

Kata Kunci: Daerah Aliran Sungai, Erosi, Usle.

ABSTRACT

CHAIRI NI'MA (G041171005). *Prediction Of The Level Of Erosion Hazard Using The Usle (Universal Soil Loss Equation) Model in the Leko Pancing Sub Watershed.* Supervisor: MAHMUD ACHMAD and SITTI NUR FARIDAH.

Utilization of watersheds by living things in various ways that are useful for survival and increasing welfare. Changes in land use in a watershed can result in changes in the effectiveness of watershed treatment. The aim of the research is to map the level of erosion hazard, based on the LS value, and other factors that can cause erosion using the USLE method. There are several methods used to find the LS value, namely the Long and Slope Assessment Method, the LS Moore and Burch 1992 method, the LS Desmet and Govers 1996 method and the LS Boehner and Selige 2006 method. The results of this study indicate that the highest rain erosivity occurs at the Pucak station of 1523.2053 mm/month. The dominating soil type in the Leko Pancing sub-watershed, namely Nitosol with a K value of 0.09, has an area of 16,327 ha. The highest level of erosion hazard occurs in dry land agriculture mixed with shrubs with a CP value of 0.43 with an area of 18,232.45 ha. As for the low level, namely open land with a CP value of 0.9 has an area of 27.24 ha. . The level of erosion hazard is dominated by heavy erosion studied, namely the assessment of the length and slope of the slope area 10,092.6 ha percentage 39.35%, Moore and Burch 1992 method, area 8,883.00 ha percentage 34.60%, Boehner and Selige 2006 method area 7,535.97 ha with a percentage of 35%, and the Desmet and Govers method with an area of 8,267.94 ha with a percentage of 32.20%.

Keywords: *Watersheds, Erosion, Usle.*

PERSANTUNAN

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa., karena atas rahmat dan nikmat-Nya saya dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa dengan selesainya penulisan skripsi ini tidak lepas dari doa dan dukungan serta semangat oleh berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. **Ayahanda Muh. Akib, Ibunda Hamri** yang senantiasa memberikan kasih sayang dan selalu mendoakan penulis serta memberikan dukungan baik berupa moril ataupun materi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi.
2. **Prof. Mursalim**, selaku dosen pembimbing akademik atas segala arahan dan masukannya yang telah diberikan dalam memprogram mata kuliah.
3. **Dr. Mahmud Achmad., M.P** selaku dosen pembimbing utama atas kesabaran, ilmu dan segala arahan yang telah diberikan dari penyusunan proposal, penelitian hingga penyusunan skripsi ini selesai.
4. **Dr. Sitti Nur Faridah., M.P** selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan ilmu, masukan, saran, dan waktu luang kesabaran kepada saya dari awal penulisan sampai akhir penyelesaian skripsi.
5. **Dr. Suhardi, S.TP., M.P** dan **Haerani, S.TP., M.Eng.Sc., Ph.D** selaku dosen penguji yang telah memberikan saran, masukan dan waktu luang sehingga dapat hadir dalam pelaksanaan ujian skripsi.
6. **Dosen-dosen Departemen Teknologi Pertanian, Program Studi Teknik Pertanian** yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan serta pengalaman selama proses perkuliahan baik di dalam kelas maupun di luar kelas.
7. Saudara-saudariku dari **GEAR 17, Rahmat Soleh dan mutmainnah Nur Anizah Gazali** yang selalu mendukung, membantu penyusunan skripisi ini.

Semoga segala kebaikan mereka akan berbalik ke mereka sendiri dan semoga Allah SWT. senantiasa membalas segala kebaikan mereka dengan kebaikan dan pahala yang berlipat ganda. Aamiin.

Makassar, 27 Februari 2023

Chairi Ni'ma

RIWAYAT HIDUP



Chairi, lahir di Maros pada tanggal 26 Juni 1999 merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan bapak Muh. Akib dan Ibu Hamri. Penulis menempuh pendidikan formal pertama pada tingkat sekolah dasar yaitu di SDN 17 Uludaya pada tahun 2005-2011. Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di SMPN 12 Mallawa pada tahun 2011-2014. Kemudian, melanjutkan pendidikan sekolah menengah atas di SMAN 7 Maros pada tahun 2014-2017. Setelah menyelesaikan pendidikan formal tingkat sekolah, penulis melanjutkan pendidikan di Universitas Hasanuddin Makassar pada tahun 2017 sebagai salah satu mahasiswa di Prodi Teknik Pertanian, Departemen Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian. Penulis aktif dalam beberapa organisasi, diantaranya yaitu Himpunan Mahasiswa Teknologi Pertanian (HIMATEPA) sebagai Dewan Perwakilan Anggota (DPA TP UH), Pengurus BEM KEMA FAPERTA UNHAS tahun 2019-2020, Anggota DEMA KEMA FAPERTA UNHAS TAHUN 2020-2021. Selain itu, penulis juga aktif menjadi asisten praktikum di bawah naungan *Agricultural Engineering Study Club* (AESC).

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK.....	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
PERSANTUNAN.....	viii
RIWAYAT HIDUP	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan dan Kegunaan	2
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Daerah Aliran Sungai (DAS).....	3
2.2 Erosi.....	3
2.3 Faktor yang Mempengaruhi Erosi	5
2.4 Kelas Bahaya Erosi	11
2.5 Model Prediksi Erosi	12
2.6 SIG (Sistem Informasi Geografis)	15
3. METODE PENELITIAN.....	18
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	18
3.2 Alat dan Bahan	18
3.3 Prosedur Penelitian	18
3.3 Bagan Alir.....	21
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	22
4.1 Lokasi Penelitian	22
4.2 Faktor yang Mempengaruhi Erosi	22
4.3 Peta Tingkat Bahaya Erosi.....	30

5. PENUTUP.....	37
Kesimpulan.....	37
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Bagan Alir Penelitian	21
Gambar 2. Peta Sub DAS Leko Pancing.....	22
Gambar 3. Peta Persebaran Erosivitas Hujan di Sub DAS Leko Pancing	23
Gambar 4. Peta Persebaran Jenis Tanah di Sub DAS Leko Pancing	25
Gambar 5. Peta Persebaran Jenis Tutupan Lahan yang Terdapat di Sub DAS Leko Pancing.....	27
Gambar 6. Peta Kemiringan Lereng di Sub DAS Leko Pancing	28
Gambar 7. Peta LS Metode Moore at al.....	29
Gambar 8. Peta LS Metode Boehner and Selige 2006.....	29
Gambar 9. Peta LS Metode Desmet and Govers 1996.....	30
Gambar 10. Peta Erosi Berdasarkan Penilaian Kelas Panjang Lereng (LS)	31
Gambar 11. Peta Erosi Berdasarkan Metode Moore at al 1992.....	32
Gambar 12. Peta erosi Berdasarkan Metode Boehner and Selige 2006.....	34
Gambar 13. Peta erosi Berdasarkan Metode Desmet and Govers 1996	35

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai Erodibilitas Tanah Berdasarkan Jenis Tanah	8
Tabel 2. Klasifikasi Nilai Erodibilitas Tanah (K)	8
Tabel 3. Klasifikasi Kelas Lereng	10
Tabel 4. Nilai Faktor CP Berdasarkan Pendayagunaan Lahan	11
Tabel 5. Kelas Bahaya Erosi	12
Tabel 6. Kelebihan dan kekurangan metode USLE, RUSLE dan MUSLE.....	15
Tabel 7. Nilai Erosivitas Hujan	23
Tabel 8. Nilai Erodibilitas Tanah di Sub DAS Leko Pancing Berdasarkan Jenis Tanahnya.....	24
Tabel 9. Jenis Tutupan Lahan yang Terdapat di Sub DAS Leko Pancing.....	26
Tabel 10. Nilai LS Berdasarkan Klasifikasi Panjang dan Kemiringan Lereng.....	27
Tabel 11. Bahaya Erosi Metode Penilaian Kelas Kemiringan (LS).....	32
Tabel 12. Bahaya Erosi Metode Moore at al 1992.....	33
Tabel 13. Bahaya Erosi Berdasarkan Metode Boehner and Selige 2006.....	34
Tabel 14. Bahaya Erosi Metode Desmet and Govers 1996	35
Tabel 15. Perbandingan erosi ke empat metode.....	36

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Curah Hujan	41
Lampiran 2. Uji Akurasi	43
Lampiran 3. Dokumentasi <i>Ground Check</i>	44
Lampiran 4. Peta Unit Lahan	46

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Daerah Aliran Sungai memiliki peran penting dalam melindungi lingkungan, khususnya di bidang teknik tanah dan air. Makhluk hidup menggunakan daerah aliran sungai dalam berbagai cara yang berkontribusi terhadap kelangsungan hidup dan meningkatkan kesejahteraan. Perubahan tata guna lahan di dalam DAS dapat menyebabkan perubahan efektivitas pengelolaan DAS. Perubahan permukaan tanah dapat mempengaruhi daya tampung air pada DAS sehingga menimbulkan dampak bencana alam seperti banjir, penurunan kualitas dan kuantitas air sepanjang tahun, serta peningkatan sedimentasi dan erosi.

Erosi adalah proses terjadinya pemindahan atau pengangkutan tanah dari daerah lebih tinggi ke daerah lebih rendah sebab tergerus arus air dan terbawa kemudian mengendap sebagai sedimen. Dampak yang terjadi akibat erosi yaitu longsor dan lenyapnya lapisan permukaan tanah yang subur dalam kegiatan pertanian serta sedimentasi yang mengakibatkan berkurangnya kapasitas aliran pada sungai dan pendangkalan pada daerah aliran sungai sehingga dapat berpotensi terjadinya banjir (Osok et al., 2018).

Bagi masyarakat sekitar, Sub DAS Leko Pancing merupakan aliran sungai dengan berbagai fungsi, seperti mengairi lahan pertanian dan sumber air baku di Makassar (PDAM). Namun permasalahan yang muncul di Sub DAS Leko Pancing adalah erosi yang berlangsung sejak lama dan semakin meningkat dari tahun ke tahun. Perubahan tata guna lahan akibat hutan cukup besar, dan lahan basah meningkat 2427,14 ha, dimana luas hutan berkurang paling banyak 1512,09 ha (Sarifin dan Ahsan, 2020).

Salah satu permasalahan pada Sub DAS Leko Pancing adalah bagian hulu sungai memiliki tata guna lahan yang sangat bervariasi dengan kemiringan lereng yang curam (25-45%), sehingga terdapat daerah kritis di sepanjang sungai yang dapat mengalami gerusan dan memerlukan perlakuan khusus. Sungai berwarna coklat pada musim hujan, menandakan bahwa terjadi erosi di hulu sungai (Nurhilal dan Hamzah, 2021).

Hal yang menyebabkan terjadinya penurunan daya tampung sungai karena terjadinya erosi yang mengakibatkan terjadinya peningkatan laju sedimentasi di daerah utama Sub DAS Leko Pancing yang disebabkan beberapa faktor yaitu karakteristik hujan, kemiringan lereng, tutupan lahan dan kemampuan tanah untuk menyerap dan melepas air kedalam lapisan tanah dangkal (Nurhilal dan Hamzah, 2021).

Prediksi laju erosi diperlukan untuk menentukan besarnya laju erosi penelitian ini mengkaji prediksi erosi yang terjadi di Sub DAS Leko Pancing dengan menggunakan metode USLE (*Universal Soil Loss Equation*). Berdasarkan penjelasan di atas, diperlukan kajian untuk mengetahui tingkat bahaya erosi yang terjadi di kawasan Sub DAS Leko Pancing.

1.2 Tujuan dan Kegunaan

Tujuan penelitian ini yaitu untuk memetakan tingkat bahaya erosi, berdasarkan nilai LS, dan faktor lainnya menggunakan metode USLE. Penelitian ini berguna sebagai sumber informasi yang dapat dimanfaatkan instansi terkait maupun masyarakat sebagai acuan penentuan arahan konservasi dan pengelolaan DAS yang tepat untuk mengendalikan erosi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Daerah Aliran Sungai (DAS)

DAS adalah suatu kawasan yang dibatasi oleh pemisah topografis yang menampung, menyimpan dan mengalirkan air ke anak sungai dan sungai utama yang bermuara ke sungai atau laut, termasuk dalam hal ini di bawah cekungan air tanah. Sungai adalah badan air berupa saluran yang mengalir dari darat ke laut, sedangkan anak sungai adalah cabang sungai atau alur sungai yang bermuara ke sungai induk (Putri, 2011).

Secara biogeofisik DAS bagian hilir dicirikan oleh kawasan lindung, dengan kerapatan drainase yang lebih tinggi, kawasan dengan kemiringan yang tinggi atau $>15\%$, tidak ada dataran banjir, penggunaan air pola drainase yang ditentukan, dan tipe vegetasinya biasanya tegakan hutan. Jika bagian bawah badan air dicirikan oleh area penggunaan, frekuensi drainase lebih rendah, area dengan kemiringan kecil atau sangat kecil atau $<8\%$, di beberapa tempat merupakan area banjir struktur irigasi menentukan pengaturan penggunaan air, dan hutan bakau atau gambut yang mendominasi jenis vegetasi. DAS tengah adalah daerah transisi dari dua karakteristik biogeofisik DAS yang berbeda (Putri, 2011).

2.2 Erosi

Erosi adalah proses beralihnya maupun terbawanya tanah dari suatu tempat yang lebih tinggi akibat suatu medium kemudian mengendap pada tempat yang lebih rendah sebagai sedimen. Lahan pada suatu DAS yang memiliki karakteristik tanah yang rentan terhadap pengikisan, kenampakan permukaan lahan dengan sisi yang panjang dan terjal, curah hujan tinggi, *land cover* yang tidak baik serta tidak dilakukan pemeliharaan secara teratur mengakibatkan erosi dengan tingkat yang lebih tinggi daripada lahan yang memiliki karakteristik tanah yang tahan terhadap pengikisan, kenampakan permukaan lahan dengan sisi yang lebih rata, curah hujan rendah, *land cover* baik serta dilakukan pemeliharaan secara berkala (Osok dkk., 2018).

Erosi dapat disebabkan oleh angin maupun air. Erosi berdampak pada produktivitas dan lingkungan. Erosi tanah adalah salah satu bahaya lingkungan

paling kritis di zaman modern. Area luas dari tanah yang sekarang sedang dibudidayakan dapat menjadi tidak produktif atau setidaknya tidak produktif secara ekonomi jika erosi terus berlanjut (Lal, 2017).

Erosi tanah adalah ancaman utama degradasi tanah global terhadap tanah, air tawar, dan lautan. Angin dan air adalah pendorong utama penyebab terjadinya erosi yang berdampak pada peningkatan jumlah tanah yang terkikis dari lereng bukit mengakibatkan peningkatan transportasi sedimen, yang pada gilirannya menimbulkan gangguan ekologi pada jaringan sungai dan waduk. Akumulasi sedimen ini di waduk dapat menyebabkan pengurangan kapasitas penyimpanan dan kualitas air minum (Borrelli et al, 2020).

Adapun jenis-jenis Erosi sebagai berikut:

Menurut Hardiyatmo (2006), jenis erosi yang sumbernya dari air hujan dapat dikelompokkan menjadi lima jenis yakni:

1. *Splash erosion* (erosi percikan)

Erosi ini disebabkan oleh percikan air hujan atau tindakan langsung pada partikel tanah saat lembab. Hujan yang jatuh ke tanah memiliki diameter yang berbeda, maka energi tumbukan juga berbeda. Energi tumbukan bergantung pada kecepatan, diameter tetesan air hujan, dan intensitas hujan.

2. *Sheet erosion* (erosi lembar)

Erosi ini tidak nampak secara kasat mata, karena perubahan di permukaan bumi hanya terjadi dalam bentuk kecil. Erosi jenis ini nampak jelas ketika laju erosi meningkat tanpa vegetasi di permukaan tanah penyebabnya pemisah tanah dari lereng sebagai lapisan tipis.

3. *Rill erosion* (erosi alur)

Erosi jenis ini disebabkan oleh arus air yang membentuk parit atau saluran kecil yang mengandung konsentrasi air hujan yang bersifat korosif terhadap tanah. Alur diturunkan ke tanah dengan arah yang memanjang dari atas ke bawah. Erosi diklasifikasikan sebagai korosi celah jika lebarnya < 50 cm dan kedalamannya < 30 cm.

4. *Stream* atau *channel erosion* (erosi sungai atau saluran)

Erosi sungai dapat disebabkan oleh erosi permukaan tanggul dan erosi sedimen dari dasar saluran.

2.3 Faktor yang Mempengaruhi Erosi

Terdapat berbagai macam variabel yang dapat menyebabkan terjadinya erosi yakni curah hujan, erodibilitas, kenampakan permukaan, penutupan lahan serta kegiatan manusia (Arsyad, 2009).

2.3.1 Curah hujan

Curah hujan merupakan parameter iklim yang muncul akibat anomali iklim. Anomali iklim sering berulang karena ketergantungannya pada dinamika atmosfer. Indikator dominan yang dapat dilihat dari gejala anomali iklim yaitu kelembaban udara dan suhu udara. Curah hujan dapat diukur menggunakan alat pengukur hujan, dalam satuan milimeter (mm) (Yusuf dkk, 2022).

Presipitasi yang mengenai tanah menyebabkannya terurai dan sebagian air tersebut mengalir di atas permukaan tanah. Tingginya intensitas curah hujan serta kekuatan penguraian air hujan terhadap tanah serta aliran permukaan yang deras dapat mengakibatkan hancurnya partikel tanah (Arsyad, 2009).

Terdapat beberapa metode penentuan curah hujan regional, beberapa di antaranya adalah:

2.3.1.1 Metode *Thiessen Polygon*

Metode ini diperoleh dengan membuat poligon yang memotong garis tengah yang menghubungkan dua stasiun hujan. Setiap stasiun pengukur R_n terletak pada poligon A_n tertentu. Perhitungan rasio luas setiap stasiun sebagai $= A_n/A$, dimana A adalah luas kawasan lindung atau luas total luas yang diinginkan curah hujan tinggi. Jumlah rata-rata curah hujan didapatkan dengan menjumlahkan setiap meter, yang luas pengaruhnya dibentuk dengan menggambar garis aksial tegak lurus dengan garis penghubung antara dua tiang pengukur. Cara perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$d = \frac{A_1.d_1 + A_2.d_2 + A_3.d_3 + \dots + A_n.d_n}{A} = \frac{\sum A_i.d_i}{A} \quad (1)$$

keterangan:

A = Luas areal (km^2)

d = Tinggi curah hujan rata-rata areal

$d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ = Tinggi curah hujan di pos 1, 2, 3, ..., n

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ = Luas daerah pengaruh pos 1, 2, 3, ..., n .

2.3.1.2 Metode *Isohyet*

Metode *Isohyet* yaitu garis yang menghubungkan titik-titik dengan curah hujan yang sama pada metode *Isohyet*, dianggap bahwa hujan dalam suatu wilayah diantara dua garis isohyet adalah merata dan sama dengan nilai rerata dari kedua garis *Isohyet* tersebut. *Isohyet* diperoleh dengan cara interpolasi curah hujan lokal dengan menggunakan persamaan berikut (Lasewangan, 2017):

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_{i-1} + d_i}{2} A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2)$$

keterangan:

R = Curah hujan daerah

A_1, A_2, \dots, A_n = Luas daerah curah hujan *Isohyet* yang berdekatan (km^2)

d_1, d_2, \dots, d_n = Curah hujan di garis *Isohyet* (mm)

2.3.2 Faktor Erosivitas Hujan (R)

Faktor (R) dihitung dari data curah hujan bulanan dapat ditentukan menggunakan metode sebagai berikut (Sulistyo, 2011):

1. *Lenvain* (DHV, 1989 dalam Asdak, 2007):

$$R_m = 2,21 (\text{Rain})_m^{1,36} \quad (3)$$

2. *Bols* (1978) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$R_m = 6,119 \times (\text{Rain})_m^{1,21} \times (\text{Days})_m^{-0,47} \times (\text{Max P})_m^{0,53} \quad (4)$$

3. *Abdurachman* (1989) dapat dihitung sebagai berikut:

$$R_m = ((\text{Rain})_m^{2,263} * (\text{Max P})_m^{0,678}) / (40,056 * (\text{Days})_m^{0,349}) \quad (5)$$

4. *Soemarwoto* (1991, dalam *Rahim*, 2006) dapat dihitung sebagai berikut:

$$R_m = 0,41 (\text{Rain})_m^{1,09} \quad (6)$$

5. *Utomo dan Mahmud* (1984 dalam *Utomo*, 1989) dapat dihitung sebagai berikut:

$$R_m = - 8,79 + 17,01 \times (\text{Rain})_m \quad (7)$$

keterangan :

R_m = Rata-rata indeks erosivitas hujan (unit/bulan)

$(\text{Rain})_m$ = Rata-rata jumlah hujan bulanan (cm/bulan)

$(\text{Max P})_m$ = Rata-rata curah hujan maksimum per hari (cm)

(Days) m = Rata-rata jumlah hari hujan per bulan

2.3.3 Erodibilitas tanah

Erodibilitas tanah adalah kapabilitas material penyusun tanah pada perpindahan tanah dikarenakan energi kinetik dari aktivitas hujan. Sifat – sifat tanah yang berpengaruh pada erosi adalah tekstur, struktur, bahan organik, kedalaman tanah, sifat lapisan tanah dan tingkat kesuburan tanah (Arsyad, 2010). Apabila nilai erodibilitas semakin besar maka tanah tersebut semakin mudah tererosi. Kepekaan suatu tanah terhadap erosi atau nilai erodibilitas suatu tanah ditentukan oleh ketahanan tanah terhadap daya rusak dari luar dan kemampuan tanah untuk menyerap air (Tarigan, 2010).

Hal ini dikarenakan kepekaan tanah untuk tererosi dipengaruhi berbagai faktor seperti sifat mekanik tanah, sifat fisik, kimia, kandungan bahan organik, rheologi, karakteristik profil tanah. Berdasarkan yang dikemukakan oleh Dariah dkk., (2012) bahwa faktor fisik tanah merupakan faktor yang paling mendominasi dalam menentukan nilai erosi pada suatu lahan. Secara fisik, tanah terdiri dari partikel mineral dan organik dengan berbagai ukuran. Partikel-partikel tanah tersusun dalam bentuk matriks yang pori-porinya kurang lebih 50 %, sebagian lagi terisi oleh air dan sebagian terisi oleh udara. 10 Sifat fisik tanah yang mempengaruhi tanah antara lain tekstur tanah, struktur tanah, permeabilitas dan kandungan bahan organik (Desifindiana et al, 2013).

Perhitungan nilai erododibilitas menggunakan rumus berikut (Wischmeier and Smith, 1978):

$$K = 27,66M^{1,14} \times 10^{-8} \times (12-a) + 0,043 (b-2) + 0,0033 (c-3) \quad (9)$$

keterangan:

K = erodibilitas tanah ($Mg \ ha \ h \ MJ^{-1} \ ha^{-1} \ mm^{-1}$)

M = tekstur tanah

a = prosentase bahan organik

b = derajat struktur tanah

c = permeabilitas tanah

Berdasarkan data Dinas Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah serta Departemen Kehutanan, nilai K berdasarkan tipe tanah seperti yang ada pada Tabel berikut:

Tabel 1. Nilai erodibilitas tanah berdasarkan jenis tanah

Jenis Tanah	Nilai K
Aluvial	0,16
Pedsolik	0,22
<i>Hydromorf</i> abu-abu	0,20
Latosol	0,31
Latosol merah	0,12
Latosol merah kuning	0,26
Latosol coklat	0,23
Mediteran	0,21
Kambisol	0,10
Nitosol	0,09

Sumber: Pamungkas (2020).

Tabel 2. Klasifikasi Nilai Erodibilitas Tanah (K)

Kelas	Nilai K	Keterangan
I	0,00 – 0,10	Sangat rendah
II	0,11 – 0,20	Rendah
III	0,21 – 0,32	Sedang
IV	0,33 – 0,43	Agak tinggi
V	0,44 – 0,55	Tinggi
VI	>0,56	Sangat tinggi

Sumber: Arsyad (2010).

Erodibilitas tanah berbeda dengan erosi tanah nilai erosi biasanya menekankan beberapa parameter seperti curah hujan, kelerengan, vegetasi dan praktik konservasi lahan daripada sifat-sifat tanah. Akan tetapi secara fisik dan alamiah proses erosi sangat erat kaitannya dengan sifat tanah, karena pada setiap ruang geografis tanah mengalami proses erosi walaupun dengan intensitas yang berbeda (Ayuningtyas dkk, 2018).

2.3.4 Faktor Panjang dan kemiringan lereng (LS)

Faktor panjang dan kemiringan lereng (LS) di dapatkan dengan beberapa metode yaitu sebagai berikut :

2.3.4.1 Metode Desmet and Govers 1996

Persamaan yang dimodifikasi untuk perhitungan faktor LS dalam GIS dalam perbedaan sel *grid* untuk erosi yang mewakili lereng bukit dengan rumus sebagai berikut Castravet (2012) :

$$LS=(m+1) \times \left(\frac{U}{22,13}\right)^m \times \left(\frac{\sin\beta}{0,09}\right)^n \quad (11)$$

keterangan:

U = Lereng atas (m)

Sin β = Sudut kemiringan ($^{\circ}$)

m, n = Konstanta empiris (m=0,4, n=1,3)

22,13 m = Standar panjang penggunaan plot pada USLE

0,09 = 9% = 5,15 $^{\circ}$ = Standar kemiringan plot pada USLE

2.3.4.2 Metode Moore and Burch 1992

Persamaan rasio antara luas unit morfologi dan ukuran lebar sepanjang garis dalam m, adalah sudut kemiringan dalam rad dan p dan q adalah dua eksponen empiris Stefano (2000):

$$LS_i = \left(\frac{A_{s,i}}{22,13}\right)^p \left(\frac{\sin\lambda}{0,0896}\right)^q \quad (12)$$

keterangan:

A_{s,i} = daerah tangkapan air tertentu

Sin λ = Sudut kemiringan ($^{\circ}$)

22,13 = Standar panjang penggunaan plot pada USLE

p, q = Konstanta empiris (p = 0,6 dan q = 1,3)

2.3.4.3 Metode Boehner and Selige 2006

Persamaan yang digunakan untuk metode Boehner and Selige yaitu sebagai berikut: (Boehner et al., 2002)

$$LS = \left(\frac{CA^{0,5}}{22,13}\right) \times (65,14 \sin^2\beta_{c\Delta} + 4,56 \sin\beta_{c\Delta} + 0,065) \quad (13)$$

keterangan:

CA = Daerah tangkapan air tertentu

22,13 = Standar panjang penggunaan plot pada USLE

Sin β = Sudut kemiringan ($^{\circ}$)

Adapun klasifikasi yang digunakan dalam kelas lereng dengan tingkat kemiringan lereng (%).

Tabel 3. Klasifikasi Kelas Lereng

Kelas Lereng	Tingkat Kemiringan Lereng (%)	Nilai LS
I	0-8	0,25
II	8-15	1,20
III	15-25	4,25
IV	25-45	9,50
V	> 45	12,00

Sumber: Hardjowigeno dan widiatmika (2018).

2.3.5 Pengelolaan tanaman dan tindakan konservasi

Vegetasi penutupan lahan (C) merupakan perbandingan besar erosi suatu wilayah terhadap vegetasi penutupan lahan dan manajemen tanaman tertentu pada besar erosi dari tanah dengan kondisi serupa tanpa adanya tanaman. Sedangkan faktor konservasi (P) merupakan perbandingan jumlah tanah yang hilang pada wilayah dengan konservasi atau pemeliharaan terhadap wilayah yang identik tanpa tindakan konservasi. Pengaruh vegetasi terhadap erosi adalah melindungi permukaan tanah dari tumbukan air hujan (menurunkan kecepatan terminal dan memperkecil diameter air hujan), menurunkan kecepatan dan volume air larian, menahan partikel-partikel tanah pada tempatnya melalui sistem perakaran dan seresah yang dihasilkan serta mempertahankan kemantapan kapasitas tanah dalam menyerap air. Semakin padat pertanaman maka semakin besar hujan yang terintersepsi sehingga erosi akan menurun. Selain itu, sistem perakaran dapat mengurangi erosi yaitu sistem perakaran yang luas dan padat dapat mengurangi erosi (Utomo, 1994). Tabel berikut merupakan penentuan nilai CP untuk berbagai bentuk pengelolaan lahan berdasarkan faktor vegetasi penutupan tanah dan manajemen tanaman dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 4. Nilai faktor CP berdasarkan pendayagunaan lahan

Jenis Penutupan Lahan	Nilai CP
Sawah	0,1000
Padang rumput dengan pepohonan	0,1200
Lahan terbuka	0,9000
Semak belukar	0,3000
Pemukiman	1,0000
Pertanian tahunan	0,1000
Pertanian lahan kering	0,5000
Pertanian lahan kering campur semak	0,4300
Peternakan dan pertanian terpadu	0,1000
Badan air	0,0004
RTH	0,1000
RTH kebun botani	0,1000
Hutan primer	0,0010
Hutan sekunder	0,0050

Sumber: Sinaga, et, al 2014 dan Bapennas 2012.

2.4 Kelas Bahaya Erosi

United States Department of Agriculture (USDA) menetapkan klasifikasi bahaya erosi berdasarkan laju erosi yang dihasilkan dalam ton/ha/tahun seperti diperlihatkan pada Tabel 5. Klasifikasi bahaya erosi ini dapat memberikan gambaran, apakah tingkat erosi yang terjadi pada suatu lahan ataupun DAS sudah termasuk dalam tingkatan yang membahayakan atau tidak, sehingga dapat dijadikan pedoman didalam pengelolaan DAS (Sinaga, 2014).

Menurut Winarno dkk., (2013) Agar tanah mencapai nilai produktivitas tertinggi, jumlah maksimum tanah yang dapat hilang dari tanah harus sama dengan atau kurang dari jumlah tanah yang dipulihkan selama tahapan proses pembentukan tanah. Lahan dengan risiko erosi sedang di daerah erosi rendah memerlukan penanganan kritis karena kerusakan sumber daya atau lahan kering, terutama di bagian hulu di mana erosi terjadi karena penanganan yang tidak tepat. Kategori bahaya erosi dibagi menjadi 5 kategori seperti yang ada pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Kelas bahaya erosi

Tingkat Bahaya Erosi	Kehilangan Tanah (ton/ha/tahun)	Keterangan
I	<15	Sangat ringan (<i>very light</i>)
II	15 – 60	Ringan (<i>light</i>)
III	60 – 180	Sedang (<i>moderate</i>)
IV	180 – 480	Berat (<i>heavy</i>)
V	>480	Sangat berat (<i>very heavy</i>)

Sumber: Permenhut. No. 32. Tahun 2009.

2.5 Model Prediksi Erosi

Model merupakan kumpulan hukum-hukum fisik atau pengamatan yang bersifat empiris yang dirumuskan dalam bentuk matematik kemudian digabungkan dengan cara yang membuahkan hasil berdasarkan berbagai konteks yang diketahui sebelumnya atau dihipotesiskan.

Relasi antara permodelan dan erosi yaitu pendeskripsian secara matematik metode penghancuran, perpindahan serta pengumpulan sedimentasi pada atas permukaan. Adapun tujuan dilakukannya permodelan prediksi erosi yaitu (Pamungkas, 2020) antara lain permodelan prediksi erosi tanah dapat menjadi *tools* untuk mengira jumlah tanah yang hilang sebagai bahan informasi program pemulihan, pendataan erosi, konsep desain serta sebagai acuan dalam penyusunan regulasi. *Match model with physicaly based* dapat membuat prediksi erosi lebih fleksibel terkait tempat dan waktu terjadi proses pengikisan untuk mendukung pihak terkait dalam menentukan target menimalisir erosi. Sebagai *tools* untuk mempelajari erosi tanah dan korelasinya sebagai penentu skala yang dijadikan prioritas dalam penelitian.

2.5.1 USLE (*Universal Soil Lost Equation*)

Metode USLE (*Universal Soil Loss Equation*) adalah model parametrik dari metode prediksi erosi berdasarkan hubungan antara determinan dan laju erosi. Metode persamaan USLE dikembangkan oleh Wischmeir dan Smith (1978, Asdak, 2010). Persamaan USLE pertama kali dikembangkan di Amerika Utara persamaan USLE sebagai berikut :

$$A = R.K.LS.CP \quad (14)$$

keterangan:

- A = Besarnya kehilangan tanah per satuan luas lahan
- R = Faktor erosivitas curah hujan dan air larian
- K = Faktor erodibilitas tanah
- LS = Faktor panjang lereng dan kemiringan lereng
- CP = Faktor pengelolaan tanaman dan konservasi tanah

2.5.2 RUSLE (*Revised Universal Soil Lost Equation*)

Sesuai dengan namanya, RUSLE merupakan revisi dari model sebelumnya yaitu USLE (*Universal Soil Loss Equation*). Model RUSLE digunakan untuk melakukan prediksi erosi untuk menjadi acuan konservasi dengan menggunakan pola curah hujan rata-rata dalam jangka panjang. RUSLE mencakup sejumlah sub faktor dari faktor utama yang menyusun USLE. Basis data ekstensif yang digunakan untuk mendukung RUSLE merupakan penambahan yang bersifat signifikan pada *database* asli sehingga meningkatkan keserbagunaan dan penerapan RUSLE. Faktor C dalam RUSLE, yang membagi tahun menjadi interval dua bulanan dan menghitung ulang rasio kehilangan tanah untuk setiap operasi pengolahan tanah, lebih sensitif terhadap variasi tutupan kanopi, residu permukaan, dan kekasaran permukaan daripada USLE. Faktor K juga disesuaikan untuk memperhitungkan perubahan musim seperti pembekuan dan pencairan dan kelembaban tanah (Larson et al, 1997).

Metode USLE (*Universal Soil Loss Equation*) adalah model parametrik dari metode prediksi erosi berdasarkan hubungan antara determinan dan laju erosi. Metode persamaan USLE dikembangkan oleh Wischmeir dan Smith (1978, Asdak, 2010). Persamaan USLE pertama kali dikembangkan di Amerika Utara persamaan USLE sebagai berikut :

Penerapan prediksi model RUSLE dapat menimalisir terjadinya kesalahan sebab dalam penggunaannya mempertimbangkan perubahan kondisi geografis. Jumlah erosi permukaan atau laju pengikisan tanah dipengaruhi oleh curah hujan, sifat tanah (susunan, permeabilitas dan bahan organik di dalamnya), kelerengan serta tindakan penggunaan dan pengelolaan lahan. Parameter-parameter tersebut digunakan dalam model RUSLE sebagai persamaan empirik dalam pendugaan

jumlah kehilangan media tanah akibat proses erosi dan dinyatakan ke dalam ton/hektar/tahun (Apriani, 2020).

Prediksi laju pengikisan tanah yang dilakukan dengan pola empirik menjadi persamaan RUSLE yang diuraikan seperti dibawah ini.

$$A = Ri. K. LS. C.P \quad (15)$$

keterangan:

A = laju erosi (ton/ha/tahun)

Ri = nilai erosivitas hujan dan aliran permukaan

K = erodibilitas tanah

LS = panjang dan kemiringan lahan

C = tindakan pengelolaan vegetasi

P = dan kegiatan konservasi

2.5.3 MUSLE (*Modified Universal Soil Lost Equation*)

Model Erosi *MUSLE* merupakan pengembangan dari persamaan *USLE* dimana *rainfal-runoff* sebagai basis persamaan *MUSLE*.

$$EA=Y/SDR) \quad (16)$$

$$Y = 11,8 (Q \cdot Qp)^{0.56} \times K \times L \times S \times C \times P \quad (17)$$

keterangan:

Y = hasil sedimentasi (ton)

SDR = *Sediment Delivery Ratio*

Q = total volume *runoff* atau limpasan

Qp = debit maksimum

K = erodibilitas tanah yang dihitung dengan nomograph *USLE*, dari Wischmeier dan Smith

LS = faktor panjang dan kemiringan lereng

C = berupa faktor pengelolaan

P = praktek konservasi tanah (P) yang dihitung berdasarkan nilai-nilai yang telah diadopsi untuk kondisi Indonesia. Volume limpasan dihitung menggunakan metode *Time Area*, dimana Daerah Aliran Sungai dibagi menjadi sub DAS – sub DAS oleh *isocrhone* yang mempunyai waktu perjalanan air (*travel time*) yang sama.

2.5.4 Perbandingan Metode USLE, RUSLE dan MUSLE

Adapun perbandingan kelebihan dan kekurangan dari masing-masing metode yaitu sebagai berikut:

Tabel 6. Kelebihan dan kekurangan metode USLE, RUSLE dan MUSLE

Metode	Kelebihan	Kekurangan
USLE	<ul style="list-style-type: none">• Model ini akan menghasilkan estimasi erosi yang baik jika dilakukan untuk interval jangka panjang 10-20 tahun.• Input data sederhana dengan parameter lebih sedikit dari model lain.	<ul style="list-style-type: none">• Model ini tidak bisa mengukur sedimentasi.• Tidak tepat untuk menggunakannya pada peta skala kecil.
MUSLE	<ul style="list-style-type: none">• Model ini biasanya digunakan untuk memperkirakan erosi tahunan.• Model ini dapat mengukur jumlah sedimentasi.	<ul style="list-style-type: none">• Model ini tidak bisa menghitung jangka panjang.• Parameter yang digunakan lebih banyak.
RUSLE	<ul style="list-style-type: none">• Model ini mampu menunjukkan jumlah pengendapan.• RUSLE hanya mampu memprediksi kehilangan tanah disebabkan oleh erosi lembar tidak termasuk erosi parit.	<ul style="list-style-type: none">• Model ini tidak bisa digunakan untuk interval jangka panjang.• Model ini tidak secara langsung memprediksi hasil sedimen.

Sumber: (Nugraheni Dkk, 2013).

2.6 SIG (Sistem Informasi Geografis)

SIG yaitu sistem informasi komputer untuk menyimpan, mengelola, meramalkan, dan mengambil data. Keunggulan GIS adalah memudahkan pengguna dalam mengambil keputusan untuk menentukan kebijakan yang akan diikuti, terutama yang berkaitan dengan aspek keruangan. Dengan teknologi tersebut mempermudah pemetaan lahan, salah satunya lahan pertambangan. Subsistem yang dimiliki oleh SIG yaitu data input, data output, data management, data manipulasi dan prediksi (Wibowo, dkk, 2015):

Data Input Subsistem ini bertugas untuk mengumpulkan dan mempersiapkan data spasial dan data atribut dari berbagai sumber.

1. Data Output Subsistem ini menampilkan atau menghasilkan keluaran seluruh atau sebagian basis data baik dalam bentuk *softcopy* maupun bentuk *hardcopy* seperti tabel, grafik, peta dan lain-lain.

3. Data Management Subsistem ini mengorganisasikan baik data spasial maupun atribut ke dalam sebuah basis data sedemikian rupa sehingga mudah dipanggil, dan diedit.
4. Data Manipulasi dan Prediksi Subsistem ini menentukan informasi-informasi yang dapat dihasilkan oleh SIG. Selain itu, subsistem ini juga melakukan manipulasi dan permodelan data untuk menghasilkan informasi yang diharapkan.

Model Data Dalam Sistem Informasi Geografis Data digital geografis diorganisir menjadi dua bagian sebagai berikut (Wibowo, dkk, 2015):

- a. Data Spasial adalah data yang menyimpan kenampakan-kenampakan permukaan bumi, seperti jalan, sungai, dan lain-lain. Model data spasial dibedakan menjadi dua yaitu model data vektor dan model data raster.
- b. Model Data Raster merupakan data yang sangat sederhana, dimana setiap informasi disimpan dalam *grid*, yang berbentuk sebuah bidang. *Grid* tersebut disebut dengan *pixel*. Data yang disimpan dalam format ini data hasil *scanning*, seperti citra satelit digital.

2.6.1 Proses Spasial Analisis

1. Peta spasial curah hujan

Menyiapkan data koordinat untuk semua stasiun curah hujan yang akan digunakan di *excel*. Membuka *ArcGis* 10.4.1, pilih *Tools* dan klik *Add X dan Y data* dan membuka file *excel* dan sesuaikan *sheet* kemudian pilih *X dan Y* sesuaikan dengan judul kolom pada *excel*. Kemudian edit dan sesuaikan dengan lokasi peta, *export titik file, shp*, klik *ArcToolBox* dan pilih *search* dan isi pada *create Thiessen Polygons* dan klik tulisan tersebut. Pilih *Input Feature, file output, output feature class*. Kemudian tambahkan peta area yang akan di *clip* dengan peta *Polygon Thiessen*, klik *ArcToolBox* pilih *Analysis Tools, klik Extract, pilih clip* pada *input features, pilih peta Polygon Thiessen*.

2. Peta spasial panjang dan kemiringan lereng

Mendownload data DEM dari DEMNAS dibangun dari beberapa sumber data meliputi data IFSAR (resolusi 5m), TERRASAR-X (resolusi 5m) dan ALOS PALSAR (resolusi 11.25m), dengan menambahkan data Masspoint hasil *stereo-plotting*. Resolusi spasial DEMNAS adalah 0.27-*arcsecond*, dengan menggunakan

datum vertikal EGM2008. Batimetri Nasional dibentuk dari hasil inversi data *gravity anomaly* hasil pengolahan data almetri dengan menambahkan data pemeruman (*sounding*) yang dilakukan oleh BIG, NGDC, BODC, BPPT, LIPI, P3GL dan lembaga lainnya dengan survei *single* maupun *multibeam*.

3. Peta spasial Penutupan lahan dan jenis tanah

Dari sumber data raster seperti citra satelit, peta topografi Indonesia atau peta lain yang berisi informasi koordinat, kita dapat membuat data spasial dengan mendigitalkan data raster. Digitalisasi sebagai proses mengubah data analog menjadi bentuk digital. Objek tertentu seperti jalan, rumah, sawah dan lain-lain yang sebelumnya dalam format raster kemudian diubah menjadi objek vektor.

2.6.2 Sistem Penyajian Peta

Peta yaitu gambaran wilayah geografis yang disajikan dalam berbagai cara, dari peta cetak konvensional hingga peta digital yang ditampilkan di layar komputer. Peta tersebut dapat disajikan dalam beberapa varian yang masing-masing menunjukkan permukaan berbeda dari objek yang sama. (Ernawati, 2014).

Peta berbasis komputer atau digital lebih sulit digunakan dan lebih dinamis karena dapat menampilkan beberapa tampilan berbeda dari objek yang sama. Peta digital ini memungkinkan Anda mengubah skala, gambar, suara, dan animasi, dan peta ini dapat dihubungkan ke sumber data lain melalui Internet. Selain itu, peta digital ini dapat diperbarui menjadi peta tematik baru dan informasi geografis terperinci lainnya dapat ditambahkan ke dalamnya (Ernawati, 2014).