

SKRIPSI

ANALISIS TINGKAT KERAWANAN TANAH LONGSOR DENGAN MENGGUNAKAN KOMBINASI METODE *FREQUENCY RATIO* DAN *FUZZY LOGIC* DI SUB DAS MALINO DAS JENEBERANG

Disusun dan diajukan oleh

MUH. DANDY RACHMAT RAMADHAN

M111 16 024



**PROGRAM STUDI KEHUTANAN
FAKULTAS KEHUTANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS TINGKAT KERAWANAN TANAH LONGSOR DENGAN MENGUNAKAN KOMBINASI METODE *FREQUENCY RATIO* DAN *FUZZY LOGIC* DI SUB DAS MALINO DAS JENEBERANG

Disusun dan diajukan oleh

MUII. DANDY RACHMAT RAMADHAN

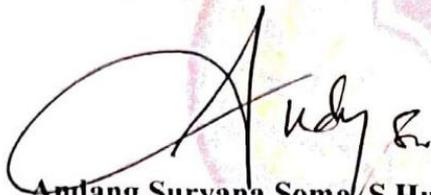
M111 16 024

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Kehutanan Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin pada tanggal 22 Februari 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping



Andang Suryana Soma, S.Hut., M.P., Ph.D
NIP. 19780325200812 1 002



Wahyuni, S.Hut., M.Hut
NIP. 19851009201504 2 001

Ketua Program Studi,



Dr. Forest Mulhanad Alif K.S., S.Hut., M.Si
NIP. 19790831200812 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muh. Dandy Rachmat Ramadhan
NIM : M111 16 024
Program Studi : Kehutanan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya berjudul

Analisis Tingkat Kerawanan Tanah Longsor dengan Menggunakan Kombinasi Metode *Frequeuncy Ratio* dan *Fuzzy Logic* di Sub DAS Malino DAS Jeneberang

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 26 Februari 2021

Yang menyatakan



Muh. Dandy Rachmat Ramadhan

ABSTRAK

Musdalifah, M11116537, Analisis Tingkat Kerawanan Tanah Longsor dengan Menggunakan Kombinasi Metode *Frequeuncy Ratio* dan *Fuzzy Logic* di Sub DAS Malino DAS Jeneberang di bawah bimbingan Andang Suryana Soma dan Wahyuni.

Sub DAS Malino merupakan salah satu bagian dari DAS Jeneberang yang berpotensi menimbulkan terjadinya bencana alam berupa tanah longsor dengan berbagai faktor pemicu. Oleh karena itu, diperlukan analisis terhadap kerawanan tanah longsor dengan mengetahui sebaran dan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap tanah longsor serta pemetaan dengan menggunakan metode *frequency ratio* dan *fuzzy logic*. Parameter pada penelitian ini didasarkan pada studi literatur, ketersediaan data dan kondisi tempat penelitian, antara lain; curah hujan, kelengkungan bumi, jarak sungai, jarak jalan, jarak patahan, kemiringan lereng, ketinggian, litologi dan penutupan lahan. Parameter tersebut diolah untuk mendapatkan nilai rasio dan dinormalisasi berdasarkan rumus berbeda untuk mendapatkan nilai *fuzzy membership*. Hasil yang didapatkan bahwa 371 kejadian longsor teridentifikasi dan kemiringan lereng >45% dan penutupan lahan semak belukar yang memperoleh nilai probabilitas paling tinggi dengan nilai *frequency ratio* 11,76 dan 9,56 serta nilai *fuzzy membership* sebesar 1. Operator *Gamma* dengan Model 1 pada *fuzzy membership* 3 menunjukkan nilai validasi dengan nilai AUC untuk tingkat kesuksesan 0,743 dan AUC tingkat prediksi 0,747. Luasan area kerawanan memiliki persentase sangat rendah sebesar 54,15% (4.720,7 ha), rendah 29,60% (2.580,11 ha), sedang 12,11% (1.055,87 ha), tinggi 3,74% (326 ha), dan sangat tinggi 0,40% (34,79 ha).

Kata kunci: *Frequency ratio; Fuzzy Logic; Fuzzy membership; Kerawanan tanah longsor; Sub DAS Malino*

KATA PENGANTAR



Puji dan syukur kepada Allah Subhanahu Wata'ala yang telah melimpahkan anugerah, rahmat, karunia dan izin-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "**Analisis Tingkat Kerawanan Tanah Longsor dengan Menggunakan Kombinasi Metode *Frequeuncy Ratio* dan *Fuzzy Logic* di Sub DAS Malino DAS Jeneberang**". Shalawat dan salam juga penulis panjatkan kepada Baginda Rasulullah Shallallahu'alaihi wa Sallam yang telah menjadi suri tauladan bagi kita semua.

Terdapat banyak kendala yang penulis hadapi dalam kegiatan penyusunan skripsi ini, baik kendala teknis maupun non teknis. Namun, berkat adanya bantuan, arahan dan bimbingan dari berbagai pihak, semua kendala dapat teratasi dan terselesaikan dengan baik, atas dasar inilah penulis menghaturkan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak **Andang Suryana Soma, S.Hut., M.P., Ph.D.** dan Ibu **Wahyuni, S.Hut., M.Hut.** selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, pengarahan dan perhatian dalam penyusunan skripsi ini.
2. Dosen penguji Ibu **Prof. Dr. Ir. Baharuddin Nurkin, M. Sc.** dan Ibu **Rizki Amaliah, S.Hut., M.Hut.** atas segala kritik dan saran untuk perbaikan skripsi ini.
3. Ketua Departemen Kehutanan Bapak **Dr Forest. Muhammad Alif K.S., S.Hut.** dan **Seluruh Dosen Pengajar** serta **Staf Administrasi** Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin Makassar.
4. Segenap keluarga besar **Laboratorium Pengelolaan Daerah Aliran Sungai** atas dukungan dan bantuannya selama penelitian.
5. Teman karibku **Watershed 27** yaitu **Riska Sariyani, Nur Intan Wiswati, Agnes Sarce Grizelda, Putri Saridayana Thamrin, Fajriansyah Arsyad, Musdalifah., Fathan, Bunga Sri Iriyanto, Tri Alma Putri, Rahmatia Cahyani, Riska Saputri, Irnasari, Ahmad Ikhwan Anugrah, Ria Ariani, Risda S., Friska Mambela, Fahira Nurul Amaliah, Muh. Ikhsan, Annisa Syah Putri Akram, Junita Kadang, Adelya Yunanda Tezia, Adelheith**

Mangatta Kombong, Muh. Rizal Hamid, Juniapet Bahari Tangkeallo, Tri Aprilia Chaerunnis dan **Edwin Maeji**, terima kasih atas doa, motivasi dan bantuannya selama penelitian hingga terselesaikannya skripsi ini.

6. Teman-teman **L16NUM**, dan **Kemahut SI-Unhas** terima kasih atas kebersamaan dan pelajaran yang diberikan.
7. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu yang telah membantu penelitian dan menyelesaikan skripsi ini.

Dari lubuk hati yang paling dalam penulis menghaturkan penghargaan dan terima kasih yang tak terhingga teruntuk orang tua **Mattayang Dg. Tayang** dan **Sanialang Dg. Baji** atas doa, kasih sayang, perhatian dan motivasi dalam mendidik dan membesarkan penulis, serta saudara-saudaraku tercinta **Ikbal Ramadhan, Selvianti M.**, dan **Muh. Resky Anugrah** yang telah memberikan motivasi, perhatian dan dukungan. Semoga dihari esok, penulis kelak menjadi anak yang membanggakan untuk keluarga tercinta.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan yang perlu diperbaiki, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan dan khususnya kepada penulis sendiri.

Makassar, 26 Februari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan dan Kegunaan.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Daerah Aliran Sungai (DAS).....	4
2.2 Tanah Longsor.....	6
2.2.1 Penyebab Terjadinya Tanah Longsor.....	8
2.2.2 Identifikasi Daerah Rawan Longsor di Daerah Aliran Sungai.....	12
2.3 Sistem Informasi Geografis (SIG).....	14
2.3.1 Data Spasial	14
2.3.2 Formata Data Spasial.....	15
2.4 Metode <i>Frequency Ratio</i>	16
2.5 Metode <i>Fuzzy Logic</i>	17
III. METODE PENELITIAN.....	19

3.1 Waktu dan Tempat.....	19
3.2 Alat dan Bahan	19
3.3 Prosedur Penelitian	20
3.3.1 Teknik Pengumpulan Data	21
3.3.2 Inventarisasi Tanah Longsor	21
3.3.3 Persiapan Data	21
3.3.4 Analisis Data.....	24
3.3.4 Validasi Data	27
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	28
4.1 Inventarisasi Tanah Longsor	28
4.2 Faktor Penyebab Tanah Longsor	31
4.3 Metode <i>Frequency Ratio</i>	32
4.3.1 Curah Hujan.....	34
4.3.2 Kelengkungan Bumi	35
4.3.3 Jarak Sungai.....	36
4.3.4 Jarak Jalan.....	37
4.3.5 Jarak Patahan	38
4.3.6 Kemiringan Lereng.....	39
4.3.7 Ketinggian	40
4.3.8 Litologi	41
4.3.9 Penutupan Lahan	42
4.4 Metode <i>Fuzzy Logic</i>	44
4.4.1 <i>Fuzzy Membership</i>	45
4.4.2 <i>Overlay Fuzzy</i>	47
4.5 Validasi.....	49
4.4 Tingkat Kerawanan Tanah Longsor	51

V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	57
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA	58

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
Tabel 1.	Sebaran dan luas lahan perbukitan-pegunungan di Indonesia (Tipe A sangat terpencar; Tipe B bersambung tetapi dipisah oleh batas yang agak jelas; Tipe C bersambung tetapi dipisah oleh batas yang sangat jelas)..	13
Tabel 2.	Nilai <i>frequency ratio</i> (Fr) dengan faktor-faktor penyebab tanah longsor.	32
Tabel 3.	Nilai <i>fuzzy membership</i> dengan faktor-faktor penyebab tanah longsor. .	45
Tabel 4.	Model satu jenis fungsi <i>fuzzy membership</i>	46
Tabel 5.	Model dua jenis fungsi <i>fuzzy membership</i>	47
Tabel 6.	Nilai AUC dari hasil analisis ROC pada tingkat kesuksesan dan prediksi <i>fuzzy membership</i> terhadap kejadian longsor.	51
Tabel 7.	Karakteristik kelas kerentanan terhadap peta kerentanan tanah longsor.	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
Gambar 1.	Sistem berbasis aturan <i>Fuzzy Logic</i>	17
Gambar 2.	Peta lokasi penelitian.....	19
Gambar 3.	Kerangka penelitian.....	20
Gambar 4.	Bentuk interpretasi longsor di <i>Google Earth Pro</i> dan survei lapangan. (a) Hilir, (b) Tengah, (c) Hulu.....	29
Gambar 5.	Peta sebaran titik longsor di Sub DAS Malino	30
Gambar 6.	Peta Parameter Penyebab Tanah Longsor	31
Gambar 7.	Grafik nilai Fr pada setiap kelas curah hujan.....	34
Gambar 8.	Grafik nilai Fr pada setiap kelas kelengkungan bumi	35
Gambar 9.	Grafik nilai Fr pada setiap kelas jarak sungai	36
Gambar 10.	Grafik nilai Fr pada setiap kelas jarak jalan	37
Gambar 11.	Grafik nilai Fr pada setiap kelas jarak patahan	38
Gambar 12.	Grafik nilai Fr pada setiap kelas jarak patahan	39
Gambar 13.	Grafik nilai Fr pada setiap kelas jarak patahan	40
Gambar 14.	Grafik nilai Fr pada setiap kelas litologi	41
Gambar 15.	Grafik nilai Fr pada setiap kelas penutupan lahan	43
Gambar 16.	Peta kerawanan tanah longsor pada pada model 1 dan 2 dengan menggunakan setiap <i>fuzzy membership</i>	48
Gambar 17.	Kurva uji akurasi tingkat kesuksesan <i>fuzzy membership</i>	50
Gambar 18.	Kurva uji akurasi tingkat prediksi <i>fuzzy membership</i>	50
Gambar 19.	Persentase area tingkat kerentanan tanah longsor	53
Gambar 20.	Peta kerawanan tanah longsor dengan menggunakan model 1 pada <i>fuzzy membership</i> 3 di Sub DAS Malino	54

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Lokasi wilayah penelitian di Sub DAS Malino, DAS Jeneberang ...	64
Lampiran 2.	Peta curah hujan di Sub DAS Malino, DAS Jeneberang.....	65
Lampiran 3.	Peta kelengkungan bumi di Sub DAS Malino, DAS Jeneberang.....	66
Lampiran 4.	Peta jarak sungai di Sub DAS Malino, DAS Jeneberang	67
Lampiran 5.	Peta jarak jalan di Sub DAS Malino, DAS Jeneberang.....	68
Lampiran 6.	Peta jarak patahan di Sub DAS Malino, DAS Jeneberang	69
Lampiran 7.	Peta kemiringan lereng di Sub DAS Malino, DAS Jeneberang	70
Lampiran 8.	Peta ketinggian di Sub DAS Malino, DAS Jeneberang.....	71
Lampiran 9.	Peta litologi di Sub DAS Malino, DAS Jeneberang	72
Lampiran 10.	Peta penutupan lahan di Sub DAS Malino, DAS Jeneberang	73
Lampiran 11.	Peta 9 (Sembilan) faktor penyebab tanah longsor	74
Lampiran 12.	Peta kerawanan tanah longsor dengan menggunakan model 1 (menggunakan jenis fungsi <i>fuzzy membership large</i>) pada <i>fuzzy membership 1</i> (rumus normalisasi <i>frequency ratio 1</i>).....	75
Lampiran 13.	Peta kerawanan tanah longsor dengan menggunakan model 1 (menggunakan jenis fungsi <i>fuzzy membership large</i>) pada <i>fuzzy membership 2</i> (rumus normalisasi <i>frequency ratio 2</i>).....	76
Lampiran 14.	Peta kerawanan tanah longsor dengan menggunakan model 1 (menggunakan jenis fungsi <i>fuzzy membership large</i>) pada <i>fuzzy membership 3</i> (rumus normalisasi <i>frequency ratio 3</i>).....	77
Lampiran 15.	Peta kerawanan tanah longsor dengan menggunakan model 2 (menggunakan beberapa jenis fungsi <i>fuzzy membership</i>) pada <i>fuzzy membership 1</i> (rumus normalisasi <i>frequency ratio 1</i>).....	78
Lampiran 16.	Peta kerawanan tanah longsor dengan menggunakan model 2 (menggunakan beberapa jenis fungsi <i>fuzzy membership</i>) pada <i>fuzzy membership 2</i> (rumus normalisasi <i>frequency ratio 2</i>).....	79

Lampiran 17. Peta kerawanan tanah longsor dengan menggunakan model 2 (menggunakan beberapa jenis fungsi <i>fuzzy membership</i>) pada <i>fuzzy membership</i> 3 (rumus normalisasi <i>frequency ratio</i> 3).....	80
Lampiran 18. Tabel <i>Confusion Matrix</i> Penutupan Lahan tahun 2019 di Sub DAS Malino, DAS Jeneberang.....	81
Lampiran 19. Data curah hujan tahun 2015 sampai 2019 di Stasiun Malino dan Malakaji (Sumber: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah IV Makassar).....	82
Lampiran 20. Dokumentasi hasil <i>ground check</i> lapangan	83

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bencana alam selalu menimbulkan keresahan pada masyarakat baik pada saat pra bencana, masa tanggap darurat bencana, maupun pada masa pasca bencana karena dapat mengganggu keberlanjutan kehidupan pada kawasan itu. Salah satu peristiwa alam yang terjadi dan bencana alam yang banyak menimbulkan kerugian ialah tanah longsor. Menurut Hermon (2015), tanah longsor yang terjadi akibat gempa bumi secara langsung dapat mempengaruhi hilangnya keanekaragaman hayati (bencana ekologi) dan rusaknya lahan (bencana degradasi lahan). Rusak dan hilangnya keanekaragaman hayati (tumbuhan dan hewan) akan mempengaruhi siklus hidrologi secara lokal maupun secara global.

Tanah longsor merupakan masalah yang cukup serius yang dialami oleh banyak negara di dunia yang daerahnya bergunung-gunung atau berbukit-bukit seperti di Indonesia, Jepang, Norwegia, Swiss, Yugoslavia dan lain-lainya. Untuk Indonesia, Badan Nasional Penanggulangan Bencana (2016) mencatat sebanyak 2.425 kejadian bencana gerakan tanah atau tanah longsor sepanjang tahun 2011 hingga 2015, dengan lokasi kejadian tersebar di berbagai wilayah di Indonesia. Kejadian gerakan tanah terbanyak dijumpai di Provinsi Jawa Tengah, Jawa Barat, Jawa Timur, Sumatera Barat dan Kalimantan Timur. Bencana gerakan tanah tersebut telah mengakibatkan 1.163 jiwa meninggal, 112 orang hilang, 973 orang terluka dan sekitar 48.191 orang mengungsi (Amri dkk., 2016).

Tanah longsor menjadi ancaman dan sebagai pusat perhatian dikarenakan bencana ini terjadi secara kontinyu dari tahun ke tahun, serta merupakan bencana alam yang paling banyak menimbulkan kerugian baik berupa materi maupun korban jiwa (Nusantara dan Setianto, 2015). Tanah longsor menjadi fenomena yang biasa terjadi ketika peralihan dari musim kemarau ke musim penghujan. Menurut Majid (2008), hujan berintensitas tinggi dalam waktu yang berkaitan singkat dan menerpa daerah yang kondisi tanahnya labil, mudah terjadi longsor. Penyebab longsor utama lainnya adalah adanya gaya gravitasi yang mempengaruhi suatu lereng curam, namun tidak menutup adanya faktor-faktor lain yang menyebabkan

terjadinya longsor, seperti penggunaan lahan yang kurang tepat dan struktur geologinya. Lahan terbuka semakin bertambah luas dari tahun ke tahun yang mendorong semakin bertambahnya lahan kritis.

Secara konvensional, survei lapangan merupakan metode terbaik dalam melakukan analisis kerawanan tanah longsor. Namun, untuk melakukan analisis ini sangat sukar dilakukan pada wilayah yang luas karena banyak menghabiskan waktu dan biaya. Untuk mengatasi masalah ini, informasi yang didapatkan melalui penginderaan jauh merupakan salah satu solusi terbaik yang dapat diperoleh. Data penginderaan jauh saat ini tersedia dapat memberikan informasi yang akurat serta dapat dilakukan analisis dengan menggunakan metode yang telah dikembangkan seperti metode *frequency ratio* dan *fuzzy logic*.

Frequency ratio didasarkan kepada hubungan antara lokasi kejadian tanah longsor dan faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya tanah longsor (Nusantara dan Setianto, 2015). Sedangkan metode *fuzzy logic* yang dikemukakan Akshar (2013), memiliki kelebihan yaitu kemampuan penalaran secara bahas (tidak memerlukan sistem matematis yang rumit), memiliki toleransi terhadap data-data yang kurang lengkap, sangat fleksibel dan menghasilkan akurasi dalam memprediksi sebaran wilayah rentan akan tanah longsor.

Lokasi penelitian berada pada hulu DAS Jeneberang yaitu Sub DAS Malino. Secara administratif, Sub DAS Malino berada di Kecamatan Tinggimoncong Kabupaten Gowa yang memiliki luas 8.759,43 ha atau sekitar 10,96% dari luas DAS Jeneberang (Kementerian Kehutanan, 2012 dalam Ashab, 2014). Sub DAS Malino merupakan salah satu bagian dari DAS Jeneberang yang berpotensi menimbulkan terjadinya bencana alam berupa tanah longsor. Pada tahun 2019 Sub DAS Malino mengalami bencana tanah longsor. Longsor tersebut menimpa satu rumah warga dan menelan satu korban jiwa di Kelurahan Malino, Kecamatan Tinggimoncong (Maryadi, 2019). Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk menganalisis tingkat kerawanan longsor di Sub DAS Malino dengan menggunakan kombinasi metode *frequency ratio* dan *fuzzy logic*. Hal ini perlu dilakukan sebagai dasar informasi bagi masyarakat serta pemerintah sehingga tetap terjaga kelestarian lingkungan.

1.2 Tujuan dan Kegunaan

Berdasarkan rumusan masalah yang dikemukakan diatas, maka tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menginventarisasi sebaran tanah longsor dan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap tanah longsor di Sub DAS Malino.
2. Membuat peta kerawanan tanah longsor pada Sub DAS Malino.

Penelitian ini diharapkan menjadi sumber informasi bagi masyarakat juga pemerintah dalam upaya mewujudkan pengembangan terhadap bencana tanah longsor serta dapat menjadi modal upaya optimalisasi pengelolaan sumber daya alam sehingga tetap terjaga kelestarian lingkungan di wilayah Sub DAS Malino.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah aliran sungai (DAS) merupakan ruang di mana sumberdaya alam, terutama vegetasi, tanah dan air, berada dan tersimpan serta tempat hidup manusia dalam memanfaatkan sumber daya alam tersebut untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Menurut Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2004 DAS didefinisikan sebagai suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami. Batas di darat merupakan pemisah topografi dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan. Dengan demikian DAS merupakan satuan wilayah alami yang memberikan manfaat produksi serta memberikan pasokan air melalui sungai, air tanah, dan atau mata air, untuk memenuhi berbagai kepentingan hidup, baik untuk manusia, flora maupun fauna (Paimin dkk., 2012).

Fungsi suatu daerah aliran sungai (DAS) merupakan fungsi gabungan yang dilakukan oleh seluruh faktor yang pada DAS tersebut, yaitu vegetasi, bentuk wilayah topografi, tanah dan permukiman. Apabila salah satu dari faktor tersebut di atas mengalami perubahan, maka hal tersebut mempengaruhi pula ekosistem DAS. Sedangkan perubahan ekosistem, juga akan menyebabkan gangguan terhadap bekerjanya fungsi DAS, sehingga tidak sebagai mana mestinya (Triwanto, 2012).

DAS menjadi suatu bentuk ekosistem yang terdiri dari komponen biotik dan abiotik yang saling berinteraksi membentuk suatu kesatuan yang teratur. Komponen-komponen yang berinteraksi dalam suatu DAS tidak dapat berdiri sendiri karena merupakan suatu bentuk kesatuan, dimana komponen-komponen tersebut saling mendukung dan menjalankan suatu fungsi dan kerja tertentu yang mengarah pada tujuan hubungan timbal balik dalam suatu ekosistem. Hubungan timbal balik tersebut merupakan suatu fungsi ekologi yang membentuk ekosistem DAS itu sendiri. Aktivitas dari salah satu komponen dalam suatu ekosistem DAS akan memberikan pengaruh terhadap ekosistem lainnya (Asdak, 2010).

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2012 menyebutkan bahwa pengelolaan DAS adalah upaya manusia dalam mengatur hubungan timbal balik antara sumberdaya alam dengan manusia di dalam DAS dan segala aktivitasnya, agar terwujud kelestarian dan keserasian ekosistem serta meningkatnya pemanfaatan sumber daya alam bagi manusia secara berkelanjutan. Sementara Copeland (1961) dalam Sudaryono (2002) mengatakan, bahwa pengelolaan DAS adalah merupakan ilmu terapan untuk perlindungan, perbaikan, dan pengelolaan DAS, dan obyek dasarnya adalah meningkatkan suplai air, mengurangi kisaran aliran maksimum dan minimum, mengurangi hasil sedimen dan meningkatkan kualitas air untuk berbagai penggunaan. Tujuan dari pengelolaan Daerah aliran sungai (DAS) pada dasarnya adalah pemanfaatan sumber daya alam dilakukan dengan terlanjutkan (*sustainable*) sehingga tidak membahayakan lingkungan lokal, regional, nasional dan bahkan global.

Upaya pengelolaan DAS terpadu yang pertama dilaksanakan di DAS Citanduy pada tahun 1981, dimana berbagai kegiatan yang bersifat lintas sektoral dan lintas disiplin dilakukan. Selanjutnya pengelolaan DAS terpadu dikembangkan di DAS Brantas, Jratunseluna. Namun proyek-proyek pengelolaan DAS saat itu lebih menekankan pada pembangunan infrastruktur fisik kegiatan konservasi tanah untuk mencegah erosi dan banjir yang hampir seluruhnya dibiayai oleh dana pemerintah. Baru tahun 1994 konsep partisipasi mulai diterapkan dalam penyelenggaraan Inpres Penghijauan dan Reboisasi, walaupun dalam tahap perencanaan. Pada tahun 1973 sampai 1981, FAO dan UNDP telah melakukan berbagai uji coba untuk memperoleh metoda yang tepat dalam rangka rehabilitasi lahan dan konservasi tanah yang ditinjau dari aspek fisik maupun sosial ekonomi di DAS Solo. Hasil-hasil pengujian ini antara lain diterapkan dalam proyek Inpres Penghijauan dan Reboisasi sejak tahun 1976 pada 36 DAS di Indonesia (Sudaryono, 2002).

Bagian hulu dari suatu DAS memegang peranan penting terhadap keseluruhan DAS, karena keberlangsungan kondisi air dari hulu sampai hilir sangat dipengaruhi bagaimana kondisi DAS di bagian hulu tersebut. Alih fungsi lahan di bagian hulu tidak hanya mempengaruhi kondisi di daerah tersebut, akan tetapi juga mempengaruhi bagaimana kualitas air, debit, dan sedimen yang nantinya akan

sampai di bagian hilir. Sebagaimana terdapat dalam Peraturan Direktur Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial Nomor: P.04/V-SET/2009 juga disebutkan bahwa perubahan kondisi hidrologis suatu DAS yang berdampak negatif seperti erosi dan sedimen, penurunan produktivitas lahan dan degradasi lahan dipicu oleh faktor kegiatan manusia, selain faktor peristiwa alam. Sehingga diperlukan kegiatan-kegiatan yang dapat mendukung proses identifikasi kondisi DAS sehingga dapat direncanakan pengelolaan DAS yang sesuai.

2.2 Tanah Longsor

Ada beberapa istilah yang dikenal untuk menyebut "longsor" yaitu : gerak tanah (*mass wasting*), longsor tanah/ longsor lahan, tanah longsor, *slides*, *sliding*, dan *slipping* (Sriyono, 2012). Diktat kuliah Geomorfologi yang diterbitkan oleh UPN Veteran Yogyakarta tahun 1991 menjelaskan gerakan tanah adalah suatu produk dari proses gangguan keseimbangan lereng yang mengakibatkan bergeraknya massa tanah dan batuan setempat/daerah yang lebih rendah. Sementara Vernes (1958) dalam Hardiyatmo (2006) menyatakan longsor (*slides*) adalah gerakan material pembentuk lereng yang diakibatkan oleh terjadinya kegagalan geser, di sepanjang satu atau lebih bidang longsor. Massa tanah yang bergerak bisa menyatu atau terpecah-pecah. Adapun salah satu pengertian lain tentang longsor berasal dari Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 22/PRT/M/2007 dimana termuat bahwa longsor adalah suatu proses perpindahan massa tanah/batuan dengan arah miring dari kedudukan semula, sehingga terpisah dari massa yang mantap, karena pengaruh gravitasi, dengan jenis gerakan berbentuk rotasi dan translasi.

Pengertian tentang istilah longsor diatas memiliki satu kesamaan yaitu pergerakan massa tanah dalam jumlah yang besar. Pergerakan massa merupakan bentuk pencarian keseimbangan alam. Secara umum pergerakan massa tidak hanya terjadi pada tanah saja tetapi juga dapat terjadi pada batuan ataupun es. Longsor massa sebenarnya bukanlah suatu bencana alam karena kejadiannya merupakan proses alami dalam mencari keseimbangan alam, tetapi longsor massa tersebut akan menjadi sebuah bencana ketika menimbulkan berbagai kerugian bagi manusia (Sriyono, 2012).

Tanda-tanda awal dari longsoran adalah adanya retakan di bagian atas lereng yang relatif tegak lurus arah gerakan. Retakan ini bila tidak segera ditutup, saat hujan akan terisi oleh air, yang berakibat selain melunakan tanah, juga menambahkan gaya horizontal yang mendorong terjadinya longsoran. Kadang-kadang, retak miring juga ditemui pada kedua bagian pinggir longsoran, dan penggebumungan tanah dapat ditemui pada bagian kaki lereng (Hardiyatmo, 2006).

Curden dan Varnes dalam Hardiyatmo (2006) menyajikan beberapa definisi tentang bagian-bagian longsor antara lain :

- a. Mahkota (*Crown*): Lokasi di bagian atas dari zona longsor yang terletak diatas scrap utama (*main scrap*).
- b. *Scaro mayor* atau *scarp* utama (*main scarp*): permukaan miring tajam pada zona tanah yang tidak terganggu oleh longsoran, yang terletak diujung atas longsoran.
- c. Puncak (*top*): titik tertinggi pada bagian kontak antara material yang tidak bergerak dengan scrap utama.
- d. *Scrap minor* (*minor scrap*): permukaan miring tajam pada material bergerak, dan terbentuk akibat perbedaan gerakan.
- e. Tubuh utama (*main body*): bagian dari material yang bergerak yang menutupi permukaan bidang longsor.
- f. Kaki (*foot*): bagian longsoran yang bergerak melampaui kaki lereng.
- g. Ujung bawah (*tip*): titik pada bagian kaki longsoran yang letaknya paling jauh dari puncak longsoran.
- h. Ujung kaki (*toe*): bagian terbawah dari material yang bergerak.
- i. Bidang Longsor atau Bidang Runtuh (*surface of rupture*): permukaan bidang longsor yang merupakan bagian terbawah dari material bergerak atau permukaan yang merupakan batas dari material yang bergerak dan diam.

Longsor terjadi karena proses alami dalam perubahan struktur muka bumi, yakni adanya gangguan kestabilan pada tanah atau batuan penyusun lereng. Gangguan kestabilan lereng ini dipengaruhi oleh kondisi geomorfologi terutama faktor kemiringan lereng, kondisi batuan ataupun tanah penyusun lereng, dan kondisi hidrologi atau tata air pada lereng. Meskipun longsor merupakan gejala fisik alami, namun beberapa hasil aktivitas manusia yang tidak terkendali dalam

mengeksploitasi alam juga dapat menjadi faktor penyebab ketidakstabilan lereng yang dapat mengakibatkan terjadinya longsor, yaitu ketika aktivitas manusia ini beresonansi dengan kerentanan dari kondisi alam yang telah disebutkan di atas. Faktor-faktor aktifitas manusia ini antara lain pola tanam, pemotongan lereng, pencetakan kolam, drainase, konstruksi bangunan, kepadatan penduduk dan usaha mitigasi (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum, 2007).

2.2.1 Penyebab Terjadinya Tanah Longsor

Kejadian tanah longsor memiliki dimensi ruang dan waktu. Longsor hanya dapat terjadi pada suatu lereng baik pada perbukitan, pegunungan, bantaran sungai, atau struktur timbunan. Tanah longsor dapat dimungkinkan untuk diketahui melalui identifikasi faktor-faktor penyebab (*causes*) dan pemicu (*trigger*) terjadinya tanah longsor (Muntohar, 2012). Arsyad (2010) mengemukakan bahwa longsor akan terjadi bila terpenuhi tiga keadaan yaitu:

- a. Adanya lereng yang cukup curam sehingga massa tanah dapat bergerak atau meluncur ke bawah.
- b. Adanya lapisan di bawah permukaan massa tanah, yang agak kedap air dan lunak, yang akan menjadi bidang luncur, dan
- c. Adanya cukup air dalam tanah sehingga lapisan massa tanah yang tepat di atas lapisan kedap air tersebut menjadi jenuh.

Penyebab longsor dapat diartikan sebagai faktor-faktor yang membuat lereng menjadi rentan terhadap keruntuhan atau longsor pada lokasi dan pada waktu tertentu. Faktor penyebab dapat disebut sebagai faktor-faktor yang membuat lereng mengalami kegagalan struktur, yang kemudian membuat lereng menjadi tidak stabil. Pemicu adalah kejadian tunggal yang akhirnya bisa menyebabkan terjadinya tanah longsor. Sehingga bisa disimpulkan bahwa kombinasi faktor-faktor penyebab (*causes*) membuat kondisi struktur lereng mengalami kegagalan, sedangkan faktor pemicu (*trigger*) yang akhirnya menyebabkan terjadinya keruntuhan/pergerakan. Biasanya, faktor pemicu mudah ditentukan setelah terjadinya tanah longsor (meskipun secara umum sangatlah sulit menentukan secara pasti kejadian alam yang memicu terjadinya tanah longsor dari sebuah peristiwa keruntuhan/pergerakan). Secara umum, ketidakstabilan lereng atau mekanisme

kegagalan struktur dapat dikelompokkan pada peningkatan nilai tegangan geser dan kuat geser tanah (Muntohar, 2012).

Menurut Hardiyatmo (2006) menyebutkan sebab-sebab longsoran lereng alam yang sering terjadi adalah:

- a. Penambahan beban dalam lereng. Tambahan beban pada lereng dapat berupa bangunan baru, tambahan beban oleh air yang masuk ke pori-pori tanah maupun yang menggenang di permukaan tanah, dan beban dinamis oleh tumbuhan-tumbuhan yang tertiuip angin dan lain-lain.
- b. Penggalian atau pemotongan tanah pada kaki lereng.
- c. Penggalian yang mempertajam kemiringan lereng.
- d. Perubahan posisi muka air secara cepat (*rapid drawdown*) pada bendungan, sungai dan lain-lain.
- e. Kenaikan tekanan lateral oleh air (air yang mengisi retakan akan mendorong tanah ke arah lateral).
- f. Penurunan tahanan geser tanah pembentuk lereng oleh kenaikan kadar air, kenaikan tekanan air pori, tekanan rembesan oleh genangan air di dalam tanah, tanah pada lereng mengandung lempung yang mudah kembang susut dan lain-lain.
- g. Getaran atau gempa bumi.

Nandi (2007) juga menyatakan bahwa gejala umum tanah longsor ditandai dengan munculnya retakan-retakan di lereng yang sejajar dengan arah tebing, biasanya terjadi setelah hujan, munculnya mata air baru secara tiba-tiba dan tebing rapuh serta kerikil mulai berjatuhan. Faktor lainnya adalah:

- a. Curah hujan

Salah satu faktor penting yang dapat menyebabkan terjadinya longsor adalah curah hujan, dimana ketika intensitas curah hujan tinggi dalam waktu yang lama, menyebabkan air hujan yang turun dan meresap kedalam tanah akan merusak struktur batuan yang kompak dan kedap air. Lama kelamaan batuan tersebut akan pecah dan materi pecahan batuan akan terbawa oleh aliran air sehingga longsor terjadi (Nandi, 2007).

Musim kering yang panjang akan menyebabkan terjadinya penguapan air di permukaan tanah dalam jumlah besar. Hal ini mengakibatkan

munculnya pori-pori tanah sehingga terjadi retakan dan merekahnya tanah ke permukaan. Ketika hujan, air akan menyusup kebagian yang retak sehingga tanah dengan cepat mengembang kembali. Pada awal musim hujan, intensitas hujan yang tinggi biasanya sering terjadi, sehingga kandungan air pada tanah menjadi jenuh dalam waktu yang singkat. Hujan lebat pada awal musim dapat menimbulkan longsor karena melalui tanah yang merekah air akan masuk dan terakumulasi dibagian dasar lereng, sehingga menimbulkan gerakan lateral (Nandi, 2007).

b. Lereng

Lereng atau tebing yang terjal akan memperbesar gaya pendorong. Lereng yang terjal terbentuk karena pengikisan air sungai, mata air, air laut, dan angin. Kebanyakan sudut lereng yang menyebabkan longsor adalah 180° apabila ujung lerengnya terjal dan bidang longsohnya datar (Nandi, 2007).

c. Drainase dan jarak dari sungai

Tidak berfungsinya drainase dengan baik akan memicu besarnya aliran permukaan. Air akan berusaha mencari tempat yang lebih rendah dan sebagian akan berinfiltrasi ke dalam tanah. Air akan menyebabkan tanah menjadi jenuh dan ketika air tidak dapat terinfiltrasi maka akan mengakibatkan aliran permukaan (*run off*). Air ini akan merembes masuk ke dalam rekahan batuan yang akan mengurangi kestabilan lereng (Achmad, 2010).

Potensi tanah longsor secara umum meningkat dengan berkurangnya jarak ke sungai. Aliran sungai berdampak buruk terhadap stabilitas dari mengikisnya lereng atau bagian bawah material yang mengalami kejenuhan, sehingga hasilnya permukaan air meningkat (Eranoglu dan Gekceoglu, 2004 dalam Tazik dkk., 2014). Pengaruh aliran dalam mengerosi dasar sungai dan sisi lereng (lembah) berperan besar dalam mengurangi kestabilan lereng.

d. Batuan/litologi

Batuan endapan gunung api dan sedimen berukuran pasir dan campuran antara kerikil, pasir dan lempung umumnya kurang kuat. Batuan tersebut akan mudah menjadi tanah apabila mengalami proses pelapukan dan umumnya rentan terhadap tanah longsor bila terdapat pada lereng yang terjal

(Nandi, 2007). Menurut Barus (1999), hubungan litologi dengan longsor terlihat jelas yaitu bahan sedimen tersier dari kombinasi pasir dan liat memberikan intensitas longsor paling tinggi, diikuti oleh bahan piroklastik.

e. Ketinggian

Elevasi adalah istilah lain dari ukuran ketinggian lokasi di atas permukaan laut. Lahan pegunungan berdasarkan elevasi dibedakan atas dataran medium (350-700 mdpl) dan dataran tinggi (>700 mdpl). Badan Pertanahan Nasional menetapkan lahan pada ketinggian di atas 1000 mdpl dan lereng >45% sebagai kawasan usaha terbatas, dan diutamakan sebagai kawasan hutan lindung. Sementara, Departemen Kehutanan menetapkan lahan dengan ketinggian >2000 m dpl dan/atau lereng >40% sebagai kawasan lindung (Risdiyanto, 2011).

Ketinggian merupakan salah satu penentu kerawanan tanah longsor. Semakin tinggi suatu tempat, semakin besar kekuatan tanah yang terjatuh karena adanya pengaruh gravitasi. Beberapa peneliti menggunakan ketinggian sebagai parameter pengendali longsor dan telah menemukan bahwa aktivitas longsor dengan cekungan tertentu terjadi pada ketinggian tertentu (Tazik dkk., 2014).

f. Jarak dari patahan/sesar

Lereng-lereng terjal yang dipengaruhi struktur geologi seperti patahan, rekahan, lipatan, lebih rentan terhadap gejala longsor, apalagi jika arah perlapisan batuan searah dengan kemiringan lereng dan terdapat patahan aktif. Secara geomorfologi, tanah longsor memperlihatkan gawir (tebing terjal) berbentuk lurus-melengkung, lereng yang miring ke belakang, relief berbukit-bukit tak beraturan, serta adanya rekahan-rekahan dan kelurusan-kelurusan. Menurut hasil penelitian yang dilakukan Fadilah dkk., 2019 didapatkan bahwa, semakin dekat dengan jarak patahan kemungkinan terjadinya tanah longsor akan meningkat, terlebih jika terdapat patahan aktif dan saling bergesekan yang bisa menyebabkan patahan semakin terbuka dikarenakan menghilangkan kekuatan tanah sehingga tingkat terjadinya longsor semakin meningkat.

g. Penggunaan lahan

Penggunaan lahan (*land use*) adalah setiap bentuk intervensi manusia terhadap lahan dalam rangka memenuhi kebutuhan hidupnya baik material maupun spiritual. Penggunaan lahan merupakan hasil interaksi antara manusia dengan lingkungan alami. Tanaman yang menutupi lereng bisa mempunyai efek penstabilan yang negatif dan positif. Akar bisa mengurangi larinya air atas (aliran permukaan) dan meningkatkan kohesi tanah, atau sebaliknya bisa memperlebar keretakan dalam permukaan batuan dan meningkatkan peresapan. Sering dijumpai pada lereng yang longsor adanya sawah basah pada tebing lereng, tegal/kebun pada lereng terjal dan kolam-kolam berpotensi untuk meresapkan air ke dalam lereng. Aktivitas semacam inilah yang mempunyai pengaruh besar terhadap gerakan tanah (Falahnsia, 2015).

h. Jarak dari jalan/lereng di sisi jalan

Lereng bekas galian badan jalan merupakan lokasi yang rawan longsor. Kaki lereng di sepanjang galian sangat mudah tergerus air sehingga menghilangkan dukungan tanah terhadap longsor (Achmad, 2010). Menurut Tazik dkk., (2014) menyatakan bahwa memotong lereng untuk konstruksi jalan raya dan getaran frekuensi oleh mobil akan menyebabkan tanah longsor.

i. Kelengkungan Bumi

Istilah kelengkungan secara teoritis didefinisikan sebagai laju perubahan gradien lereng atau aspek, biasanya dalam arah tertentu (Pourghasemi dkk., 2012). Kelengkungan permukaan pada suatu titik adalah kelengkungan garis yang dibentuk oleh persimpangan permukaan dengan bidang orientasi yang spesifik, dengan melewati titik tersebut. Bentuk lengkungan atau kemiringan memiliki tiga kategori; 1) cekung (nilai negatif), 2) cembung (nilai positif) dan 3) datar (nilai nol) (Gholami dkk., 2019). Parameter ini merupakan salah satu faktor yang mengendalikan tanah longsor.

2.2.2 Identifikasi Daerah Rawan Longsor di Daerah Aliran Sungai

Pada pengelolaan DAS, identifikasi daerah rawan longsor dapat dilakukan dengan melihat keterkaitan wilayah hulu, tengah dan hilir. Di Indonesia, pada

umumnya wilayah DAS bagian hulu merupakan daerah pegunungan atau perbukitan dengan lereng yang curam. Menurut Puslit Tanah dan Agroklimat (1997) dalam Risdiyanto (2011), luas lahan di Indonesia yang berupa pegunungan dengan lereng yang terhadap longsor dan erosi mencapai 45% dari total wilayah. Tabel 1. menunjukkan sebaran lahan dengan kategori tersebut.

Tabel 1. Sebaran dan luas lahan perbukitan-pegunungan di Indonesia (Tipe A sangat terpengaruh; Tipe B bersambung tetapi dipisah oleh batas yang agak jelas; Tipe C bersambung tetapi dipisah oleh batas yang sangat jelas).

Pulau	Luas Lahan (ha)			Total
	Perbukitan (500 mdpl) tipe A	Perbukitan-pegunungan (>500 mdpl) tipe B	Perbukitan-pegunungan (<500 mdpl) tipe C	
Sumatera	4.432	814	9.992	15.238
Jawa dan Madura	3.578	125	1.646	6.472
Kalimantan	3.992	8.055	10.471	22.518
Sulawesi	2.956	3.337	7.996	13.929
Maluku dan Nusa Tenggara	4.047	4.500	2.437	10.984
Papua	3.141	12.287	3.605	10.033
Total	21.784	30.243	36.147	88.174

Sumber: Risdiyanto (2011)

Lebih lanjut Risdiyanto (2011) menjelaskan keterkaitan antara daerah aliran sungai (DAS) hulu, tengah, dan hilir dijelaskan sebagai berikut:

- a. Penggundulan hutan di DAS hulu atau zona tangkapan hujan akan mengurangi resapan air hujan, dan karena itu akan memperbesar aliran permukaan. Aliran permukaan adalah pemicu terjadinya longsor dan/atau erosi dengan mekanisme yang berbeda.
- b. Budidaya pertanian pada DAS tengah atau zona konservasi yang tidak tepat akan memicu terjadinya longsor dan/atau erosi. Pengendalian aliran permukaan merupakan kunci utama. Pada daerah yang tidak rawan longsor, memperbesar resapan air dan sebagai konsekuensinya adalah memperkecil aliran permukaan merupakan pilihan utama. Sebaliknya, jika daerah tersebut rawan longsor, aliran permukaan perlu dialirkan sedemikian rupa sehingga tidak menjenuhkan tanah dan tidak memperbesar erosi.

- c. Air yang meresap ke dalam lapisan tanah di zona tangkapan hujan dan konservasi akan keluar berupa sumber-sumber air yang ditampung di badan-badan air seperti sungai, danau, dan waduk untuk pembangkit listrik, irigasi, air minum, dan penggelontoran kota.

2.3 Sistem Informasi Geografis (SIG)

Menurut Prahasta (2002) dalam Wibowo dkk. (2015), Sistem Informasi Geografis atau sering disingkat SIG adalah sistem komputer yang digunakan untuk mengumpulkan, memeriksa, mengintegrasikan, dan menganalisis informasi-informasi yang berhubungan dengan permukaan bumi. Pada dasarnya, istilah sistem informasi geografi merupakan gabungan dari tiga unsur pokok yaitu sistem, informasi, dan geografi. Dengan demikian, pengertian terhadap ketiga unsur-unsur pokok ini akan sangat membantu dalam memahami SIG. Dengan melihat unsur-unsur pokoknya, maka jelas SIG merupakan salah satu sistem informasi.

SIG merupakan suatu sistem yang menekankan pada unsur informasi geografi. Istilah “geografis” merupakan bagian dari spasial (keruangan). Kedua istilah ini sering digunakan secara bergantian atau tertukar hingga timbul istilah yang ketiga, geospasial. Ketiga istilah ini mengandung pengertian yang sama di dalam konteks SIG. Penggunaan kata “geografis” mengandung pengertian suatu persoalan mengenai bumi: permukaan dua atau tiga dimensi. Istilah “informasi geografis” mengandung pengertian informasi mengenai tempat-tempat yang terletak di permukaan bumi, pengetahuan mengenai posisi dimana suatu objek terletak di permukaan bumi, dan informasi mengenai keterangan-keterangan (atribut) yang terdapat di permukaan bumi yang posisinya diberikan atau diketahui. (Wibowo dkk., 2015).

2.3.1 Data Spasial

Sebagian besar data yang akan ditangani dalam SIG merupakan data spasial, data yang berorientasi geografis. Data ini memiliki sistem koordinat tertentu sebagai dasar referensinya dan mempunyai dua bagian penting yang berbeda dari

data lain, yaitu informasi lokasi (spasial) dan informasi deskriptif (atribut) yang dijelaskan berikut ini (Sumantri dkk., 2019):

- a. Informasi lokasi (spasial), berkaitan dengan suatu koordinat baik koordinat geografi (lintang dan bujur) dan koordinat XYZ, termasuk diantaranya informasi datum dan proyeksi.
- b. Informasi deskriptif (atribut) atau informasi non spasial, suatu lokasi yang memiliki beberapa keterangan yang berkaitan dengannya. Contoh jenis vegetasi, populasi, luasan, kode pos, dan sebagainya.

2.3.2 Format Data Spasial

Secara sederhana format dalam bahasa komputer berarti bentuk dan kode penyimpanan data yang berbeda antara file satu dengan lainnya. Dalam SIG, data spasial dapat direpresentasikan dalam dua format, yaitu (Sumantri dkk., 2019):

- a. Data Vektor.

Data vektor merupakan bentuk bumi yang direpresentasikan ke dalam kumpulan garis, area (daerah yang dibatasi oleh garis yang berawal dan 95 berakhir pada titik yang sama), titik dan nodes (titik perpotongan antara dua buah garis). Keuntungan utama dari format data vektor adalah ketepatan dalam merepresentasikan fitur titik, batasan dan garis lurus. Hal ini sangat berguna untuk analisa yang membutuhkan ketepatan posisi, misalnya pada basis data batas-batas kadaster. Contoh penggunaan lainnya adalah untuk mendefinisikan hubungan spasial dari beberapa *feature*. Namun kelemahan data vektor yang utama adalah ketidakmampuannya dalam mengakomodasi perubahan gradual.

- b. Data Raster

Data raster (sel grid) adalah data yang dihasilkan dari sistem penginderaan jauh. Pada data raster, obyek geografis direpresentasikan sebagai struktur sel grid yang disebut dengan piksel (*picture element*). Pada data raster, resolusi (definisi visual) tergantung pada ukuran piksel-nya. Dengan kata lain, resolusi piksel menggambarkan ukuran sebenarnya di permukaan bumi yang diwakili oleh setiap piksel pada citra. Semakin kecil ukuran permukaan bumi yang direpresentasikan oleh satu sel, semakin tinggi resolusinya. Data raster sangat

baik untuk merepresentasikan batas-batas yang berubah secara gradual, seperti jenis tanah, kelembaban tanah, vegetasi, suhu tanah dan sebagainya. Keterbatasan utama dari data raster adalah besarnya ukuran file. Semakin tinggi resolusi grid-nya, semakin besar ukuran filenya, dan ini sangat bergantung pada kapasitas perangkat keras yang tersedia. Masing-masing format data mempunyai kelebihan dan kekurangan. Pemilihan format data yang digunakan sangat tergantung pada tujuan penggunaan, data yang tersedia, volume data yang dihasilkan, ketelitian yang diinginkan, serta kemudahan dalam analisa. Data vektor relatif lebih ekonomis dalam hal ukuran file dan presisi dalam lokasi, tetapi sangat sulit untuk digunakan dalam komputasi matematis. Sedangkan data raster biasanya membutuhkan ruang penyimpanan file yang lebih besar dan presisi lokasinya lebih rendah, tetapi lebih mudah digunakan secara matematis.

2.4 Metode *Frequency Ratio*

Pada pendugaan kerentanan tanah longsor dapat dilakukan metode pemetaan tidak langsung. Salah satu metode pemetaan tidak langsung adalah metode *frequency ratio* (Fr). Menurut Lee dkk. (2005) dalam Handayani dan Singarimbun (2016) Fr adalah hasil antara area kejadian longsor terhadap total area dan juga rasio probabilitas kejadian longsor terhadap ketidakjadian longsor untuk faktor atribut yang diberikan. Sementara menurut Lee dan Pradhan (2006) metode *frequency ratio* merupakan metode yang dibangun berdasarkan hubungan antara lokasi kejadian tanah longsor dan faktor-faktor yang mengontrol terjadinya tanah longsor. Oleh karena itu, semakin besar rasionya, semakin besar hubungan antara kejadian longsor dengan faktor yang terkait dengan longsor tersebut. Semakin kecil rasionya semakin kecil hubungan antara kejadian longsor dan faktor yang terkait.

Menghitung Fr dilakukan dengan membuat faktor turunan yang dianggap menyebabkan longsor. Rasio frekuensi untuk setiap faktor penyebab dihitung dengan membagi laju kejadian longsor dengan rasio luas. Jika rasio lebih besar dari 1,0 maka hubungan antara kejadian longsor dan faktor penyebabnya lebih tinggi,

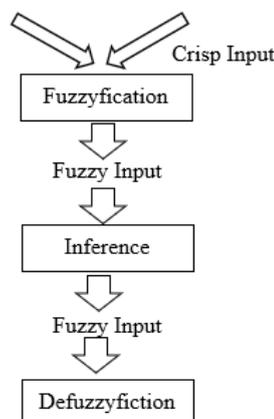
dan jika rasio kurang dari 1,0 maka hubungan antara kejadian longsor dan faktor penyebabnya rendah (Lee dan Lee, 2006 dalam Soma dan Kubota 2017).

Nilai F_r dihitung untuk masing-masing faktor dengan menggunakan data *attribut* di *ArcGIS*. Asumsi kunci saat menggunakan pendekatan probabilitas *frequency ratio* adalah kemungkinan kejadian longsor sebanding terhadap frekuensi longsor yang sesungguhnya. Area longsor dideteksi dengan interpretasi udara. Kemudian, peta lokasi longsor yang diperoleh dari foto udara dikombinasikan dengan data GIS dan digunakan untuk mengevaluasi frekuensi dan distribusi longsor di area yang sedang dianalisis (Lee dkk., 2005 dalam Handayani dan Singarimbun, 2016).

2.5 Metode *Fuzzy Logic*

Fuzzy logic diperkenalkan oleh Prof. Lotfi Zadeh pada tahun 1965. *Fuzzy logic* mempunyai kemampuan untuk memproses variabel yang bersifat kabur atau yang tidak dapat dideskripsikan secara eksak/pasti seperti misalnya tinggi, lambat, bising dll. Dalam *Fuzzy Logic*, variabel yang bersifat kabur tersebut direpresentasikan sebagai sebuah himpunan yang anggotanya adalah suatu nilai *crisp* dan derajat keanggotaan (*membership function*) dalam himpunan tersebut (Wibowo dkk., 2016).

Suatu sistem berbasis aturan *Fuzzy Logic* terdiri dari tiga komponen utama yaitu *fuzzification*, *inference* dan *defuzzification*, terlihat seperti Gambar 1 (Suryanto, 2008 dalam Akshar, 2013):



Gambar 1. Sistem berbasis aturan *Fuzzy Logic*
Sumber: Suryanto (2008) dalam Akshar (2013)

Fuzzification

Fuzzification merupakan proses pemetaan nilai-nilai input (*crisp input*) yang berasal dari sistem yang dikontrol ke dalam himpunan *fuzzy* menurut fungsi keanggotaannya. Himpunan *fuzzy* tersebut merupakan *fuzzy input* yang akan diolah secara *fuzzy* pada proses berikutnya.

Inference

First-order logic merepresentasikan fakta dan aturan di dunia nyata dengan menggunakan objek, prediksi (*relasi*), dan *connectives* serta *quantifier* sehingga beberapa fakta sederhana dapat direpresentasikan ke dalam suatu kalimat logika, dan semua *relasi* bersifat tetap. Pada tahap *inference* diproses hubungan antara nilai-nilai input (*crisp input*) dan nilai-nilai output (*crisp output*) yang dikehendaki dengan aturan-aturan (*rules*). Aturan ini nantinya yang akan menentukan respon sistem terhadap berbagai kondisi *setting point* dan gangguan yang terjadi pada sistem.

Defuzzification

Pada tahap ini dilakukan pemetaan bagi nilai-nilai *fuzzy output* yang dihasilkan pada tahap *inference* ke nilai-nilai output kuantitatif yang sesuai dengan sistem yang diharapkan.

Menurut Bamberger, (2017) metodologi *fuzzy logic* merupakan bagian integral yang sangat baik dan cocok untuk data yang kontinu, sulit untuk didefinisikan, atau berasal dari pendapat ahli. Sehingga *fuzzy logic* memberikan fleksibilitas untuk penentuan hasil yang diinginkan dalam analisis untuk menangani set data kontinu. Dalam analisis kerentanan tanah longsor, *overlay fuzzy* terdapat dua tahapan. Pertama, setiap kriteria yang akan digunakan dalam analisis harus dikonversi ke nilai keanggotaan *fuzzy* menggunakan fungsi *fuzzy membership*. Kemudian data *fuzzified* di tumpang tindih menggunakan fungsi *overlay fuzzy* pada masing-masing faktor. Menurut Sema dkk., (2017) dalam teori *fuzzy logic*, nilai keanggotaan ditetapkan antara 0 dan 1 yang mencerminkan tingkat kepastian faktor dalam mempengaruhi kerentanan longsor. Keanggotaan 1 dan 0 berkontribusi maksimum dan pengaruh minimum atau nihil dari kerentanan longsor terhadap faktor yang mempengaruhi.