

TESIS

Pemetaan Daerah Rawan Tanah Longsor Menggunakan Algoritma Fuzzy Logic dan penentuan penempatan sensor longsor

Landslide Susceptibility Mapping Using Fuzzy Logic Algorithm And Determining Landslide Sensor Placement

**ZULKIFLI
D082192012**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK INFORMATIKA
DEPARTEMEN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**



PENGAJUAN TESIS

Pemetaan Daerah Rawan Tanah Longsor Menggunakan Algoritma Fuzzy Logic dan penentuan penempatan sensor longsor

Tesis
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister
Program Studi Teknik Informatika

Disusun dan diajukan oleh:

**ZULKIFLI
D082192012**

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**



TESIS

PEMETAAN DAERAH RAWAN TANAH LONGSOR MENGUNAKAN ALGORITMA FUZZY LOGIC DAN PENENTUAN PENEMPATAN SENSOR LONGSOR

ZULKIFLI
D082192012

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi
pada Program Magister Teknik Informatika Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 22 April 2024

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc.
NIP. 19640427 198910 1 002

Pembimbing Pendamping



Dr. Eng. Ir. Muhammad Niswar, S.T., M.IT.
NIP. 19730922 199903 1 001

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Muhammad Isran Ramli, M.T. IPM., ASEAN.Eng. NIP. 19730926 200012 1 002

Ketua Program Studi
S2 Teknik Informatika



Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc.
NIP. 19640427 198910 1 002



PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini

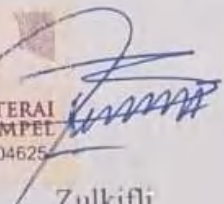
Nama : Zulkifli
Nomor mahasiswa : D082192012
Program studi : S2 Teknik Informatika

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul “Pemetaan Daerah Rawan Tanah Longsor Menggunakan Algoritma Fuzzy Logic Dan Penentuan Penempatan Sensor Longsor” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc. dan Dr. Eng. Ir. Muhammad Niswar, S.T., M.IT. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Prosiding 2023 IEEE International Conference on Computer, Control, Informatics and Its Applications (IC3INA), halaman 183-188, dan DOI: 10.1109/IC3INA60834.2023.10285732 sebagai artikel dengan judul “Landslide Susceptibility Zoning Using Fuzzy Logic Algorithm & GIS: Study Case In Majene, West Sulawesi”.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 22 April 2024

Yang menyatakan


Zulkifli





KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil alamin, segala puji bagi Allah Subhanahu Wa Taala Yang Maha Agung, yang telah memberikan rahmat, karunia, hidayah dan pertolongan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul **“Pemetaan Daerah Rawan Tanah Longsor Menggunakan Algoritma Fuzzy Logic dan penentuan penempatan sensor longsor”**. Tak lupa pula shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menyinari dunia ini dengan keindahan ilmu dan akhlak yang diajarkan kepada seluruh umatnya.

Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik (M.Kom.) pada Program Pascasarjana Departemen Teknik Informatika. Tentunya penyelesaian tesis ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan dari semua pihak. Untuk itu, dengan penuh kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih setulus-tulusnya dan setinggi-tingginya kepada:

1. Ayahanda penulis M. Jawas (Alm.) dan ibunda tercinta Halamia yang telah memberikan dukungan materil, doa dan motivasi yang kuat kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.
2. Bapak Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc. sebagai pembimbing utama dan bapak Dr. Eng. Muhammad Niswar, ST. M.IT. selaku dosen pembimbing pendamping yang telah meluangkan waktunya kepada penulis untuk membimbing, memberikan masukan, memotivasi hingga tahap penyelesaian tesis ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Ansar Suyuti, M.T dan Dr. Eng. Ady Wahyudi Paundu, S.T., M.T dan Mukarramah Yusuf, B.Sc., M.Sc., Ph.D. selaku penguji yang memberikan masukan dan saran yang membangun selama proses penelitian berlangsung.
4. Bapak dan Ibu dosen serta Staf Program Studi Magister Teknik Informatika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas bimbingan, bantuan dan arahnya selama menempuh perkuliahan.
5. Bapak Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc. selaku Ketua Program Studi S2 Departemen Teknik Informatika, yang telah banyak mendukung dan membantu selama penulis menempuh pendidikan pascasarjana di Universitas Hasanuddin.



6. Rektor Universitas Hasanuddin dan Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memfasilitasi saya menempuh program Program Studi Magister.
7. Istri penulis Mawarwati, S.Pd., M.Pd dan anak - anak tercinta Sultanul Auliya. yang telah memberikan dukungan motivasi yang kuat kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.
8. Rekan-rekan Lab *Computer Based System* Departemen Teknik Informatika yang selalu saling mendukung dalam suka maupun duka dalam proses penyelesaian tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tesis masih jauh dari kata sempurna dan di dalam penyelesaiannya masih menemui kesulitan dan hambatan, sehingga penulis tetap mengharapkan saran dan kritik untuk pengembangan lebih lanjut, agar dapat memberikan manfaat yang banyak bagi semua pembaca.

Gowa, 2024

Zulkifli



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
PENGAJUAN TESIS.....	ii
PERSETUJUAN TESIS	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS PELIMPAHAN HAK CIPTA.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	7
1.3. Tujuan Penelitian.....	7
1.4. Manfaat Penelitian.....	7
1.5. Batasan Masalah.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1. Landasan Teori.....	9
2.1.1. Tanah Longsor	9
2.1.2. Sistem Informasi Geografis (GIS)	14
2.1.3. Digital Elevation Model (DEM)	14
2.1.4. Data Spasial	15
2.1.5. Algoritma Fuzzy Logic.....	16
2.1.6. Metode Center of Area	18
2.2. State of The Art Penelitian.....	20
2.3. Penelitian Terkait	28
2.4. Metode Yang Diusulkan.....	36
2.5. Target Hasil Penelitian	40
rangka Pikir	42



BAB III LANGKAH PENELITIAN	43
3.1. Metode Penelitian	43
3.2. Sumber Data	46
3.3. Instrument Penelitian	46
3.4. Rancangan Sistem	47
3.5. Blok Diagram Sistem	47
3.6. Flowchat Sistem.....	48
3.7. Pengujian Sistem	51
3.8. Waktu dan Lokasi	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	53
4.1. Pengambilan Data Dan Pengolahan Data	53
4.1.1. Pengambilan Data	53
4.1.2. Pemrosesan Data	57
4.1.3. Layout Peta Parameter	59
4.1.4. Variabel Input	63
4.1.5. Analisis Fuzzy Logic.....	65
4.1.6. Kurva Sistem Fuzzy Logic.....	71
4.1.7. Aturan Fuzzy	76
4.1.8. Defuzzifikasi.....	81
4.1.9. Proses Iterasi.....	81
4.1.10. Hasil Visualisasi.....	83
4.1.11. Implementasi CoA pada penempatan sensor longsor.....	87
BAB V PENUTUP	91
5.1. Kesimpulan	91
5.1.1. Saran	91
DAFTAR PUSTAKA	92
LAMPIRAN	102



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Peta Administrasi Kab.Majene.....	5
Gambar 2. Bencana Indonesia 2021.....	9
Gambar 3 . Bencana menurut waktu.....	9
Gambar 4. Peta sebaran ketinggian.....	11
Gambar 5. Peta Geologi.....	12
Gambar 6. Kejadian longsor Desa Tubo Tengah.....	13
Gambar 7. Kejadian longsor Desa Onang Utara.....	13
Gambar 8. Kejadian longsor Desa Sangiang.....	14
Gambar 9. Model Data Raster/Grid.....	15
Gambar 10. Model Data Vektor.....	15
Gambar 11. Representasi Linear Naik.....	17
Gambar 12. Representasi Linear Turun.....	17
Gambar 13. Representasi Kurva Segitiga.....	17
Gambar 14. Representasi Kurva Trapesium.....	17
Gambar 15. Area Polygon.....	19
Gambar 16. Konversi peta DEM (Raster ke ASCII)	36
Gambar 17. Overlay.....	39
Gambar 18. Pemetaan daerah rawan longsor Kab. Majene.....	39
Gambar 19. Penentuan titik-titik penempatan sensor.....	40
Gambar 20. Kerangka Pikir Penelitian.....	42
Gambar 21. Flowchart Tahapan Penelitian.....	43
Gambar 22. Tahapan Penelitian.....	44
Gambar 23. Alur Perancangan Sistem.....	47
Gambar 24. Blok Diagram Sistem.....	48
Gambar 25. Flowchart Sistem.....	48
Gambar 26. Visualisasi hasil konversi ke GIS.....	51
27. Data Jenis Tanah.....	53
28. Data Kemiringan Lereng.....	54
29. Data Ketinggian Lereng.....	55



Gambar 30.	Data Curah Hujan.....	55
Gambar 31.	Data Jarak Ke Jalan	56
Gambar 32.	Data Penggunaan Lahan.....	57
Gambar 33.	Penghapusan data yang tidak terpakai.....	58
Gambar 34.	Format data yang sesuai.....	59
Gambar 35.	Peta Curah Hujan.....	60
Gambar 36.	Peta Jenis Tanah.....	60
Gambar 37.	Peta Ketinggian Lereng.....	61
Gambar 38.	Peta Kemiringan Lereng.....	62
Gambar 39.	Peta Tutupan Lahan.....	62
Gambar 40.	Peta Jarak Ke Jalan.....	63
Gambar 41.	Kurva Curah Hujan.....	71
Gambar 42.	Kurva Ketinggian.....	72
Gambar 43.	Kurva Kemiringan Lereng.....	73
Gambar 44.	Kurva Jarak Ke Jalan.....	74
Gambar 45.	Kurva Penggunaan lahan.....	75
Gambar 46.	Kurva Jenis Tanah.....	75
Gambar 47.	Kurva Tingkat Kerawanan.....	76
Gambar 48.	Hasil Iterasi Kategori Sangat Tinggi.....	82
Gambar 49.	Hasil Iterasi Kategori Tinggi.....	82
Gambar 50.	Hasil Iterasi Kategori Sedang.....	82
Gambar 51.	Hasil Iterasi Kategori Rendah.....	82
Gambar 52.	Data Hasil Pengolahan Fuzzy Logic.....	83
Gambar 53.	Visualisasi Peta Kelas Kerawanan Rendah.....	84
Gambar 54.	Visualisasi Peta Kelas Kerawanan Sedang.....	85
Gambar 55.	Visualisasi Peta Kelas Kerawanan Tinggi.....	86
Gambar 56.	Visualisasi Peta Kelas Kerawanan Sangat Tinggi.....	86
	57. Visualisasi Peta hasil Overlay.....	87
	58. Penempatan Sensor pada Polygon.....	89
	59. Hasil Pengolahan Data Di Arcgis.....	92



Gambar 60.	Visualisasi Peta Penempatan sensor kategori tinggi.....	93
Gambar 61.	Visualisasi Peta Penempatan sensor kategori Sangat tinggi.....	93



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Data Curah hujan 2007-2015.....	10
Tabel 2. State Of The Art Penelitian.....	28
Tabel 3. Variabel Kemiringan, Ketinggian, CH, dan Jarak ke Jalan.....	64
Tabel 4. Variabel Tutupan / Penggunaan Lahan.....	64
Tabel 5. Variabel Jenis Tanah.....	65
Tabel 6. Rentan nilai minimum dan maksimum.....	70



ABSTRAK

Zulkifli. *Pemetaan Daerah Rawan Tanah Longsor Menggunakan Algoritma Fuzzy Logic dan penentuan penempatan sensor longsor* (dibimbing oleh **Zahir Zainuddin** dan **Muhammad Niswar**)

Penelitian ini mengeksplorasi penerapan pemetaan wilayah dan identifikasi tingkat kerawanan tanah longsor menggunakan fuzzy logic dan pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (GIS) pada wilayah Kabupaten Majene. Sistem yang dikembangkan memiliki 24 aturan, berstruktur sebagai sistem MISO (Multi Input Single Output) dengan enam input dan satu output. Data relevan diubah menjadi format raster dalam GIS, menghasilkan 160.388 dataset dengan algoritma fuzzy logic. Dalam penelitian ini, terdapat enam variabel yang melibatkan jenis tanah, jarak ke jalan, penggunaan lahan, ketinggian lereng, kemiringan lereng, dan curah hujan. Visualisasi peta berdasarkan tingkat kerawanan dibagi menjadi empat kategori: sangat tinggi, tinggi, sedang, dan rendah. Berdasarkan pemetaan wilayah yang rentan terhadap tanah longsor, dilakukan seleksi terhadap luas setiap pola piksel dengan mempertimbangkan indeks kerawanan, seperti tingkat sangat tinggi dan tinggi. Seleksi ini kemudian diubah menjadi bentuk polygon untuk mempermudah analisis lebih lanjut dalam simulasi penentuan penempatan sensor longsor. Dengan melibatkan perhitungan luas area dari setiap polygon, diikuti dengan penentuan titik tengah menggunakan metode Center of Area (COA). Simulasi penempatan sensor dilakukan secara berulang dengan pendekatan serupa di berbagai area lainnya. Proses ini menghasilkan serangkaian peta kerawanan tanah longsor di berbagai wilayah Kabupaten Majene, termasuk penentuan posisi strategis sensor longsor. Data yang terdapat dalam peta ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai tingkat risiko tanah longsor di seluruh wilayah, dan penempatan sensor yang optimal dapat berperan signifikan dalam pemantauan dan pengurangan risiko tanah longsor di Kabupaten Majene. Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan mitigasi risiko, termasuk pengaturan tata guna lahan,

lereng, dan sistem peringatan dini. Upaya ini mendukung keberlanjutan keamanan wilayah terhadap potensi bencana tanah longsor.

Kata Kunci : *Tanah Longsor, simulasi penentuan penempatan Sensor longsor, Sistem Informasi Geografis, Center Of Area, Fuzzy Logic.*



ABSTRACT

Zulkifli. *Landslide Susceptibility Mapping Using Fuzzy Logic Algorithm And Determining Landslide Sensor Placement* (dibimbing oleh **Zahir Zainuddin** dan **Muhammad Niswar**)

This research explores the application of regional mapping and identification of landslide susceptibility levels using fuzzy logic and the utilization of Geographic Information Systems (GIS) in the Majene Regency area. The developed system has 24 rules, structured as a MISO (Multi-Input Single Output) system with six inputs and one output. Relevant data is converted into raster format in GIS, resulting in 160,388 datasets with fuzzy logic algorithms. In this study, there are six variables involved: soil type, distance to the road, land use, slope height, slope gradient, and rainfall. The map visualization based on susceptibility levels is divided into four categories: very high, high, medium, and low. Based on the mapping of areas vulnerable to landslides, a selection of the area for each pixel pattern is carried out by considering the susceptibility index, such as very high and high levels. This selection is then converted into polygon form to facilitate further analysis in the simulation of determining landslide sensor placement. By involving the area calculation of each polygon, followed by determining the centroid using the Center of Area (COA) method, sensor placement simulations are repeated with similar approaches in various other areas. This process produces a series of landslide susceptibility maps in various areas of Majene Regency, including the determination of strategic positions for landslide sensors. The data contained in these maps provide a comprehensive overview of the landslide risk levels throughout the region, and the optimal placement of sensors can play a significant role in monitoring and reducing landslide risks in Majene Regency. This research aims to plan risk mitigation, including land use management, slope reinforcement, and early warning systems. These efforts support the sustainability and safety of the region against potential landslide disasters.

Keywords: *Landslide, Landslide Sensor Placement Simulation, Geographic Information Systems, Center Of Area, Fuzzy Logic.*



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bencana adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan, baik oleh faktor alam dan/atau faktor non alam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis. Salah satu jenis bencana alam yang sering terjadi adalah tanah longsor yang biasa terjadi diberbagai belahan dunia, begitupun di Indonesia. (*Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007*)

Tanah longsor ialah salah satu bentuk dari gerak massa tanah, batuan, dan runtuhuan batuan/tanah yang terjadi seketika yang bergerak menuju lereng *dkk* bawah yang dikendalikan oleh gaya gravitasi dan meluncur dari atas suatu lapisan kedap yang jenuh air (bidang luncur) Oleh sebab itu tanah longsor dapat juga dikatakan sebagai bentuk erosi (*Brook 1991*) .

Kabupaten Majene, terletak di Provinsi Sulawesi Barat, memiliki luas wilayah sebesar 947,84 km², yang mencakup 5,6% dari total luas wilayah Provinsi Sulawesi Barat sebesar 16.990,77 km². Kabupaten ini terdiri dari 8 Kecamatan dan 82 Desa/Kelurahan. Morfologi wilayah Kabupaten Majene melibatkan perbukitan terjal, lembah, dataran pantai dengan formasi batuan berumur, dan pegunungan. Selain itu, wilayah ini berbatasan langsung dengan laut lepas, yakni Selat Makassar dan Teluk Mandar, yang mengakibatkan pengaruh angin musim dan tingginya intensitas hujan setiap tahunnya.

Berdasarkan kondisi geografis wilayah tersebut, potensi terjadinya bencana tanah longsor sangat mungkin terjadi. Bencana ini dapat memberikan dampak serius bagi masyarakat lokal, seperti kehilangan nyawa dan cedera, kerugian tempat tinggal, terputusnya akses jalan menuju daerah lain, serta kerugian materi yang signifikan. Meskipun demikian, tingkat kesadaran masyarakat terkait upaya mitigasi bencana tanah longsor masih rendah.

Seiring dengan kemajuan teknologi yang terus berkembang, pendekatan i terhadap potensi tanah longsor dapat diimplementasikan sebagai tahap dalam upaya mitigasi bencana. Salah satu contoh penerapan teknologi at adalah melalui penggunaan sensor khusus yang dapat mengidentifikasi



tanda-tanda awal terjadinya tanah longsor. Oleh karena itu, penelitian terfokus pada optimalisasi penempatan sensor dan pengembangan sistem pemetaan untuk menilai kerawanan di daerah rawan tanah longsor menjadi suatu kebutuhan mendesak.

Penempatan sensor menjadi suatu kebutuhan penting karena sebagian besar wilayah yang rawan terhadap tanah longsor memiliki luas yang besar dan beberapa titik sulit dijangkau. Melalui penentuan lokasi sensor, diharapkan dapat memberikan kemudahan bagi peneliti maupun pemangku kepentingan lainnya dalam pemasangan atau penempatan sensor untuk mendeteksi potensi tanah longsor. Hal ini memungkinkan pengawasan tanpa harus melakukan pengukuran langsung di lokasi yang memiliki tingkat kerawanan yang tinggi.

Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penempatan sensor tetapi dengan objek yang berbeda. seperti penelitian yang dilakukan oleh (Li 2021), yaitu peningkatan kemampuan adaptasi jaringan penempatan sensor di masa depan dalam mendeteksi banjir drainase air hujan.

Sama halnya, perlunya dilakukan sistem pemetaan daerah rawan tanah longsor adalah untuk memberikan gambaran menyeluruh terkait kondisi topografi suatu wilayah yang dapat menjadi pemicu terjadinya tanah longsor.

Sama dengan pendapat dari (Chen, Zhang, et al. 2018), Penyusunan peta kerawanan longsor dianggap sebagai tahap awal dalam upaya mitigasi risiko longsor dan penilaian risiko, serta dapat dimanfaatkan untuk perencanaan penggunaan lahan. Oleh karena itu, penelitian mengenai pemetaan daerah rawan tanah longsor di wilayah tersebut menjadi suatu kebutuhan yang mendesak. Selain pembahasan mengenai pemetaan daerah rawan tanah longsor, penelitian ini juga akan mencakup aspek penentuan lokasi penempatan sensor sebagai upaya pendeteksian dini terhadap potensi tanah longsor.

Penelitian terkait pemetaan daerah rawan tanah longsor telah banyak dilakukan di beberapa daerah di Indonesia maupun mancanegara dengan berbagai metode, pemodelan ataupun analisis yang berbeda-beda, seperti:

Penelitian menggunakan metode Machine Learning, (Wei Chen dkk. 2018, Peng, et al. 2018), Metode Deep Learning (Sameen and Pradhan 2019; Fang, and Hong 2019)



Namun demikian, penelitian yang telah dilakukan sebatas pada pemetaan daerah rawan tanah longsor. namun, penentuan penempatan sensor longsor terutama di beberapa wilayah di Indonesia, belum sepenuhnya terimplementasi dengan baik. Oleh karena itu, penelitian ini akan fokus pada identifikasi lokasi optimal untuk penempatan sensor guna mendeteksi potensi tanah longsor.

Berdasarkan kajian Pustaka, beberapa permasalahan yang muncul seperti terjadinya tanah longsor yang diakibatkan oleh adanya hujan lebat. (Fang et al. 2020), jenis tanah dengan karakteristik yang berbeda yang dapat menyebabkan tanah longsor (Lee et al. 2016), derajat kemiringan lereng 12 sampai 40 dan jarak ke jalan raya sekitar (0-100 m) yang rentan terhadap tanah longsor (Vakhshoori et al. 2019), selain itu, penggunaan lahan dan batuan yang mudah lapuk juga menjadi salah satu penyebab tanah longsor. Sementara itu, arsitektur deep learning (CNN) dalam mengolah data citra memiliki tingkat kesulitan yang tinggi (Wang, Fang, and Hong 2019).

Peringatan dini menjadi salah satu solusi sebagai langkah awal penyelamatan yang dapat dilakukan. sehingga kerugian akibat longsor dapat diminimalisir. (Informatika 2016). salah satu bentuk peringatan dini yang dilakukan adalah dengan adanya sensor deteksi bencana longsor pada daerah rawan tanah longsor, dengan memanfaatkan Sistem Informasi Geografis (SIG) sehingga dapat dilakukan pemetaan menggunakan algoritma fuzzy logic dan penentuan titik-titik penempatan sensor dengan metode Center of Area. Algoritma fuzzy logic dipilih untuk memudahkan dalam proses pemetaan daerah kerawanan tanah longsor dan metode Center of Area digunakan untuk mencari lokasi pusat penempatan sensor dari beberapa lokasi alternatif, sehingga jarak antar sensor dapat ditentukan. Berdasarkan analisis tersebut, maka perlu adanya terobosan baru dalam sistem pemetaan daerah rawan longsor beserta penentuan titik-titik penempatan sensornya.

Oleh karena itu, evaluasi terhadap karakteristik suatu wilayah merupakan langkah awal dalam upaya mitigasi bencana longsor yang berpotensi terjadi di daerah. Mengenali ciri khas geografis wilayah tersebut juga dapat menjadi untuk perencanaan, di mana pengumpulan data terkait aspek fisik dasar di suatu keharusan. Dalam konteks ini, pemanfaatan Sistem Informasi

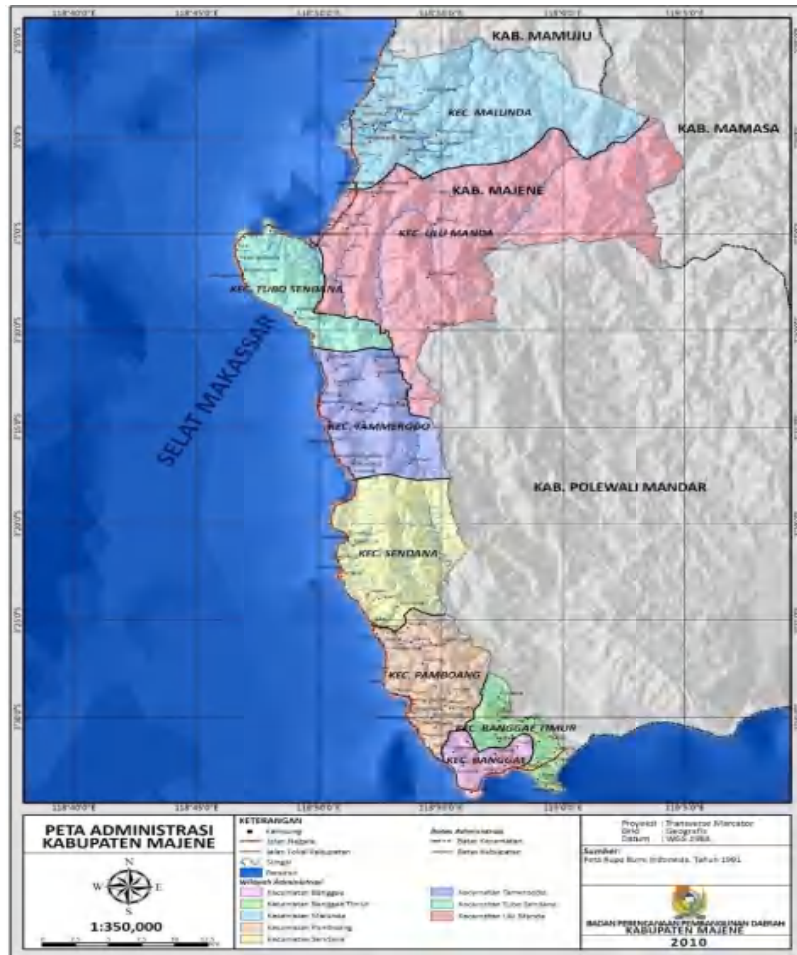


Geografis (SIG) yang telah mengalami perkembangan pesat telah diadopsi oleh berbagai peneliti dalam pemetaan kerawanan tanah longsor, dengan menerapkan metode yang beragam, termasuk algoritma Fuzzy Logic dan analisis penempatan sensor menggunakan metode Center of Area (CoA).

Jika pergerakan tanah teridentifikasi terdapat pada area sempit dan kecil maka area penempatan sensor tersebut akan digabung dengan peta rawan longsor beserta jumlah sensor yang dipasang dan lokasinya telah ditentukan. Sama halnya dengan curah hujan yang tinggi itu biasanya terdapat satu sensor curah hujan yang dihitung berdasarkan luas area yang akan ditangani, misalnya satu sensor hujan bisa mewakili per kecamatan, namun pada penelitian ini terdapat batasan pada beberapa parameter yang tidak perlu memakai sensor.

Melalui analisis ini, diharapkan dapat memberikan solusi untuk mengatasi beberapa permasalahan dalam penelitian ini, seperti biaya sensor yang tinggi dan waktu yang relatif lama dalam penempatan sensor, yang dapat menghambat optimalisasi penempatan sensor di lokasi penelitian. Oleh karena itu, efisiensi biaya yang signifikan dapat dicapai melalui analisis teknik penginderaan jauh dengan menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan desain model sistem penempatan sensor yang optimal. Berikut gambar peta administrasi Kabupaten Majene. Dapat dilihat pada gambar 1.





Gambar 1. Peta Administrasi Kabupaten Majene

Berdasarkan tinjauan di atas, penelitian ini akan fokus pada identifikasi titik longsor dan titik rawan tanah longsor di wilayah Kabupaten Majene, dengan memanfaatkan Sistem Informasi Geografis (SIG). Dalam sistem ini, analisis akan dilakukan untuk memperoleh indeks kerawanan tanah longsor yang kemudian dibagi ke dalam 4 kelas kerawanan, yakni sangat tinggi, tinggi, sedang, dan rendah. Proses klasifikasi ini akan menggunakan algoritma fuzzy logic, yang berdasarkan sejumlah parameter atau faktor kondisi penyebab tanah longsor, seperti kemiringan lereng, ketinggian lereng, jarak ke jalan raya, curah hujan, tutupan lahan, dan jenis tanah.

Indeks kerawanan tanah longsor yang telah dihasilkan pada peta tersebut diubah menjadi bentuk polygon. Proses konversi ini bertujuan untuk ukan penyeleksian luas setiap pola pixel yang memiliki indeks kerawanan ri sangat tinggi, dan tinggi.



Dari hasil konversi ke dalam bentuk polygon, analisis titik penempatan sensor akan dilakukan dengan menentukan titik tengah menggunakan metode Center of Area (COA). Setelah titik tengah diidentifikasi, jenis dan jarak sensitivitas/komunikasi sensor perlu diidentifikasi. Hal ini bertujuan untuk memudahkan dalam menentukan titik-titik penempatan sensor dan jumlah sensor yang digunakan, sehingga dapat mencakup keseluruhan area pada polygon atau peta tersebut.

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan data raster dan vektor. Data tersebut diperoleh melalui pengambilan Digital Elevation Model (DEM) dengan menggunakan aplikasi pada Sistem Informasi Geografis (SIG). Hasil tersebut kemudian dikonversi menjadi data yang berisi nilai numerik, yang nantinya akan dijadikan input dalam algoritma fuzzy logic untuk sistem pemetaan daerah rawan tanah longsor dan penentuan titik-titik penempatan sensor.

Adapun judul penelitian ini adalah **Pemetaan Daerah Rawan Tanah Longsor Menggunakan Algoritma Fuzzy Logic dan penentuan penempatan sensor longsor.**



1.2. Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana merancang system pemetaan daerah rawan tanah longsor untuk wilayah Kabupaten Majene menggunakan algoritma fuzzy logic dengan pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG)?
2. Bagaimana menentukan titik-titik penempatan sensor dalam deteksi daerah rawan tanah longsor?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Merancang system pemetaan daerah rawan tanah longsor untuk wilayah Kabupaten Majene menggunakan algoritma fuzzy logic dengan pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG)
2. Menentukan titik-titik penempatan sensor dalam deteksi daerah rawan tanah longsor

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memudahkan dalam penentuan titik-titik penempatan sensor
2. Efisiensi biaya dan waktu dalam penempatan sensor longsor
3. Pemanfaatan System Informasi Geografis (SIG), diharapkan dapat membantu dalam mengidentifikasi daerah rawan tanah longsor yang terdapat di Kabupaten Majene, Provinsi Sulawesi Barat.
4. Menghasilkan informasi pemetaan daerah rawan tanah longsor dan beserta penentuan titik-titik penempatan sensor longsor pada lokasi penelitian
5. Sebagai bahan rekomendasi untuk memberikan informasi penting kepada peneliti, masyarakat lokal, dan pemerintah dalam mitigasi bencana yang ada pada daerah penelitian tersebut.
6. Sebagai bahan literatur untuk pengembangan penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan tanah longsor.



1.5. Batasan Masalah

1. Sistem pemetaan yang dibangun menggunakan aplikasi System Informasi Geografis (SIG)
2. Objek penelitian ini berlokasi di Kabupaten Majene
3. Metode Center Of Area (COA) digunakan untuk penentuan titik-titik penempatan sensor dan Algoritma Fuzzy Logic digunakan untuk system pemetaan daerah rawan tanah longsor
4. Variabel/parameter penyebab tanah longsor adalah kemiringan lereng, ketinggian lereng, jarak ke jalan, curah hujan, penggunaan/tutupan lahan, dan jenis tanah.
5. Penelitian ini hanya berfokus pada sistem pemetaan kerawanan daerah rawan tanah longsor dan penentuan titik penempatan sensor.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Landasan Teori

2.1.1. Tanah Longsor

Berdasarkan data bencana Indonesia tahun 2021 tanah longsor terjadi di Indonesia sebanyak 632 dapat dilihat gambar 2.



Gambar 2. Bencana Indonesia (BNPB) 2021

Sedangkan bencana menurut waktu dapat dilihat gambar 3.



Gambar 3. Bencana menurut waktu

longsor merupakan salah satu bencana alam yang kerap terjadi di pa daerah di Indonesia, menimbulkan kerusakan signifikan bahkan



korban jiwa. Kejadian serupa juga tercatat dalam setahun terakhir di Kabupaten Majene, menyebabkan kerugian material dan menelan korban jiwa. Faktor penyebab tanah longsor di Kabupaten Majene dapat disusun oleh kondisi iklim di wilayah tersebut, yang secara umum dicirikan oleh curah hujan yang tinggi dan sangat dipengaruhi oleh angin musim. Keadaan ini dipengaruhi oleh lokasinya yang berbatasan langsung dengan laut lepas, yaitu Selat Makassar dan Teluk Mandar.

Adapun jumlah curah hujan menurut bulan di Kabupaten Majene, 2007 – 2015 (mm³) adalah :

Bulan	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Januari	270,1	203,0	597,8	218,5	197,8	74,3	266,4	185,9	213,0
Februari	62,5	153,1	163,2	292,3	168,7	129,3	179,7	80,6	48,0
Maret	68,1	67,7	139,6	84,9	118,1	97,8	87,6	89,5	133,0
April	96,7	314,2	148,0	115,1	208,4	45,5	137,4	97,3	235,0
Mei	223,1	33,6	122,3	196,1	88,6	224,9	124,3	148,6	20,0
Juni	264,2	167,5	20,6	260,2	37,2	94,3	49,2	76,4	36,0
Juli	4,9	95,3	59,5	270,4	1,6	64,6	175,1	92,5	13,0
Agustus	63,0	68,6	32,6	206,4	4,7	13,5	104,0	26,1	3,0
September	72,0	166,0	6,2	303,1	26,0	10,1	117,4	20,6	0,0
Oktober	59,0	309,2	116,5	215,9	152,3	43,4	55,6	49,4	68,0
November	170,6	310,4	152,5	224,9	199,8	80,6	206,0	112,5	58,0
Desember	118,2	365,4	154,1	169,3	456,4	209,3	179,5	117,4	263,0
Jumlah	1472,4	2254,0	1712,9	2557,1	1659,6	1087,6	1682,2	1096,8	1090,0

Sumber : Stasiun Meteorologi Kabupaten Majene

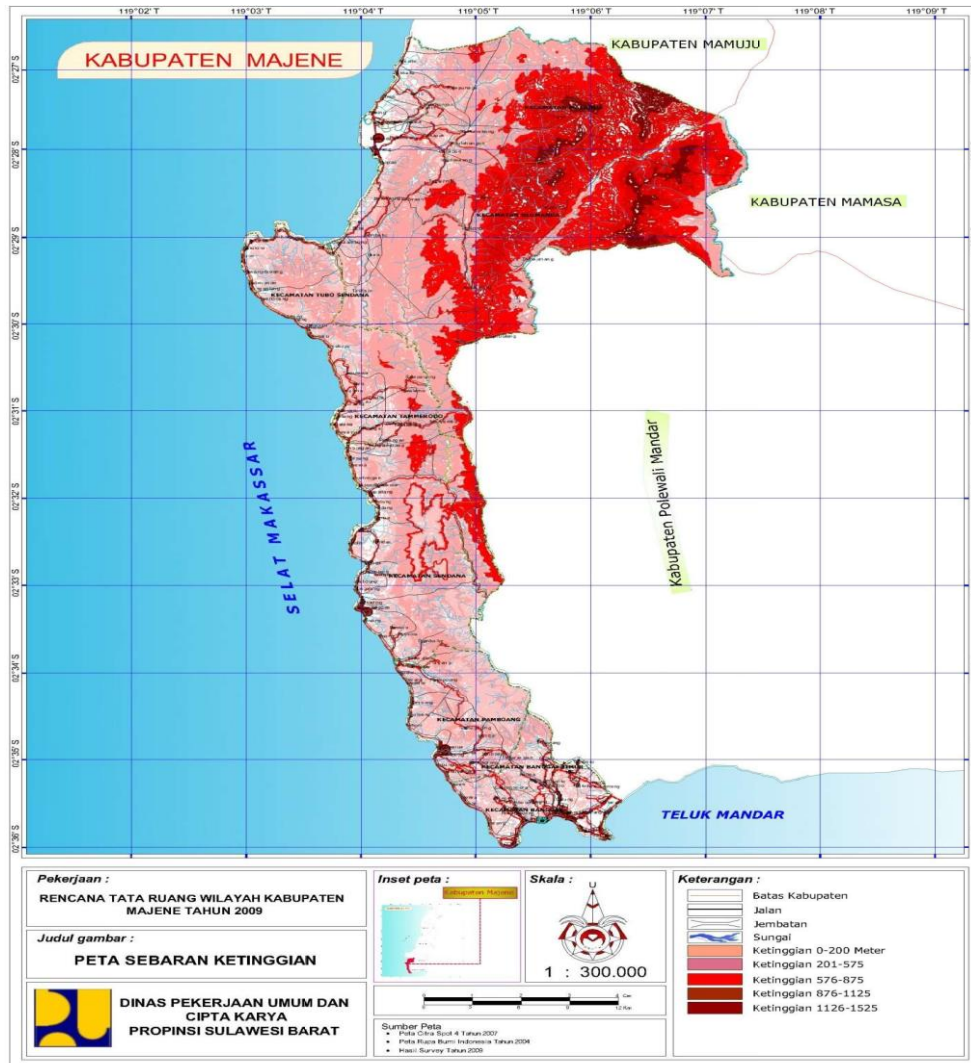
Tabel 1. Data Curah hujan 2007-2015

Selain itu, wilayah Kabupaten Majene menampilkan topografi yang beragam, meliputi dataran hingga perbukitan dan pegunungan, dengan tingkat kemiringan lereng yang bervariasi dari kurang dari 3% hingga lebih dari 100%.

Sementara itu, Kabupaten Majene mengklasifikasikan ketinggian wilayahnya dari permukaan air laut, mulai dari 0-25 meter hingga di atas 1000 meter. Dari berbagai kelas ketinggian muka laut yang tersebar di wilayah Kabupaten Majene, mayoritas wilayah termasuk dalam kelas ketinggian 100-500 meter, mencapai 38,69%, dan kelas ketinggian 500-1000 meter, mencapai 35,98% dari total luas wilayah Kabupaten. Berikut ini adalah peta sebaran ketinggian di wilayah tersebut.



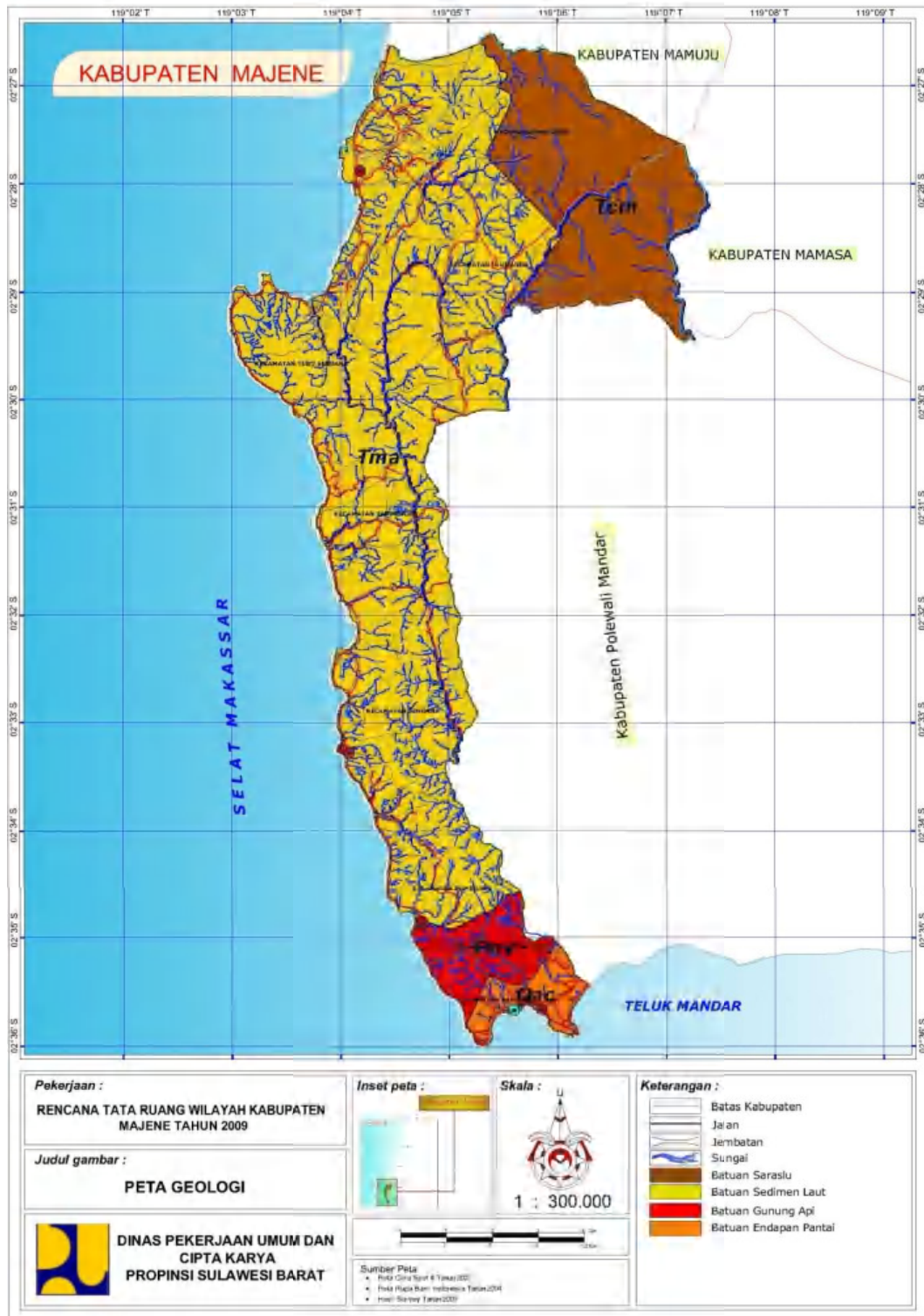
Dapat dilihat peta gambar 4.



Gambar 4.Peta sebaran ketinggian



Sementara itu, peta geologi Kabupaten Majene dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Peta Geologi



Sementara itu, beberapa kejadian longsor yang terjadi selama tahun 2021 di Kabupaten Majene dapat dilihat pada gambar 6,7,8.



Gambar 6. Kejadian longsor Desa Tubo Tengah



Gambar 7. Kejadian Longsor Desa Onang Utara





Gambar 8. Kejadian longsor Desa Sangiang,

2.1.2. Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan suatu sistem informasi berbasis komputer untuk menyimpan, mengelola dan menganalisis, serta memanggil data bereferensi geografis yang berkembang pesat pada lima tahun terakhir ini (Koko Mukti Wibowo, Indra Kanedi 2021). Pembuatan peta potensi bahaya tanah longsor dengan menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) mampu memberikan solusi dan kemudahan dalam analisis spasial secara berulang, kontinu, cepat dan akurat. Bahaya tanah longsor dapat diidentifikasi secara cepat melalui sistem informasi geografis dengan menggunakan metode tumpang susun atau overlay terhadap parameter-parameter penyebab tanah longsor seperti: curah hujan, jenis tanah, kemiringan lereng, ketinggian, dan tutupan lahan (Effendi and Hariyanto 2016b).

2.1.3. Digital Elevation Model (DEM)

Digital Elevation Model (DEM) atau Model Ketinggian Digital merupakan suatu model yang merepresentasikan topografi suatu permukaan. Salah satu sumber data yang digunakan untuk membuat model ketinggian digital ini adalah menggunakan sebaran titik-titik yang memuat informasi koordinat tiga dimensi yaitu x, y, dan z di permukaan bumi. Pengambilan data sebaran titik ini dapat dilakukan melalui foto udara stereo yaitu foto udara yang saling bertampalan

ga memberikan efek tiga dimensi yang kemudian dapat diambil asinya (Arfaini 2016)

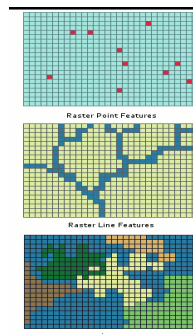


2.1.4. Data Spasial

Model data yang diterapkan dalam Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah model data spasial, dan dalam penelitian yang akan dilaksanakan, jenis data spasial yang akan digunakan adalah data raster. Secara konseptual, terdapat dua model data spasial utama, yaitu model raster dan vektor.

a. Model data raster

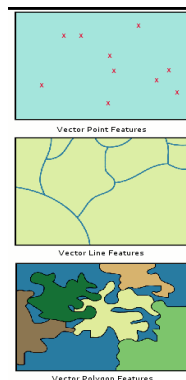
Tugas utama dari model data raster dalam Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah untuk menampilkan, menempatkan, dan menyimpan isi data spasial dengan struktur matriks atau susunan piksel-piksel yang membentuk suatu grid (segi-empat). Setiap piksel dalam grid ini memiliki atribut tersendiri, termasuk koordinat yang unik dan nilai elevasi.



Gambar 9. Model Data Raster/Grid

b. Model data vektor

Dapat menampilkan, menempatkan, dan menyimpan data spasial dengan menggunakan titik-titik dan garis-garis atau polygon (Effendi and Hariyanto 2016a)



Gambar 10. Model Data Vektor



2.1.5. Algoritma Fuzzy Logic

Dalam system pemetaan daerah rawan tanah longsor, fuzzy logic akan cocok untuk digunakan karena merupakan salah satu metode pengambilan keputusan yang mudah digunakan untuk menemukan solusi dari suatu masalah dengan variable yang terbatas (Sugianti, Widiartha, and Husodo 2019) . Fuzzy logic merupakan salah satu komponen pembentuk soft computing. Fuzzy logic pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Dasar fuzzy logic adalah teori himpunan fuzzy. Pada teori himpunan fuzzy, peranan derajat keanggotaan sebagai penentu keberadaan elemen dalam suatu himpunan sangatlah penting. Nilai keanggotaan atau derajat keanggotaan atau membership function menjadi ciri utama dari penalaran dengan fuzzy logic tersebut (Effendi and Hariyanto 2016b). Tahapan Fuzzy Logic yaitu:

2.1.5.1.Fuzzifikasi

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. Untuk mengubah crisp input menjadi fuzzy input, terlebih dahulu harus menentukan membership function untuk setiap crisp input, kemudian proses fuzzyfikasi akan mengambil crisp input dan membandingkan dengan membership function yang telah ada untuk menghasilkan harga fuzzy input (Effendi and Hariyanto 2016b).

1. Himpunan Fuzzy

(Daerah and Bencana 2016) Pada himpunan tegas (crisp), nilai keanggotaan suatu x dalam himpunan A , yang sering ditulis dengan $\mu_A(x)$, memiliki dua kemungkinan, yaitu : Satu (1), yang berarti bahwa suatu item menjadi anggota dalam suatu himpunan, Nol (0), yang berarti bahwa suatu item tidak menjadi anggota dalam suatu himpunan.

2. Fungsi Keanggotaan

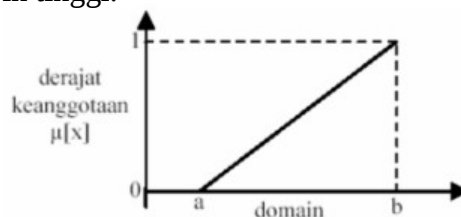
Fungsi Keanggotaan (membership function) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik – titik input data kedalam nilai keanggotaannya ; juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 i 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai



keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan.

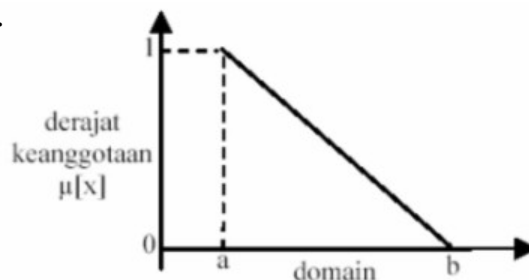
a. Representasi Linear

Pada representasi linear, pemetaan input ke derajat keanggotannya digambarkan sebagai suatu garis lurus. Bentuk ini paling sederhana dan menjadi pilihan yang baik untuk mendekati suatu konsep yang kurang jelas. Ada 2 keadaan himpunan fuzzy yang linear. Pertama, kenaikan himpunan dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan nol (0) bergerak kekanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi.



Gambar 11. Representasi linear naik

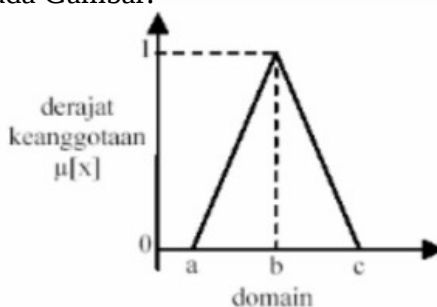
Kedua, merupakan kebalikan yang pertama. Garis lurus dimulai dari nilai domain dengan derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri, kemudian bergerak menurun ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan yang lebih rendah.



Gambar 12. Representasi linear turun

b. Representasi Kurva Segitiga

Kurva Segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara 2 garis (linear) seperti terlihat pada Gambar.

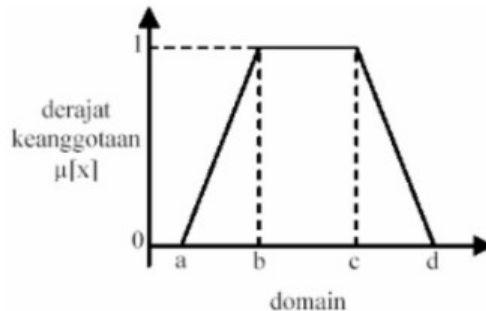


Gambar 13. Representasi Kurva Segitiga



c. Representasi Kurva Trapesium

Kurva Trapesium pada dasarnya seperti berbentuk segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1.



Gambar 14. Representasi Kurva Trapesium

2.1.5.2. Inference

Logika orde pertama merepresentasikan fakta dan aturan dalam dunia nyata dengan menggunakan objek, predikat (relasi), koneksi, dan kuantifier. Hal ini memungkinkan representasi fakta sederhana dalam kalimat logika, dan semua relasi bersifat tetap. Menurut (Suyanto, 2008, p. 29) untuk membedakan First-Order Logic secara sintaks aturan Fuzzy Logic dituliskan seperti di bawah ini: IF antecedent THEN consequent 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 system (Peta tingkat kerawanan longsor 2015).

2.1.5.3. Defuzzifikasi

Setelah dilakukan perhitungan pada masing-masing variabel, kombinasi variabel-variabel tersebut akan dibandingkan dengan evaluasi aturan yang telah ditetapkan, sehingga menghasilkan output tingkat kerawanan longsor. Proses terakhir ini dikenal sebagai defuzzifikasi.

Setelah proses fuzzy logic selesai, akan dihasilkan peta kerawanan tanah longsor Kabupaten Majene dengan tingkat kerawanan yang terdiri dari kategori sangat tinggi, tinggi, sedang, dan rendah.

2.1.6 Metode Center Of Area

Metode Center of Area mengadopsi metode pada Center Of Gravity/Mass asarnya mencari titik tengah suatu area dengan mempertimbangkan segala luas daerah yang dicakupnya (Arivalagan 2019) (Ardliansyah 2017).



Dalam kartografi, titik tengah atau yang disebut centroid merujuk pada titik tengah dari suatu wilayah geografis. Sebagai contoh, centroid dari wilayah kabupaten X merupakan titik yang terletak tepat di tengah-tengah wilayah kabupaten tersebut. Pusat geometri, atau centroid, juga dikenal dengan istilah center of gravity atau center of mass. Pusat geometri dari suatu area dua dimensi merupakan posisi rata-rata aritmatika dari semua titik pembatas area tersebut. Untuk menghitung luas area bentuk poligon dalam bidang datar dua dimensi (xy), dapat digunakan persamaan berikut.

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

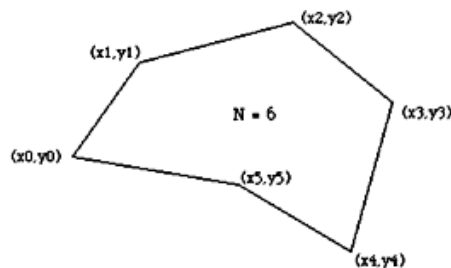
Keterangan:

A: luas area poligon

x_i : posisi titik ke-i pada poligon berdasarkan sumbu x

y_i : posisi titik ke-i pada poligon berdasarkan sumbu y

n : banyaknya titik pada polygon



Gambar 15. Area Polygon

Polygon adalah serangkaian titik yang disusun secara berurutan, berfungsi sebagai kerangka dasar dalam pemetaan. Untuk membentuk kerangka dasar ini, posisi atau koordinat dari titik-titik poligon harus diketahui atau ditentukan. Jumlah titik sampel dalam satu polygon bergantung pada luas poligon tersebut, di mana semakin besar poligon, maka semakin banyak titik simpul yang terdapat pada satu polygon. Penghitungan luas polygon memerlukan koordinat dari titik sudutnya, yang diberi nomor secara berurutan sepanjang garis poligon. Titik simpul ini (x_n, y_n) setara dengan titik simpul pertama (x_0, y_0), menghasilkan

n yang tertutup. Apabila nomor titik simpul diberikan searah jarum jam, variabel A dapat menjadi negatif, meskipun posisi koordinat pusat geometri



akan tetap benar. Pusat geometri atau titik tengah dari sebuah poligon tertutup yang terdiri dari n titik simpul dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$C_x = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i + x_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

$$C_y = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (y_i + y_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

Keterangan:

Cx: Pusat geometri poligon berdasarkan sumbu x

Cy: Pusat geometri poligon berdasarkan sumbu y (Ardliansyah 2017).

2.2. State of The Art Penelitian

Tabel state of The Art Penelitian dapat dilihat pada tabel 2.

No .	Judul Karya Ilmiah, Nama, Tahun Terbit dan Penerbit	Objek dan Permasalahan	Metode Penyelesaian	Kinerja	Korelasi <.=, >
1.	Judul: Pemetaan Daerah Rawan Tanah Longsor Menggunakan Algoritma Fuzzy Logic dan penentuan penempatan sensor longsor Penulis : Zulkifli	Objek: Tanah Longsor Kab. Majene Permasalahan: Bagaimana merancang system pemetaan daerah rawan tanah longsor dan penentuan titik-titik penempatan sensor longsor	Metode yang diusulkan adalah Algoritma Fuzzy Logic dan metode Center of Area	Kinerja topik yang diusulkan diharapkan bisa lebih baik dari penelitian sebelumnya	>



2.	Judul : Landslide susceptibility modelling using GIS-based machine learning techniques for Chongren County, Jiangxi Province, China Penulis : (Chen, Peng, et al. 2018) Tahun : 2018 Penerbit : Elsevier	Objek : Pemodelan kerawanan tanah longsor di Chongren County, Cina. Permasalahan : mengevaluasi dan membandingkan kinerja beberapa teknik Machine Learning	Metode yang digunakan adalah Bayes Net, Radical Basis Function (RBF) Classifier, Logistic Model Tree (LMT), and model Random Forest (RF)	80,6%.	<
3.	Logistics Network Optimization in Distributing Critical Medical Supplies For a Pharmaceutical Company Penulis : (Arivalagan 2019) Tahun : 2019 Penerbit : International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)	Objek : Gudang/Pusat distribusi Permasalahan : Mencari lokasi pusat distribusi yang optimal untuk mengkonsolidasikan dan memperluas jaringan logistik pada industry manufaktur dan jasa.	Metode Center Of Gravity	-	-



4.	Judul : Landslides Susceptibility Mapping Using Fuzzy Logic: A Case Study in Ponorogo, East Java, Indonesia Penulis : (Informatika 2016) Tahun : 2016 Penerbit : IEEE	Objek: Pemetaan kerawanan longsor setiap desa di wilayah Ponorogo Permasalahan : Membandingkan logika fuzzy dengan Analytical Hierarchy Process (AHP)	Algoritma Fuzzy Logic, AHP	75.8%	<
5.	Assessing the global resilience of water quality sensor placement strategies within water distribution systems Penulis : (Zhang et al. 2020) Tahun : 2020 Penerbit : Elsevier	Objek : distribusi kualitas air Permasalahan : Deteksi kontaminasi dan pemeliharaan sensor kualitas air secara efektif	Algoritma Evolusioner (EA)	Tidak ada akurasi	<



6	Judul : Integration of convolutional neural network and conventional machine learning classifiers for landslide susceptibility mapping Penulis : (Fang et al. 2020) Tahun : 2020 Penerbit : Elsevier	Objek : Tanah Longsor pada Yongxin Country, Cina Permasalahan : Bagaimana menilai kerawanan longsor dengan mengintegrasikan convolutional neural network (CNN) dengan tiga pengklasifikasi pembelajaran mesin konvensional	Deep Learning (CNN) Machine Learning (SVM, Random Forest dan Logistic Regression)	Nilai akurasi tertinggi yang dihasilkan 77,63%,	<
7.	Judul: Optimal flow sensor placement on wastewater treatment plants Penulis : (Villez, Vanrolleghem, and Corominas 2016) Tahun : 2016 Penerbit : Elsevier	Objek : Instalasi Pengolahan Air Limbah Permasalahan : Bagaimana seseorang dapat memasang sensor sedemikian rupa sehingga deteksi dan identifikasi kesalahan dapat ditingkatkan	Algoritma Deterministik	Tidak ada Akurasi	<



8.	Optimal Placement of Sensors and Actuators for Leakage Detection and Localization Penulis : (Przystalka and Moczulski 2012) Tahun : 2012 Penerbit : IFAC	Objek : jaringan distribusi air Permasalahan : menentukan titik pemasangan flow meter dan katup pereduksi untuk memperoleh informasi yang diperlukan dalam deteksi kesalahan dan lokalisasi kebocoran kecil di jaringan distribusi air.	Algoritma Genetika	Tidak ada akurasi	<
9.	Judul : Landslide Susceptibility Mapping Using GIS-Based Data Mining Algorithms Penulis : (Vakhshoori et al. 2019) Tahun : 2019 Penerbit : MDPI	Objek: longsor di national-scale catchment called Bandar Torkaman in northern Iran Permasalahan : volume data pada skala penelitian	Fuzzy Gamma (FG), binary logistic regression (BLR), backpropagation artificial neural network (BPANN), support vector machine (SVM), and C5 decision tree (C5DT)	Hasil pengujian akurasi model pelatihan 91,4% dan pengujian 88%	<
10.	Judul : Comparison of convolutional neural networks for landslide susceptibility mapping in Yanshan County, China Penulis : Fang, Fang, and Hong (2019) Tahun : 2019	Objek : longsor regional di Kabupaten Yanshan, Cina Permasalahan : Bagaimana menyajikan kerangka CNN untuk analisis kerawanan longsor	CNN, LeNet	Tidak ada akurasi	<



	Penerbit : Elsevier				
11	Sensor placement for the analysis of seismic surface waves: sources of error, design criterion and array design algorithms Penulis : (Maranò, Fäh, and Lu 2014), Tahun : 2014 Penerbit : Geophysical Journal International	Objek : Gelombang permukaan seismik Permasalahan : masalah penempatan sensor untuk analisis gelombang permukaan seismik dari getaran sekitar medan gelombang	Mixed integer program (MIP) array, Genetic algorithm (GA) array, Uniform circular array (UCA) array, Spiral array, Cross-array	Tidak ada akurasi	<
12	Judul : Landslide Susceptibility Mapping Using GIS-based Fuzzy Logic and the Analytical Hierarchical Processes Approach: A Case Study in Constantine North-East (Algeria) Penulis : (Abdi al. 2021)	Objek : zonasi kerawanan longsor dilakukan untuk wilayah urbanisasi kota Constantine di timur laut Aljazair Permasalahan : Bagaimana membandingkan dan mengevaluasi kinerja dua model	Model AHP dan Fuzzy AHP	Tidak ada akurasi	<



	Tahun : 2021 Penerbit : Geotech Geol Eng	multikriteria untuk penilaian kerawanan longsor			
13	Judul : Optimal sensors placement for flood forecasting modelling Penulis : (Fattoruso et al. 2015) Tahun : 2015 Penerbit : Elsevier	Objek : Jaringan Drainase Air Permasalahan : . bagaimana menemukan satu set lokasi sensor ketinggian air yang optimal di sepanjang jaringan drainase dengan tujuan untuk mengkalibrasi secara akurat model curah hujan- limpasan, yang umumnya digabungkan menjadi model kaskade untuk melakukan skenario peramalan banjir	Algoritma pencarian Enumeratif	Tidak ada akurasi	<



14	Judul : Combining Rainfall Parameter and Landslide Susceptibility to Forecast Shallow Landslide in Taiwan Penulis : (Lee et al. 2016) Tahun : 2016 Penerbit : SEAGS & AGSSEA	Objek : Taiwan terletak di bagian barat Samudra Pasifik, di lempeng zona batas konvergen Lempeng Laut Filipina dan Lempeng Eurasia Permasalahan : Inventarisasi longsor beberapa periode yang berisi informasi waktu kejadian, lokasi, besaran, intensitas curah hujan, akumulasi curah hujan untuk menetapkan ambang batas curah hujan untuk tanah longsor dangkal pada skala regional	Logistic Regression (LR)	Tidak ada akurasi	<
----	--	---	--------------------------	-------------------	---



15	Judul : Exploring the potential of utilizing unsupervised machine learning for urban drainage sensor placement under future rainfall uncertainty Penulis : (Li 2021) Tahun : 2021 Penerbit : Elsevier	Objek : drainase perkotaan di bawah ketidakpastian curah hujan di masa depan Permasalahan : Bagaimana mengatasi dampak perubahan curah hujan pada kinerja jaringan pemantauan sensor drainase perkotaan dalam deteksi titik panas banjir.	Machine Learning Unsupervised (Agglomerative Clustering) dan analisis statistik (ANOVA)	Tidak ada akurasi	<
16	Judul : Application of convolutional neural networks featuring Bayesian optimization for landslide susceptibility assessment Penulis : (Sameen, Pradhan, and Lee 2020) Tahun : 2020 Penerbit : Elsevier	Objek : Penilaian Kerawanan longsor pada Provinsi Yangyang Selatan, Korea Selatan Permasalahan : Mengembangkan Model untuk kerawanan longsor pada CNN dan Membandingkan kinerjanya	CNN, ANN, SVM, dan Random Forest	Akurasi tertinggi adalah 83.11%	<

Tabel 2. State Of The Art

2.3. Penelitian Terkait



Beberapa studi terkait penempatan sensor dan pemetaan daerah rawan tanah telah banyak dilakukan oleh sejumlah peneliti. Seperti :

(Chen, Zhang, et al. 2018) penelitian dengan tujuan membangun sistem pemetaan daerah rawan tanah longsor. Penelitian ini melibatkan evaluasi dan perbandingan kinerja beberapa teknik Machine Learning yang mutakhir, seperti Bayes Net, Radical Basis Function (RBF) Classifier, Logistic Model Tree (LMT), dan model Random Forest (RF), dalam memprediksi spasial longsor di wilayah Chongren, Cina. Sebanyak 222 lokasi longsor diidentifikasi dalam wilayah penelitian dengan memanfaatkan laporan sejarah, interpretasi foto udara, dan survei lapangan. Data inventarisasi longsor dibagi secara acak menjadi dua kelompok dengan perbandingan 70/30 untuk pelatihan dan validasi. Penelitian ini menggunakan 15 faktor pengkondisian longsor untuk pemodelan kerawanan longsor, di mana 155 titik longsor (70%) digunakan untuk membangun model dan 67 titik longsor lainnya (30%) digunakan untuk validasi model. Semua nilai raster dari 15 faktor pengkondisi longsor diekstraksi sebagai titik longsor dan non-longsor. Titik longsor diberi nilai 1, sementara titik non-longsor diberi nilai 0 untuk membentuk set data pelatihan dan validasi. Hasil penelitian menunjukkan nilai akurasi tertinggi sebesar 80,6%.

(Arivalagan 2019) penelitian yang mengimplementasikan metode Center Of Gravity (COG) dalam merancang jaringan distribusi untuk proyeksi perusahaan farmasi di Kerala, India. Tujuan dari metode yang digunakan adalah untuk menghasilkan titik geografis yang optimal dalam menentukan jumlah gudang yang optimal untuk distribusi produk farmasi berdasarkan data analisis dan pemodelan. Penelitian ini melibatkan 19 gudang yang tersebar di seluruh India, dengan waktu layanan maksimal 72 jam (3 hari), untuk memenuhi kebutuhan pelanggan di berbagai lokasi. Metode Center Of Gravity disimulasikan, dan pemodelan data dilakukan untuk menentukan jangkauan pelanggan yang kemudian dijabarkan dalam bentuk tabel. Alat visualisasi data digunakan untuk memetakan Distribution Center dan lokasi Pelanggan dengan memberikan ID untuk setiap node dan jalur antara Distribution Center ke lokasi pelanggan. Peta sumbu ganda digunakan untuk mendapatkan peta laba-laba sebagai alat



visualisasi data. Analisis data dasar dilakukan untuk memeriksa diagram jaringan logistik dasar, bobot yang tersebar di seluruh jaringan, serta konsentrasi pelanggan yang akan dilayani, dan metode Center Of Gravity digunakan

untuk menentukan lokasi pin untuk penempatan baru gudang atau distribusi tengah.

1. Metode Center of Gravity mengambil input dari permintaan tahunan untuk setiap kota atau node tujuan
2. Keluaran dari metode Center of Gravity akan berupa jarak tertimbang jarak kota asal dan kota tujuan terhadap bobot pada aliran tersebut.

(Informatika 2016) melakukan penelitian menggunakan logika fuzzy untuk menganalisis indeks kerawanan longsor. Penilaian kerawanan longsor digunakan sebagai dasar untuk menghasilkan peta kerawanan longsor sebagai bagian dari sistem mitigasi. Identifikasi daerah rawan longsor dilakukan dengan menerapkan metode logika fuzzy yang berfokus pada kriteria penggunaan lahan, curah hujan, sudut kemiringan lereng, geologi, dan elevasi. Tiga langkah utama dalam logika fuzzy adalah fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi. Pemetaan kerawanan longsor hasil logika fuzzy akan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan metode Analytical Hierarchy Process (AHP) dengan beberapa faktor yang serupa dengan logika fuzzy, kecuali elevasi. Hasil akurasi yang dicapai dalam penelitian ini sebesar 75,8%.

(Zhang et al. 2020) mengusulkan penelitian yang fokus pada pengembangan Algoritma Evolusioner (EA) secara sistematis dan efisien untuk strategi penempatan sensor kualitas air (WQSPS). Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi kejadian kontaminasi dan memantau parameter kualitas air, seperti tingkat residu klorin. Metode ini mempertimbangkan semua potensi kegagalan sensor untuk memastikan keamanan sistem distribusi air (WDS). Melalui pengujian yang dilakukan, metode EA yang diusulkan terbukti efektif dan efisien dalam mengidentifikasi nilai-nilai metrik ketahanan global terhadap tingkat kegagalan sensor, dibandingkan dengan metode TGRA yang umumnya digunakan dalam WDS dengan jumlah sensor yang besar.

(Fang et al. 2020) melakukan penelitian dengan tujuan menilai kerawanan tanah longsor dan menyajikan perspektif yang berbeda dengan mengintegrasikan



lutional Neural Network (CNN) dengan tiga pengklasifikasi Machine learning konvensional, yaitu Support Vector Machine (SVM), Random Forest dan Logistik Regresi (LR) untuk pemetaan kerawanan tanah longsor di

Yongxin Country, Cina. CNN digunakan dalam pemrosesan gambar untuk ekstraksi fitur, dan fitur yang diekstraksi dari CNN dikembangkan untuk meningkatkan kinerja metode klasifikasi Machine Learning yang sudah ada secara efektif. Untuk mengevaluasi efektivitas metode hibrida yang diusulkan, beberapa ukuran objektif digunakan untuk perbandingan dengan pengklasifikasi Machine Learning konvensional. Hasil pengujian menunjukkan nilai Overall Accuracy (OA) dari CNN-2D sebesar 77,63%, LeNet-5 sebesar 73,25%, DNN sebesar 71,05%, dan SVM sebesar 70,18%.

(Villez, Vanrolleghem, and Corominas 2016) melakukan penelitian yang berfokus pada serangkaian sensor yang dipasang pada instalasi pengolahan air limbah. Perhatian khusus diberikan pada cara optimal dalam memasang sensor untuk meningkatkan deteksi dan identifikasi kesalahan. Penelitian ini menggunakan optimisasi deterministik untuk mengevaluasi tata letak sensor optimal Pareto. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode optimisasi yang diusulkan mampu memberikan solusi secara cepat dan dapat diterapkan pada semua konfigurasi instalasi tanpa memerlukan pengumpulan data sebelumnya atau spesifikasi karakteristik sensor.

(Przystałka and Moczulski 2012) melakukan penelitian yang membahas metode untuk menentukan lokasi pemasangan flow meter dan katup pereduksi. Fokus penelitian ini adalah mencari posisi optimal untuk mendapatkan informasi yang diperlukan guna deteksi kesalahan dan lokalisasi kebocoran kecil di jaringan distribusi air. Metode yang digunakan berdasarkan pada pencarian mendalam dan algoritma genetika, serta didasarkan pada desain eksperimen yang optimal. Metode ini dapat diterapkan dalam praksis untuk sistem pasokan air berskala besar dengan lebih dari seratus ribu pelanggan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode yang diusulkan berhasil mengonfirmasi dan mengelola zona pengelolaan distrik jaringan distribusi air dengan benar dan efektif.

(Vakhshoori et al. 2019) melakukan penelitian dengan tujuan menerapkan algoritma data mining untuk menghasilkan peta kerawanan longsor dari

rent skala nasional yang disebut Bandar Torkaman di bagian utara Iran. e Data Mining tingkat lanjut, yaitu normalized frequency-ratio unique ion units (NFUC), digunakan untuk mengurangi volume data pada skala



penelitian ini. Dengan menggunakan teknik ini, algoritma data mining seperti fuzzy gamma (FG), binary logistic regression (BLR), backpropagation artificial neural network (BPANN), support vector machine (SVM), dan C5 decision tree (C5DT) diterapkan. Dataset yang diperlukan untuk pemetaan kerawanan longsor dibagi menjadi dua kelompok, yaitu peta inventarisasi longsor dan faktor penyebab (termasuk faktor pengkondisian dan pemicu tanah longsor). Dalam penelitian ini, sekitar 80% dari titik longsor (344 titik) dipertimbangkan untuk pemodelan, sementara 20% sisanya (87 titik) digunakan untuk validasi peta yang dihasilkan. Pada tahap implementasi, sekitar 275 titik longsor (64% dari semua longsor di wilayah studi) dianggap sebagai dataset pemodelan, sedangkan sisa titik longsor digunakan untuk pengujian dan validasi model dalam dua fase terpisah. Untuk menerapkan metode machine learning seperti BPANN dan SVM, konversi data dari format raster ke file teks yang dapat dibaca oleh perangkat lunak statistik diperlukan. Proses ini dilakukan menggunakan perangkat lunak ArcGIS, meskipun memakan waktu lama dan tidak praktis untuk komputer standar karena jumlah piksel yang sangat besar (sekitar 12.881.000 piksel). Masalah ini diatasi dengan mengurangi jumlah piksel melalui pembesaran ukuran piksel. Hasil pengujian menunjukkan akurasi model pelatihan sebesar 91,4%, sementara pengujian mencapai 88%.

(Wang, Fang, and Hong 2019) melakukan penelitian dengan tujuan menyajikan kerangka Convolutional Neural Network (CNN) untuk menganalisis kerawanan longsor regional di Kabupaten Yanshan, Cina. Terdapat dua kontribusi utama dari penelitian ini. Pertama, penelitian ini menggunakan kerangka CNN untuk pertama kalinya dalam pemetaan Kerawanan Longsor (LSM), mengeksplorasi kemampuan prediksi CNN yang kuat dan memberikan informasi yang berarti untuk penelitian lebih lanjut. Kedua, dikembangkan algoritma representasi data yang berbeda untuk membangun tiga arsitektur CNN baru agar sesuai dengan proses prediksi longsor. Untuk menilai efektivitas CNN, digunakan beberapa ukuran akurasi yang umum digunakan, seperti akurasi keseluruhan (OA) dan

ien korelasi Matthews (MCC).

nò, Fäh, and Lu 2014) membahas pengukuran gelombang permukaan k dengan cara menyebarluaskan seismometer di permukaan bumi.



Tujuannya adalah untuk mengukur dan memperkirakan kecepatan propagasi serta arah datangnya gelombang seismik. Fokus utama penelitian ini adalah pada masalah penempatan sensor dalam analisis gelombang permukaan seismik yang disebabkan oleh getaran di sekitar medan gelombang. Makalah ini memberikan tiga kontribusi utama, yaitu:

1. Dengan ketat menghubungkan geometri array dan kesalahan dalam estimasi parameter, kami mendemonstrasikan bagaimana bentuk Laplace-Fourier rata-rata terkait dengan posisi sensor melalui pola sampling yang diubah Fourier.
2. Menyarankan kriteria desain kuantitatif untuk meningkatkan kinerja estimasi waktu melalui penempatan sensor. Dengan merumuskan kembali dan melemahkan masalah optimasi yang diajukan, kami juga mengusulkan algoritma desain array praktis berdasarkan Mixed Integer Program (MIP) dengan fungsi tujuan linier dan kendala linier. Algoritma penempatan sensor yang diusulkan menghasilkan array dengan geometri reguler sederhana, sehingga cocok untuk medan penyebaran.
3. Kami melakukan perbandingan antara algoritma penempatan sensor yang diusulkan dengan beberapa teknik optimasi lainnya, baik dari segi desain array maupun kinerja estimasi. Melalui eksperimen numerik, kami menunjukkan bagaimana kinerja estimasi dapat ditingkatkan dengan menerapkan kriteria dan algoritma desain array yang diusulkan.

(Abdi et al. 2021). Tujuan utama dari penelitian ini adalah membandingkan dan mengevaluasi kinerja dua model multikriteria untuk penilaian kerawanan longsor di Constantine, timur laut Aljazair. Pembuatan peta kerawanan longsor dilakukan dengan menggunakan Analytical Hierarchy Process (AHP) dan Fuzzy AHP (FAHP) melalui dua belas faktor pengkondisian longsor, yaitu gradien lereng, litologi, tutupan lahan, jarak dari jaringan drainase, jarak dari jalan raya, jarak dari sesar, indeks kebasahan topografi, indeks kekuatan aliran, kelengkungan lereng, Indeks Vegetasi Selisih Normalisasi, aspek kemiringan,

elevasi. Dalam penelitian ini, kedua model tersebut digunakan untuk dapatkan nilai bobot dari faktor-faktor pengkondisian tersebut.



(Fattoruso et al. 2015) Dalam penelitian ini, metodologi desain pengambilan sampel yang optimal telah diselidiki dan dikembangkan untuk sistem drainase air yang bertujuan untuk pemodelan prakiraan banjir. Metodologi desain pengambilan sampel optimal yang diselidiki, bertujuan untuk pemodelan prakiraan banjir, telah diterapkan pada jaringan drainase Amato, sebuah cekungan drainase yang terletak di Calabria (Italia Selatan). Jaringan drainase ini merupakan daerah percontohan dalam proyek R&D Nasional yang bernama AQUASYSTEM, diusulkan dalam smart city and communities dan sosial inovasi Kerangka Program. Proyek AQUASYSTEM bertujuan untuk menyelidiki dan mengembangkan teknologi serta prosedur inovatif untuk meningkatkan layanan prakiraan, peringatan, dan pengelolaan banjir. Pada penelitian ini, langkah-langkah yang dilakukan yaitu: Identifikasi jenis sensor yang akan dipasang di sepanjang jaringan drainase Amato, Pembangunan model jaringan, Pemilihan parameter model yang tidak pasti, Definisi kisaran variasi parameter yang tidak pasti, dan Penerapan prosedur optimasi desain sampling.

(Lee et al. 2016). Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi kerusakan dan mencegah hilangnya nyawa akibat bahaya geologi. Studi ini mengumpulkan inventarisasi longsor dari beberapa periode, yang berisi informasi waktu kejadian, lokasi, besaran, intensitas curah hujan, dan akumulasi curah hujan untuk menetapkan ambang batas curah hujan untuk daerah dangkal longsor skala regional. Konsep matriks bahaya diterapkan dalam penelitian ini, menggabungkan besaran (rasio longsor dari satuan kemiringan) dan kemungkinan terjadinya (catatan sejarah bencana) untuk menetapkan ambang batas peringatan dini. Dengan demikian, curah hujan kritis ambang batas dibangun berdasarkan R24 (24 jam curah hujan terakumulasi) dan I3 (intensitas curah hujan rata-rata 3 jam) dari catatan sejarah. Hasil validasi menunjukkan bahwa model dapat memprediksi kemungkinan bahaya sedimen di lereng bukit 2-9 jam sebelum terjadinya longsor.



2021) Penelitian ini mengusulkan suatu metode inovatif yang gabungan Agglomerative Clustering (AC) dan Analisis Statistik Varians (VA) untuk meningkatkan adaptabilitas jaringan dalam penempatan

sensor guna mendeteksi banjir akibat drainase air hujan. Metode yang diusulkan diterapkan pada sistem drainase perkotaan yang terletak di Salt Lake City, Utah, AS. Berdasarkan analisis dan hasil, dapat disimpulkan sebagai berikut: Algoritma AC, dengan jumlah cluster yang optimal, mampu efektif dalam menentukan jumlah sensor dan Uji Tukey ANOVA memiliki peran krusial dalam menetapkan lokasi sensor pada tingkat persimpangan tertentu. Sensor dipasang bersamaan di bagian hilir, terutama pada lokasi urban dengan sistem drainase yang kurang baik, yang secara menyeluruh mencakup area yang rawan terhadap banjir. Penelitian ini membatasi pertimbangan hanya pada variasi ketinggian air sebagai elemen desain jaringan pemantauan.

Penelitian ini mendalami ketidakpastian terkait dampak curah hujan pada strategi penempatan sensor guna memonitor ketinggian air anomali dan mendeteksi peristiwa banjir. Sejalan dengan perubahan pola curah hujan yang diakibatkan oleh perubahan iklim, jumlah sensor dapat ditingkatkan dari 3 menjadi 4. Selanjutnya, sensor dapat dipindahkan secara fleksibel untuk menyesuaikan diri dengan kondisi aktual curah hujan yang terjadi.

(Sameen and Pradhan 2019) melakukan penelitian untuk meningkatkan penilaian kerawanan longsor menggunakan teknik berbasis deep learning di Provinsi Yangyang Selatan, Korea Selatan. Mereka menggunakan jaringan konvolusi satu dimensi (1D-CNN) dan optimasi Bayesian sebagai pendekatan utama. Deep learning, yang terbukti efektif dalam berbagai aplikasi penginderaan jauh, seperti klasifikasi, deteksi objek, dan pemilihan fitur, diadopsi dalam penelitian ini. Mengingat CNN melibatkan sejumlah hyperparameter yang perlu diolah, optimasi Bayesian digunakan untuk mencari nilai optimalnya. Performa model yang dikembangkan dibandingkan dengan model Artificial Neural Network (ANN) dan Support Vector Machine (SVM). Hasil pengujian menunjukkan bahwa model CNN mencapai akurasi tertinggi pada dataset pengujian, mencapai 83,11%.

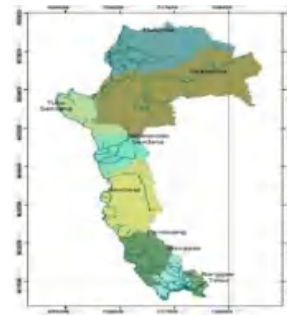


2.4. Metode Yang Diusulkan

Dalam proses pengolahan peta, langkah awalnya adalah mengolah peta Digital Elevation Model (DEM) Sulawesi Barat. Peta ini kemudian di-crop pada wilayah Kabupaten Majene, yang merupakan objek penelitian. Peta Kabupaten Majene tersebut memiliki dimensi 1.774 x 1.196 piksel dengan ukuran file sebesar 469 KB. Sistem yang akan dibuat membutuhkan input dalam bentuk data raster atau peta dalam format matriks ASCII. Oleh karena itu, dilakukan konversi peta menggunakan aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG), dan pada penelitian ini, digunakan ArcGIS. Proses konversi ini dilakukan untuk mendapatkan data dalam format ASCII dan juga format gambar JPEG. Peta 3D awal dikonversi ke dalam format ASCII (asc), yang merepresentasikan data raster berdasarkan nilai ketinggian daerah, dan ke dalam format gambar JPEG untuk memberikan tampilan visual dari peta (Effendi and Hariyanto 2016b).



a. Peta DEM Sulawesi Barat



b. Peta DEM Kabupaten Majene



```
ncols      583
nrows      383
xllcorner  160991.781
yllcorner  9407358.000
cellsize   92.36930455047920000
NODATA value -9999
-9999.00 -9999.00 -9999.00
-9999.00 -9999.00 -9999.00
-9999.00 -9999.00 -9999.00
-9999.00 -9999.00 -9999.00
-9999.00 -9999.00 -9999.00
-9999.00 -9999.00 -9999.00
-9999.00 -9999.00 -9999.00
-9999.00 -9999.00 -9999.00
```

c. Kabupaten Majene (ASCII)



Gambar 16. Konversi peta DEM (Raster ke ASCII)

Penelitian yang diusulkan terdiri dari 3 tahap yaitu :

a. Tahap pertama

Melibatkan identifikasi daerah rawan tanah longsor di Kabupaten Majene menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). Dalam tahap ini, skala angka ditentukan, dan wilayah tersebut dibagi menjadi piksel-piksel dalam bentuk raster untuk mencapai resolusi yang lebih detail. Setiap piksel memiliki ukuran yang seragam, dan di dalamnya terdapat data atau nilai berdasarkan parameter/faktor kondisi penyebab tanah longsor, seperti kemiringan lereng (slope), ketinggian lereng, jarak ke jalan raya, curah hujan, tutupan lahan, dan jenis tanah. Jumlah total piksel untuk seluruh area atau wilayah tersebut dihitung, dan data ini akan menjadi input untuk proses fuzzy logic selanjutnya.

Proses Fuzzifikasi merujuk pada tahap dalam sistem kontrol dimana nilai-nilai input yang bersifat tegas (crisp input) dari sistem yang diatur dipetakan ke dalam himpunan fuzzy menggunakan fungsi keanggotaan. Setiap nilai crisp input dikaitkan dengan himpunan fuzzy melalui fungsi keanggotaan yang telah ditentukan sebelumnya. Proses ini bertujuan menghasilkan variabel input dalam bentuk fuzzy yang akan digunakan pada langkah-langkah berikutnya dalam pengolahan data fuzzy. Tahap ini melibatkan penetapan fungsi keanggotaan untuk setiap nilai crisp input, dan selanjutnya, proses fuzzyfikasi mengonversi nilai-nilai crisp input ke dalam nilai-nilai fuzzy sesuai dengan fungsi keanggotaannya. (Effendi and Hariyanto 2016b)

Pada tahap inference, dilakukan pengolahan hubungan antara nilai-nilai input yang bersifat tegas (crisp input) dengan nilai-nilai output yang diinginkan menggunakan aturan-aturan (rules). Aturan-aturan ini menjadi dasar untuk menentukan respons atau tanggapan sistem terhadap berbagai kondisi, baik setting point maupun gangguan yang terjadi pada sistem. Struktur aturan tersebut umumnya berbentuk "IF antecedent THEN consequent," di mana bagian antecedent menyatakan kondisi input dan

bagian consequent menunjukkan tindakan atau hasil yang dihasilkan. Tahap inference ini bertujuan untuk menghasilkan output fuzzy berdasarkan kumpulan aturan yang telah ditentukan.

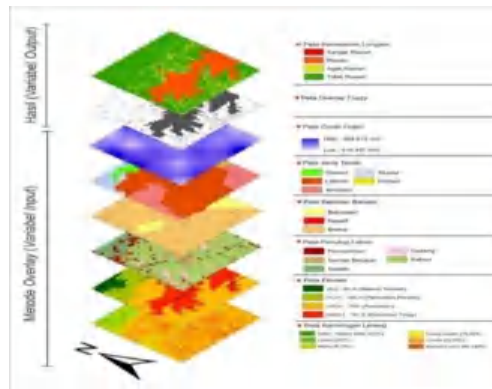


Tahap Defuzzifikasi, setelah dilakukan perhitungan untuk masing-masing variabel dan mendapatkan kombinasi variabel-variabel tersebut, proses selanjutnya adalah membandingkan kombinasi tersebut dengan evaluasi aturan yang telah ditentukan. Hasil dari perbandingan ini akan menghasilkan output tingkat kerawanan tanah longsor. Tahap defuzzifikasi bertujuan untuk mengubah nilai fuzzy yang diperoleh dari tahap inference menjadi nilai tegas atau crisp yang dapat digunakan sebagai hasil akhir atau output sistem. Proses ini melibatkan pemilihan nilai tegas yang paling sesuai dengan nilai fuzzy yang telah dihasilkan, sehingga memberikan informasi yang lebih jelas dan konkret terkait tingkat kerawanan tanah longsor di Kabupaten Majene.

b. Tahap kedua

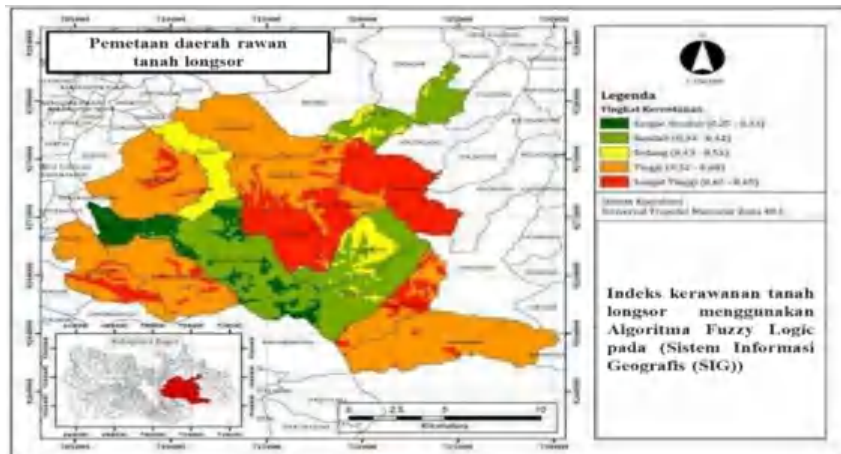
Melibatkan analisis untuk mendapatkan peta yang tumpang tindih atau di-overlay pada masing-masing parameter yang relevan. Analisis ini bertujuan untuk menghasilkan pemetaan tingkat kerawanan tanah longsor dengan menggabungkan informasi dari berbagai parameter. Hasil overlay ini akan menghasilkan peta kerawanan tanah longsor dengan penentuan indeks kerawanan, yang biasanya dibagi menjadi empat kategori: sangat tinggi, tinggi, sedang, dan rendah. Data dari parameter seperti kemiringan, ketinggian lereng, jarak ke jalan, curah hujan, tutupan lahan, dan jenis tanah akan digabungkan dan dievaluasi bersama-sama. Proses overlay ini membantu mengidentifikasi area yang memiliki tingkat kerawanan yang berbeda-beda, kemudian memberikan kategori indeks kerawanan sesuai dengan analisis yang telah dilakukan. Hasil dari tahap ini adalah peta kerawanan tanah longsor dengan penandaan kategori tingkat kerawanan, yang dapat memberikan gambaran visual yang lebih komprehensif tentang area-area yang rentan terhadap tanah longsor di Kabupaten Majene.





Gambar 17. Overlay

Oleh karena itu, keluaran yang diinginkan dari sistem pemetaan daerah rawan tanah longsor yang menggunakan algoritma Fuzzy Logic adalah peta kerawanan tanah longsor yang memiliki indeks tingkat kerawanan yang terbagi dalam kategori-kategori seperti sangat tinggi, tinggi, sedang, dan rendah. Seperti pada gambar berikut :



Gambar 18. Pemetaan daerah rawan longsor Kab. Majene

c. Tahap Ketiga

Berdasarkan pemetaan daerah rawan tanah longsor yang telah disusun, dilakukan seleksi terhadap luas setiap pola piksel dengan mengacu pada indeks kerawanan, seperti tingkat sangat tinggi dan tinggi. Selanjutnya, hasil seleksi tersebut diubah menjadi bentuk polygon untuk mempermudah analisis lebih lanjut dalam menentukan lokasi penempatan sensor. Proses berikutnya melibatkan perhitungan luas area dari setiap polygon, dan setelah itu, tentukan titik tengah menggunakan metode Center of Area (COA).



Berdasarkan evaluasi hasil pemetaan daerah rawan tanah longsor dan simulasi penempatan sensor longsor yang tergambar pada gambar berikut:



Gambar 19. Penentuan titik-titik penempatan sensor

Proses penempatan sensor dilakukan secara berulang dengan menggunakan pendekatan yang sama di area lainnya. Melalui langkah-langkah ini, akan dihasilkan serangkaian peta kerawanan tanah longsor di berbagai bagian Kabupaten Majene, termasuk penentuan posisi strategis sensor. Informasi yang terkandung dalam peta ini dapat memberikan pandangan menyeluruh mengenai tingkat risiko tanah longsor di seluruh wilayah, dan penempatan sensor yang optimal dapat berkontribusi dalam pemantauan dan pengurangan risiko tanah longsor di Kabupaten Majene.

2.5. Target Hasil Penelitian

Berdasarkan tabel State Of The Art, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pemetaan daerah rawan tanah longsor dengan menggunakan algoritma fuzzy logic. Target utama dari penelitian ini adalah menghasilkan peta kerawanan tanah longsor dengan klasifikasi indeks kerawanan tingkat sangat tinggi, tinggi, sedang, dan rendah. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan titik-titik penempatan sensor dengan melakukan penyeleksian luas area pada setiap pola pixel berdasarkan indeks kerawanan yang telah diklasifikasikan. Proses penentuan titik tengah pada setiap pola pixel dilakukan menggunakan metode Center of Area. Identifikasi jenis sensor, jarak sensitivitas, dan jumlah sensor juga merupakan ek penting dalam penelitian ini. Proses penempatan sensor akan diulang uk area lainnya, sehingga pada akhirnya akan dihasilkan peta kerawanan

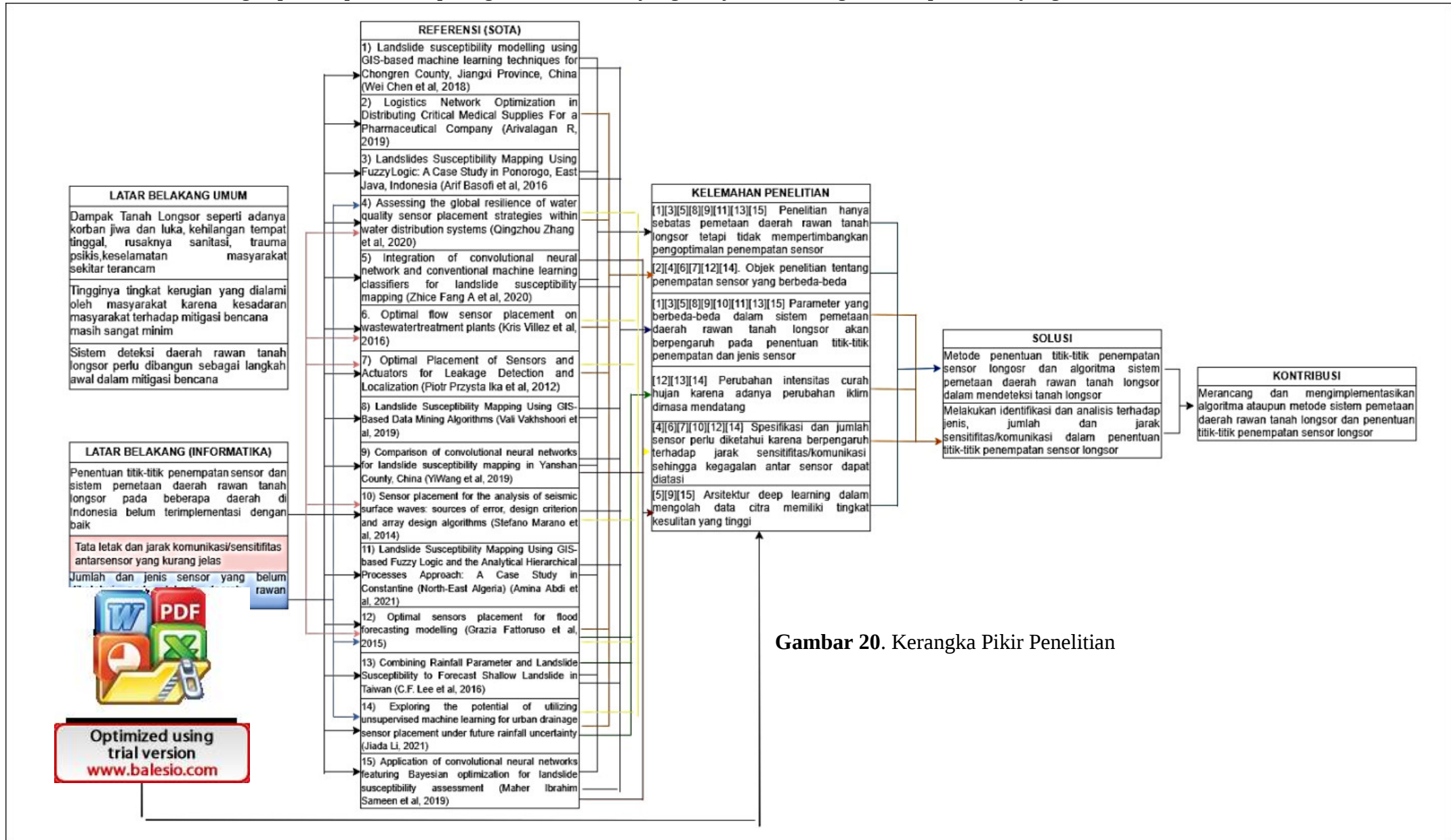


tanah longsor di Kabupaten Majene beserta dengan penentuan optimal titik-titik penempatan sensor.



2.6.Kerangka Pikir

Kerangka pikir dapat dilihat pada gambar dibawah, yang menjelaskan mengenai alur penelitian yang akan dilakukan.



Gambar 20. Kerangka Pikir Penelitian