

SKRIPSI

**ANALISIS SPASIAL GEOMORFOLOGI DI SEKITAR TPA
TAMANGAPA SEBAGAI PENENTUAN POTENSI TITIK
PENYEBARAN AIR LINDI**

Disusun dan diajukan oleh:

**ULTAPRI EDDY SOFYAN
D131 18 1513**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS SPASIAL GEOMORFOLOGI DI SEKITAR TPA TAMANGAPA SEBAGAI PENENTUAN POTENSI TITIK PENYEBARAN AIR LINDI

Disusun dan diajukan oleh

Ultapri Eddy Sofyan
D131181513

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 13 Juni 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Eng. Ibrahim Djamaluddin, S.T., M.Eng.
NIP 197512142015041000

Pembimbing Pendamping,



Dr. Eng. Irwan Ridwan Rahim, S.T., M.T.
NIP 19721119200121001

Ketua Departemen Teknik Lingkungan,



Dr. Eng. Ir. Muralia Hustim, S.T., M.T.
NIP 197204242000122001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : Ultapri Eddy Sofyan
NIM : D131181513
Program Studi : Teknik Lingkungan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{ Analisis Spasial Geomorfologi Di Sekitar TPA Tamangapa Sebagai Penentuan
Potensi Titik Penyebaran Air Lindi }

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

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

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

Gowa, 6 Mei 2023

Yang Menyatakan



Ultapri Eddy Sofyan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wata'ala karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga bisa menyelesaikan dan Menyusun tugas akhir dengan judul “Analisis Spasial Geomorfologi di Sekitar TPA Tamangapa Sebagai Penentuan Potensi Titik Penyebaran Air Lindi”. Shalawat serta salam penulis curahkan kepada Rasulullah SAW, yang telah mengantar umat manusia dari masa kegelapan menuju masa yang terang benderang.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada jenjang Stara-1 Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari banyak kesulitan yang dihadapi selama penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan bimbingan, nasihat dan doa dari segala pihak, membuat penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini.

Ucapan terima kasih sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada kedua orang tua penulis yakni Bapak Ir. H. Sofyan Tibo dan Ibu Hj. Sitti Dahniar Hasan yang telah memberikan doa, kasih sayang, dukungan moral dan materi sejak dulu yang tidak pernah berubah sedikit pun dan sebagainya yang tidak bisa penulis ungkapkan semuanya. Pada kesempatan ini pula, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T. dan Bapak Prof. Baharuddin hamzah, S.T., M.T., M.Arch selaku Dekan dan Wakil Dekan 1 Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Dr. Eng. Ir. Ibrahim Djamaluddin, S.T., M. Eng, selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan arahan dan bimbingan kepada saya.

5. Bapak Dr. Eng. Irwan Ridwan Rahim, S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing II yang senantiasa meluangkan waktunya untuk memberikan arahan dan bimbingan kepada saya.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Bapak Andang Suryana Soma, S.Hut., M.SI., Ph.D. yang senantiasa memberikan ilmu terkait pengambilan dan pemrosesan data foto udara.
8. Seluruh staff dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, terkhusus Ibu Sumi, Kak Tami dan Kak Olan yang telah sabar membantu penulis dalam proses administrasi.
9. Seluruh Asisten Laboratorium Pengelolaan DAS Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin yang telah memberikan arahan terkait pengolahan data foto udara.
10. Transisi 2019 atas segala momen yang telah dilakukan bersama selama masa perkuliahan.
11. Teman-teman Environmental 2018 atas segala momen yang telah diciptakan bersama selama masa perkuliahan.
12. Teman-teman Asisten 2018 Laboratorium Ilmu Ukur Tanah yang telah berbagi ilmu dan pengalaman.
13. G3 yang telah menjadi ruang diskusi tentang dinamika kehidupan kampus.
14. Opziz sebagai ruang diskusi tentang analogi dan kausalitas selama masa perkuliahan.
15. Akata sebagai ruang ekspresi bersama tentang lingkungan dan segala hal disekitarnya.
16. Kanda-kanda senior serta adik-adik yang telah membantu selama masa perkuliahan.
17. Sisiilusi sebagai ruang imajinasi tentang ide, konsep, makna, persepsi, ilusi dan nalar tentang segala hal.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
KATA PENGANTAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Definisi Air	6
2.2 Siklus Hidrologi	6
2.3 Air Permukaan	6
2.3.1 Air sungai.....	7
2.3.2 Air rawa/danau.....	7
2.4 Kualitas Air	8
2.5 Definisi Sampah.....	9
2.6 Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah	10
2.7 Air Lindi.....	11
2.8 Pencemaran Air Oleh Lindi	12
2.9 Geomorfologi	13
2.9.1 Pendekatan Morfografi	15

2.9.2 Pendekatan Morfometri	15
2.10 Fotogrametri	17
2.11 <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> (UAV).....	21
2.12 Sistem Informasi Geografis.....	23
2.13 <i>Software</i> Agisoft Metashape	23
2.14 Software ArcGIS	24
2.15 Penelitian Terdahulu	26
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	32
3.1 Rancangan Penelitian	32
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian	34
3.3 Benda Uji dan Alat.....	34
3.4 Pelaksanaan Penelitian	37
3.5 Teknik Pengumpulan Data.....	38
3.6 Teknik Analisis	41
3.7 Populasi dan Sampel	42
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Pemrosesan Data Foto Udara	43
4.2 Analisis Spasial Geomorfologi	51
4.2.1 Perbaikan Data DEM.....	51
4.2.2 Analisis Kontur	53
4.2.3 Analisis Kemiringan Lereng.....	54
4.2.4 Analisis Tutupan Lahan	58
4.3 Analisis Arah Aliran Air Permukaan	60
4.4 Analisis Potensi Titik Penyebaran Air Lindi	69
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	72
5.1 Kesimpulan	72
5.2 Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN.....	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Geomorfometri proses dalam ekstraksi data primer lahan permukaan dari DEM.....	14
Gambar 2. Konsep Dasar Fotogrametri	18
Gambar 3. <i>Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Tipe Rotary Wings</i>	22
Gambar 4. Menentukan arah air mengalir melalui masing-masing pixel	25
Gambar 5. Diagram Alir Penelitian	33
Gambar 6. Lokasi penelitian	34
Gambar 7. Drone DJI Phantom 4 RTK.....	35
Gambar 8. Laptop Hp Pavilion 15	35
Gambar 9. <i>Software</i> Google Earth Pro.....	36
Gambar 10. <i>Software</i> Agisoft Metashape Professional.....	36
Gambar 11. <i>Software</i> ArcGIS 10.8	37
Gambar 12. Jalur Terbang Drone.....	38
Gambar 13. Tampilan <i>Software</i> RedToolBox.....	39
Gambar 14. Tampilan <i>Software</i> Agisoft Metashape	40
Gambar 15. Tampilan <i>Software</i> ArcGIS 10.8.....	41
Gambar 16. <i>Build Align Photos</i>	43
Gambar 17. Hasil <i>Align Photos</i>	44
Gambar 18. Proses <i>Build Dense Cloud</i>	44
Gambar 19. Hasil <i>Build Dense Cloud</i>	45
Gambar 20. <i>Build Mesh</i>	45
Gambar 21. Hasil <i>Build Mesh</i>	46
Gambar 22. <i>Build Texture</i>	46
Gambar 23. Hasil <i>Build Texture</i>	47
Gambar 24. <i>Build DSM</i>	47
Gambar 25. Hasil <i>Build DSM</i>	48
Gambar 26. <i>Build DEM</i>	48
Gambar 27. Hasil <i>Build DEM</i>	49
Gambar 28. <i>Build Orthomosaic</i>	49
Gambar 29. Hasil <i>Build Orthomosaic</i>	50

Gambar 30. <i>Export DEM</i>	50
Gambar 31. <i>Export Orthophoto</i>	51
Gambar 32. Lokasi Pengambilan Profil	52
Gambar 33. Profil hasil data DEM sebelum dan sesudah dilakukan koreksi <i>Fill</i>	52
Gambar 34. Peta Analisis Kontur di Sekitar TPA Tamangapa	53
Gambar 35. Profil Melintang TPA Tamangapa	54
Gambar 36. Hasil Data Tipe Relief	55
Gambar 37. Hasil Kemiringan Lereng (%)	55
Gambar 38. Hasil Data Klasifikasi <i>Slope</i>	57
Gambar 39. Hasil Data Kemiringan Lahan (%)	57
Gambar 40. Peta Analisis Tutupan Lahan	58
Gambar 41. Citra Satelit di Sekitar TPA Tamangapa tahun 2006	59
Gambar 42. Citra Satelit di Sekitar TPA Tamangapa tahun 2007	59
Gambar 43. Data DEM	60
Gambar 44. Hasil Data <i>Fill</i>	61
Gambar 45. Hasil Data <i>Flow Direction</i>	61
Gambar 46. Hasil Data <i>Resample</i>	62
Gambar 47. Hasil Data <i>Raster To Point</i>	62
Gambar 48. Hasil Data <i>Point To Arrow Flow Direction</i>	63
Gambar 49. Hasil Data <i>Final Flow Direction & Kontur</i>	63
Gambar 50. Peta Arah Aliran di sekitar TPA Tamangapa	65
Gambar 51. Peta Arah Aliran Area TPA Tamangapa	65
Gambar 52. Peta Arah Aliran Area Danau	66
Gambar 53. Hasil Analisis Muka Air Tanah Data Sekunder	67
Gambar 54. Arah aliran air tanah di sekitar TPA Tamangapa	68
Gambar 55. Peta Analisis Potensi Titik Penyebaran Air Lindi	71

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Tipe relief berdasarkan beda tinggi dan lereng majemuk	17
Tabel 2. Studi Penelitian Terdahulu	26
Tabel 3. Hasil arah aliran pada tiap pixel di sekitar TPA Tamangapa.....	64
Tabel 4. Hasil arah aliran pada tiap pixel di area TPA Tamangapa.....	66
Tabel 5. Hasil arah aliran pada tiap pixel di area danau	67
Tabel 6. Data Muka Air Tanah (Data Sekunder)	69
Tabel 7. Tabel Prioritas Potensi Titik Penyebaran Air Lindi.....	69
Tabel 8. Koordinat Potensi Titik Penyebaran Air Lindi	70

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
BOD	<i>Biological Oxygen Demand</i>
COD	<i>Chemical Oxygen Demand</i>
TSS	<i>Total Suspended Solid</i>
Km	Kilometer
TPA	Tempat Pembuangan Akhir
ha	Hektar
Fe	Besi
Mn	Mangan
O ₂	Oksigen
pH	Derajat Keasaman
TOC	<i>Total Organic Carbon</i>
PAHs	<i>Polycyclic Aromatic Hydrocarbons</i>
FML	<i>Flexible Membrane Liner</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
3D	3 Dimensi
D8	<i>Direction 8</i>
SIG	Sistem Informasi Geografis
DEM	<i>Digital Elevation Model</i>
DTM	<i>Digital Terrain Model</i>
DSM	<i>Digital Surface Model</i>
TIN	<i>Triangulated Irregular Network</i>
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
UAS	<i>Unattended Air System</i>
RPA	<i>Remotely Piloted Aircraft</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
ESRI	<i>Environment Science & Research Institue</i>
RTK	<i>Real Time Kinematic</i>
PPK	<i>Post Processed Kinematic</i>
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi.....	77
Lampiran 2. Report	88

ABSTRAK

ULTAPRI EDDY SOFYAN. *Analisis Spasial Geomorfologi Di Sekitar TPA Tamangapa Sebagai Penentuan Potensi Titik Penyebaran Air Lindi* (dibimbing oleh Ibrahim Djamaluddin dan Irwan Ridwan Rahim)

Masalah pengolahan lindi di TPA sangat berpengaruh terhadap kualitas sumber air di sekitar yang dapat mencemari lingkungan, seperti tercemarnya air permukaan. TPA Tamangapa memiliki pengolahan lindi yang mengalami penyumbatan sehingga aliran lindi dari TPA langsung mengalir ke danau.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pola spasial geomorfologi di sekitar TPA Tamangapa, arah aliran air permukaan di sekitar TPA Tamangapa, serta potensi titik penyebaran air lindi di sekitar TPA Tamangapa.

Penelitian ini menggunakan metode pengumpulan data fotogrametri dan teknik analisis spasial berbasis SIG untuk mempertimbangkan aspek geomorfologi dan arah aliran air permukaan sebagai penentuan potensi titik penyebaran air lindi di sekitar TPA Tamangapa.

Hasil analisis data DEM memiliki rentang nilai elevasi 56,918 m - 89,360 m. Persentase sudut lereng di sekitar TPA Tamangapa memiliki 7 klasifikasi yaitu 0-2% di area danau, 3-7% di area pemukiman sekitar danau, 8-13% di area tepi danau, 14-20% di tepi danau dari TPA, 21-55% area TPA, 56-140% di tepi area puncak yang memanjang dari sisi utara, timur hingga selatan TPA. Tutupan lahan TPA seluas 12,3 ha, danau 34,6 ha, vegetasi 4 ha, pemukiman 1,6 ha, lahan terbuka 3,4 ha dan jalan 1.163 m. Adapun arah aliran arah selatan 21%, arah utara 17% arah timur 15%, serta arah barat 15%. Sedangkan hasil analisis spasial menghasilkan 11 titik, dimana titik 1 dan 2 pada sisi selatan TPA, titik 3, 4, 5, 6 pada sisi timur memanjang ke arah timur laut TPA, titik 7 pada sisi utara, titik 8 dan 9 pada sisi timur laut danau, titik 10 pada bagian tengah danau sedangkan titik 11 pada sisi timur danau.

Kata Kunci: DEM, Geomorfologi, SIG

ABSTRACT

ULTAPRI EDDY SOFYAN. *Geomorphological Spatial Analysis Around TPA Tamangapa as Determination of Potential Leachate Spreading Points* (supervised by Ibrahim Djamaluddin and Irwan Ridwan Rahim)

The leachate treatment problem at the landfill greatly affects the quality of the surrounding air sources which can pollute the environment, such as polluted surface air. Tamangapa landfill has a leachate treatment that is blocked so that leachate from the landfill flows directly into the lake.

This study aims to obtain geomorphological spatial patterns around the Tamangapa landfill, surface airflow around the Tamangapa landfill, as well as the number of sampling points as an assessment of the spread of leachate.

This study uses photogrammetric data collection methods and spatial analysis techniques based on GIS to consider geomorphological aspects and surface airflow directions as determination of potential leachate distribution points around TPA Tamangapa.

The results of DEM data analysis have an elevation value range of 56,918 m - 89,360 m. The percentage of slope angles around Tamangapa landfill has 7 classifications, namely 0-2% in the lake area, 3-7% in residential areas around the lake, 8-13% in the lakeside area, 14-20% in the lakeside of the landfill, 21- 55% of the landfill area, 56-140% on the edge of the peak area that extends from the north, east to south of the landfill. The landfill area covers 12.3 ha, the lake 34.6 ha, vegetation 4 ha, settlement 1.6 ha, open land 3.4 ha, and road 1,163 m. The flow direction is south 21%, north 17%, east 15%, and west 15%. While the results of the spatial analysis produced 11 points, where points 1 and 2 are on the south side of the landfill, points 3, 4, 5, and 6 on the east side extend to the northeast of the landfill, point 7 on the north side, points 8 and 9 on the northeast side lake, point 10 is in the middle of the lake while point 11 is on the east side of the lake.

Keywords: DEM, Geomorphology, GIS

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembuangan sampah merupakan salah satu masalah yang sedang dihadapi oleh setiap kota disemua negara di dunia. Timbunan sampah yang terus meningkat seiring dengan bertambahnya populasi penduduk adalah suatu hal yang harus ditangani secara serius. Sampah menjadi masalah karena mengotori dan mengganggu keindahan serta kenyamanan manusia dan karena ditimbulkan oleh kegiatan manusia akibatnya sampah akan selalu muncul dalam keseharian hidup manusia (Novianti, 2018).

TPA (Tempat Pembuangan Akhir) Tamangapa terletak di Kelurahan Tamangapa, Kecamatan Manggala, Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan. Lokasi TPA Tamangapa berada kurang lebih 14 km dari pusat Kota Makassar dan dilaksanakan langsung oleh Dinas Lingkungan Hidup Kota Makassar. Saat ini luas lahan kawasan yang dimiliki oleh TPA Tamangapa adalah 16,8 Ha yang merupakan lahan kepemilikan dari pemerintah Kota Makassar dimana khusus areal pembuangan sampah memiliki total luas 14,798 ha (Dinas Lingkungan Hidup, 2021).

Sebelum Tamangapa dibangun sebagai lahan TPA, pada tahun 1979 sampah padat perkotaan dibuang di Panampu, Kecamatan Ujung Tanah. Karena lokasi yang dekat dengan laut, tempat pembuangan sampah itu dipindahkan ke Kantinsang, kecamatan Biringkanaya pada tahun 1980. Akibat menurunnya kualitas air, maka pada tahun 1984 Pemerintah Kota Makassar membuat TPA baru di Tanjung Bunga, Kecamatan Tamalate namun, pertumbuhan penduduk yang terus meningkat dan pendirian wilayah perumahan di sekitar kecamatan Tamalate mendorong Pemerintah Kota memindahkan TPA ke Kelurahan Tamangapa sejak tahun 1993 hingga saat ini tahun 2018 (Juhaidah, 2019).

Pencemaran sumber air oleh sampah terjadi karena sampah yang dibuang dengan cara *open dumping* dan tertimbun di TPA mengalami dekomposisi yang bersama air hujan menghasilkan cairan lindi. Lindi dapat menyebabkan kontaminasi yang potensial baik bagi air permukaan maupun air tanah. Air lindi

merupakan suatu jenis bahan pencemar yang memiliki potensi tinggi untuk mencemari lingkungan, seperti tercemarnya air permukaan (Novianti, 2018).

Siklus hidrologi memiliki beberapa tahapan yaitu proses penguapan, proses evapotranspirasi, proses hujan, proses aliran air, proses pengendapan air tanah, dan proses air tanah ke laut. Proses penguapan adalah berubahnya air yang tertampung di sungai, danau atau laut menjadi uap air karena panas matahari. Evapotranspirasi adalah penguapan air yang terjadi diseluruh permukaan bumi termasuk badan air dan tanah maupun jaringan makhluk hidup. Proses hujan adalah suatu proses mencairnya awan disebabkan suhu udara yang tinggi sedangkan proses aliran air merupakan proses pergerakan air dari dataran yang tinggi ke dataran yang rendah di permukaan bumi (Syahputra, 2018).

Kuantitas dan kualitas air tanah dan air permukaan pada dasarnya dipengaruhi oleh kondisi air itu sendiri yang berasal dari siklus hidrologi dan kondisi akuifer (wadah) yang menampung air di bawah permukaan tanah yang biasanya diindikasikan oleh keadaan geologi daerah setempat. Oleh karena itu jarak sumber air tanah maupun air permukaan dengan lokasi TPA akan sangat berpengaruh terhadap kualitas air. Semakin dekat keberadaan sumber air tanah dan air permukaan maka risiko pencemaran dari lindi akan sangat tinggi. Karena pada dasarnya air lindi dari TPA akan mengalir dari atas ke bawah menuju hilir ke sumber air permukaan seperti sungai, danau dan rawa (Novianti, 2018).

Lindi (*leachate*) adalah cairan yang meresap melalui sampah yang mengandung unsur-unsur terlarut dan tersuspensi atau cairan yang melewati landfill dan bercampur serta tersuspensi dengan zat-zat atau materi yang ada dalam tempat penimbunan (*landfill*) tersebut. Cairan dalam *landfill* merupakan hasil dari dekomposisi sampah dan cairan yang masuk ke tempat pembuangan seperti aliran atau drainase permukaan, air hujan dan air tanah. Lindi merupakan air yang terbentuk dalam timbunan sampah yang melarutkan banyak sekali senyawa yang ada sehingga memiliki kandungan pencemar khususnya zat organik yang sangat tinggi. Lindi sangat berpotensi menyebabkan pencemaran air, baik air tanah maupun permukaan sehingga perlu ditangani dengan baik (Arba, 2017).

Perencanaan proteksi terhadap lingkungan memerlukan data proses di permukaan dan dekat permukaan bumi, yaitu yang terdapat di atmosfer, litosfer,

dan hidrosfer. Kajian yang menekankan pada salah satu aspek persinggungan antara atmosfer, litosfer, dan hidrosfer tersebut adalah geomorfologi. Geomorfologi adalah ilmu pengetahuan yang mempelajari lahan dan bentuk dasar yang menekankan pada sifat alami, proses perkembangan, komposisi material, *genesis* (asal-mula), tatanan keruangannya, dan konteksnya dengan lingkungan (Sutikno dkk, 2018).

Sistem Informasi Geografis (SIG) pada umumnya adalah sistem informasi khusus yang mengelola data yang memiliki informasi spasial. SIG juga merupakan sejenis perangkat lunak yang dapat digunakan untuk pemasukan, penyimpanan, manipulasi, menampilkan, dan keluaran informasi geografis berikut atribut-atributnya. Sistem Informasi Geografis adalah sistem informasi yang digunakan untuk memasukkan, menyimpan, memanggil pustaka, mengolah, menganalisa, dan menghasilkan data bereferensi geografis atau *geospatial*, untuk mendukung pengambilan keputusan dalam suatu perencanaan (Novianti 2018).

Berdasarkan observasi lapangan yang telah peneliti lakukan di sekitar TPA Tamangapa didapatkan bahwa kolam pengolahan lindi dari TPA Tamangapa mengalami penyumbatan sehingga air lindi tidak mengalami pengolahan dan langsung mengalir pada saluran terbuka menuju air permukaan di belakang TPA Tamangapa. Aliran air permukaan ini merupakan bagian dari siklus hidrologi yang mengalir dari daerah yang tinggi ke daerah yang rendah dan akan memasuki daerah tangkapan atau daerah aliran menuju ke sistem jaringan sungai, sistem danau atau waduk. Dengan demikian air permukaan atau danau di belakang TPA Tamangapa berpotensi tercemar oleh air lindi.

Dari gambaran permasalahan ini, sangat penting untuk melakukan penelitian lebih lanjut tentang analisis spasial di sekitar TPA Tamangapa sebagai kajian terkait potensi penyebaran air lindi pada air permukaan dengan menganalisa beberapa faktor seperti analisis kontur, analisis kemiringan lereng, analisis tutupan lahan, serta analisis arah aliran air permukaan sehingga dapat dilakukan analisis terkait potensi titik penyebaran air lindi di sekitar TPA Tamangapa. Atas dasar inilah, penulis memilih judul sebagai Tugas Akhir : “Analisis Spasial Geomorfologi di Sekitar TPA Tamangapa Sebagai Penentuan Potensi Titik Penyebaran Air Lindi”.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pola spasial geomorfologi di sekitar TPA Tamangapa?
2. Bagaimana arah aliran air permukaan di sekitar TPA Tamangapa?
3. Bagaimana potensi titik penyebaran air lindi di sekitar TPA Tamangapa?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Untuk mendapatkan pola spasial geomorfologi di sekitar TPA Tamangapa
2. Untuk mengetahui arah aliran air permukaan di sekitar TPA Tamangapa
3. Untuk mendapatkan potensi titik penyebaran air lindi di sekitar TPA Tamangapa

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang menjadi harapan dari terlaksananya penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Manfaat bagi Departemen Teknik Lingkungan
Dapat dijadikan acuan untuk generasi-generasi selanjutnya yang berada di lingkup Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin khususnya yang mengambil konsentrasi dibidang Sanitasi dan Persampahan dalam mengerjakan tugas, karya tulis ilmiah, pembuatan laporan praktikum dan penyelesaian tugas akhir.
2. Manfaat bagi masyarakat membuktikan secara ilmiah, memberikan pengetahuan serta informasi mengenai analisis spasial geomorfologi di sekitar TPA Tamangapa sebagai penentuan potensi titik penyebaran air lindi.
3. Bagi peneliti
Sebagai syarat untuk menyelesaikan studi dan mendapat gelar ST (Sarjana Teknik) di Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin serta menjadi pengembangan kemampuan dari ilmu yang telah didapat yang nantinya akan berguna jika melanjutkan penelitian mengenai

analisis spasial geomorfologi di sekitar TPA Tamangapa sebagai penentuan potensi titik penyebaran air lindi.

1.5 Ruang Lingkup

Agar penelitian ini berjalan dengan efektif dan mencapai tujuan maka dibuat Batasan-batasan yang mencakup sebagai berikut :

1. Lokasi penelitian ini dilakukan di sekitar TPA Tamangapa, Makassar, Sulawesi Selatan
2. Metode pengumpulan data yang digunakan adalah fotogrametri
3. Pengolahan data DEM di sekitar TPA Tamangapa
4. Metode arah aliran D8 di sekitar TPA Tamangapa

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Air

Air merupakan salah satu sumber daya alam yang memiliki fungsi sangat penting bagi kehidupan manusia, serta untuk memajukan kesejahteraan umum sehingga merupakan modal dasar dan faktor utama pembangunan. Air juga merupakan komponen lingkungan hidup yang penting bagi kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya. Hal itu bisa dilihat dari fakta bahwa 70 persen permukaan bumi tertutup air dan dua per tiga tubuh manusia terdiri dari air (Novianti, 2018).

2.2 Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi menggambarkan proses siklus air yang berlangsung secara terus menerus dari bumi ke atmosfer dan kembali lagi ke bumi. Siklus hidrologi adalah salah satu konsep dasar dalam biogeokimia. Siklus ini memiliki beberapa tahapan yaitu proses penguapan, proses evapotranspirasi, proses hujan, proses aliran air, proses pengendapan air tanah, dan proses air tanah ke laut. Proses penguapan adalah berubahnya air-air yang tertampung di sungai, danau, atau laut menjadi uap air karena panas matahari. Evapotranspirasi adalah penguapan air terjadi diseluruh permukaan bumi termasuk badan air dan tanah maupun jaringan makhluk hidup. Proses hujan adalah suatu proses mencairnya awan disebabkan suhu udara yang tinggi. Proses aliran air adalah proses pergerakan air dari dataran yang tinggi ke dataran yang rendah di permukaan bumi. Proses pengendapan air tanah adalah proses pergerakan air ke dalam pori tanah. Proses air tanah ke laut adalah air yang telah mengalami siklus hidrologi akan kembali ke laut (Syahputra, 2018).

2.3 Air Permukaan

Air permukaan adalah air hujan yang mengalir di permukaan bumi seperti sungai, danau, rawa dan sebagainya. Dibandingkan dengan sumber-sumber air lainnya air permukaan mudah sekali mengalami pencemaran. Pada umumnya air

permukaan ini akan mendapat pencemaran selama pengalirannya misalnya oleh lumpur, batang-batang kayu, daun-daun, kotoran industri kota dan sebagainya (Novianti, 2018).

2.3.1 Air sungai

Dalam penggunaannya sebagai air minum, haruslah mengalami suatu pengolahan yang sempurna, mengingat bahwa air sungai ini pada umumnya mempunyai derajat pengotoran yang tinggi sekali. Debit yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan akan air minum pada umumnya dapat mencukupi (Novianti, 2018).

2.3.2 Air rawa/danau

Kebanyakan air rawa ini berwarna yang disebabkan oleh adanya zat-zat organik yang telah membusuk misalnya asam humus yang larut dalam air yang menyebabkan warna kuning coklat. Dengan adanya pembusukan kadar zat organik tinggi maka umumnya kadar Fe dan Mn akan tinggi pula dan dalam keadaan kelarutan O₂ kurang sekali (anaerob) maka unsur-unsur Fe dan Mn ini akan larut. Pemantauan kualitas air penting dilakukan karena akan berhubungan kelayakan dan baku mutu air. Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air mengelompokkan kualitas air menjadi empat golongan menurut peruntukannya yaitu :

1. Kelas satu, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air bakti air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
2. Kelas dua, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukkan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
3. Kelas tiga, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan air yang sama dengan kegunaan tersebut.

4. Kelas empat, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi, pertanian dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

2.4 Kualitas Air

Secara spasial distribusi kualitas air berbeda-beda di suatu tempat dengan tempat lainnya. Hal itu tergantung pada kondisi daerah dan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kualitas air. Faktor-faktor tersebut dapat dipilah menjadi dua, yaitu faktor alami dan faktor non alami. Faktor alami meliputi batuan, tanah, vegetasi dan iklim sedangkan faktor non alami meliputi pupuk dan limbah pertanian, pestisida, limbah domestik dan limbah industri. Kualitas air pada dasarnya adalah membicarakan karakteristik kualitas air yang berasal dari sumber perairan alamiah, maka uraian tentang kualitas air akan dimulai dengan membahas karakteristik-karakteristik fisik seperti suhu dan bahan terlarut dalam air serta karakteristik lain (kimia) yang terbentuk oleh senyawa bahan-bahan organik dan non organik yang mempunyai peranan penting sebagai indikator kualitas air (Novianti, 2018).

Menurut Novianti (2018) Kualitas air akan bervariasi menurut ruang dan waktu. Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas air tanah pada suatu daerah adalah sebagai berikut:

1. Iklim meliputi curah hujan, temperatur dan kelembaban. Iklim mempengaruhi proses pelapukan batuan, perkembangan tanah, dekomposisi bahan organik, reaksi-reaksi kimia dan proses biologi.
2. Tanah dan batuan merupakan sumber zat kimiawi air tanah yang dilarutkan oleh air sewaktu melaluinya sehingga kualitas air tanah di suatu tempat dipengaruhi oleh tanah dan batuan. Kualitas air tanah bervariasi menurut jenis batuan penyusun akuifer, genesa dan lingkungan pengendapan pada saat pembentukan batuan tersebut. Batuan yang mempunyai mineral-mineral yang mudah lapuk atau tidak stabil umumnya mempunyai komponen yang mudah larut dan memberikan lingkungan pengendapan yang baik. Dengan adanya rekahan-rekahan maka akan lebih memudahkan masuknya air sehingga proses pelapukan akan lebih intensif yang

menyebabkan unsur-unsur yang terlarut di dalam air tanah akan semakin banyak pula.

3. Jenis vegetasi dan kerapatan akan berpengaruh terhadap kualitas air tanah karena bagaimanapun juga air tanah yang jatuh ke atas tanah akan melewati vegetasi yang ada di permukaan tanah sebelum terinfiltrasi menjadi air tanah.
4. Waktu yaitu semakin lama air tanah itu tinggal di suatu tempat akan semakin banyak unsur yang terlarut.
5. Aktivitas manusia yaitu kepadatan penduduk berpengaruh negatif terhadap air tanah apabila kegiatannya tidak memperhatikan lingkungan seperti pembuangan sampah dan kotoran manusia. Tanah tempat pembuangan limbah padat menciptakan potensi penting sumber pencemaran air tanah. Lindi dari TPA dapat mencemari air tanah jika air bergerak melalui material pengisi.

2.5 Definisi Sampah

Sampah adalah semua bahan buangan yang dihasilkan dari aktifitas manusia yang berupa padatan baik yang bersifat organik maupun anorganik yang sudah dibuang karena tidak diperlukan lagi, sampah merupakan permasalahan serius yang dihadapi masyarakat terutama pada kota-kota besar. Sampah salah satu penyebab terjadinya pencemaran pada lingkungan akibat dari penumpukan sampah yang semakin lama semakin banyak. Dari penumpukan sampah tersebut terdapat air lindi yang dapat menyerap ke dalam tanah yang akan menyebabkan pencemaran tanah dan air tanah secara langsung (Arba, 2017).

Proses dekomposisi sampah dihasilkan dari dua fraksi besar yaitu fraksi organik dan fraksi anorganik. Fraksi anorganik ini mengandung berbagai mineral diantaranya logam-logam berat. Logam berat timbal dan Kadmium yang terdapat didalam sampah akan terdekomposisi dan larut bersama dengan terbentuknya lindi. Semua hasil dekomposisi ini membentuk satu kesatuan dengan tanah, peranan tanah terhadap pengangkutan dan penghilangan bahan pencemar sangatlah besar. Proses pengangkutan tersebut bermacam-macam, diantaranya adalah dengan pengaliran, peresapan dan pelumeran (Arba,2017).

2.6 Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah

Menurut UU Nomor 18 Tahun 2008, Tempat Pemrosesan Akhir adalah tempat untuk memproses dan mengembalikan sampah ke media lingkungan secara aman bagi manusia dan lingkungan. Pengelolaan sampah menjadi kegiatan yang sistematis, menyeluruh, dan berkesinambungan yang meliputi pengurangan dan penanganan sampah

Prinsip dari pembuangan akhir sampah adalah untuk memusnahkan sampah domestik atau yang diklasifikasikan sejenis ke suatu pembuangan akhir dengan cara sedemikian rupa, sehingga kita tidak atau seminimal mungkin menimbulkan gangguan terhadap lingkungan di sekitarnya, baik setelah dilakukan pengolahan maupun tanpa diolah terlebih dahulu. Pada dasarnya kegiatan operasional akhir merupakan kegiatan yang dapat mengubah bentuk lahan. Kegiatan ini dapat menimbulkan kerusakan serta kemerosotan sumber daya lahan, air, dan udara. Lokasi pembuangan akhir sampah sebaiknya sudah tercakup dalam perencanaan tata ruang kota. Tahapan selanjutnya adalah membuat konsep perencanaan penataan Kembali lokasi pembuangan akhir sampah yang telah habis masa pakainya (Novianti, 2018).

Menurut Novianti (2018) Pembuangan sampah mengenal beberapa metode dalam pelaksanaannya, yaitu :

1. *Open dumping*

Pembuangan terbuka merupakan cara pembuangan sederhana dimana sampah hanya dihamparkan pada suatu lokasi, dibiarkan terbuka tanpa pengaman dan ditinggalkan setelah lokasi tersebut penuh.

2. *Control Landfill*

Metode ini merupakan peningkatan dari *open dumping* dimana secara periodik sampah yang telah tertimbun ditutup dengan lapisan tanah untuk mengurangi potensi gangguan lingkungan yang ditimbulkan. Dalam operasionalnya juga dilakukan perataan dan pemadatan sampah untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan lahan dan kestabilan permukaan TPA.

3. *Sanitary Landfill*

Metode ini merupakan metode standar yang dipakai secara internasional dimana penutupan sampah dilakukan setiap hari sehingga potensi gangguan yang timbul dapat diminimalkan. Namun demikian diperlukan penyediaan prasarana dan sarana yang cukup mahal bagi penerapan metode ini sehingga sampai saat ini baru dianjurkan untuk kota-kota besar.

2.7 Air Lindi

Lindi merupakan air yang terbentuk dalam timbunan sampah yang melarutkan banyak sekali senyawa yang ada sehingga memiliki kandungan pencemar khususnya zat organik yang sangat tinggi. Lindi sangat berpotensi menyebabkan pencemaran air, baik tanah maupun permukaan sehingga perlu ditangani dengan baik. Lindi akan terjadi apabila ada air eksternal yang berinfiltrasi ke dalam timbunan sampah, misalnya dari air permukaan, air hujan, air tanah atau sumber lain. Cairan tersebut kemudian mengisi rongga-rongga pada sampah, dan bila kapasitasnya telah melampaui kapasitas tekanan air dari sampah, maka cairan tersebut akan keluar dan mengekstraksi bahan organik dan anorganik hasil proses fisika, kimia dan biologis yang terjadi pada sampah (Laili, 2021).

Air lindi pada umumnya mengandung senyawa-senyawa organik dan anorganik yang tinggi. Selayaknya benda cair, air lindi akan mengalir ke tempat yang lebih rendah. Air lindi ini dapat merembes masuk ke dalam tanah dan bercampur dengan air tanah sampai pada jarak 200 meter, ataupun mengalir di permukaan tanah dan bermuara pada aliran air sungai. Secara langsung air tanah atau air sungai tersebut akan tercemar (Laili,2021).

Menurut Laili (2021) Faktor-faktor yang mempengaruhi komposisi lindi antara lain:

1. Tipe material sampah yang dibuang ke TPA;
2. Kondisi TPA meliputi pH, temperatur, kelembaban, usia TPA dan iklim. Suhu yang rendah akan menghambat beberapa reaksi kimia yang akan menyebabkan produksi air lindi menurun;
3. Karakteristik presipitasi yang memasuki TPA.

Keberagaman kualitas air lindi akan sangat tinggi apabila komposisi sampah didominasi oleh sampah domestik. Waktu juga menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas air lindi. Pada air lindi yang masih baru, kandungan bahan organik dan bahan pencemar lain akan lebih tinggi dibandingkan dengan air lindi yang sudah berada lama di *landfill*.

Pola umum dari pembentukan lindi adalah sebagai berikut:

1. Presipitasi (P) jatuh di TPA dan beberapa diantaranya akan mengalami run off (RO),
2. Beberapa dari presipitasi akan menginfiltrasi (I) permukaan,
3. Sebagian yang terinfiltrasi akan menguap/evaporates dari permukaan dan/atau transpirasi (T) melalui tumbuhan,
4. Sebagian proses infiltrasi akan menyebabkan penurunan kandungan kelembaban dalam tanah,
5. Sisa infiltrasi setelah proses E, T dan I sudah mencukupi, bergerak kebawah membentuk suatu perlokasi (PERC) dan pada akhirnya membentuk lindi di dasar TPA.

Air lindi juga mengandung polutan mikro organik yang beracun, karsinogenik, dan bahkan bisa mengalami mutasi seperti *polycyclic aromatic hydrocarbons* (PAHs), pestisida, dan fenol. Jumlah mikro polutan ini lebih kecil jika dibandingkan dengan komponen total organik seperti biochemical *oxygen demand* (BOD), COD, atau *total organic carbon* (TOC) (Sulistyoningrum, 2018).

2.8 Pencemaran Air Oleh Lindi

Zat pencemar (*pollutant*) dapat didefinisikan sebagai zat kimia, radioaktif yang berwujud benda cair, padat, maupun gas, baik yang berasal dari alam yang kehadirannya dipicu oleh manusia (tidak langsung) ataupun dari kegiatan manusia (*anthropogenic origin*) yang telah diidentifikasi mengakibatkan efek yang buruk bagi kehidupan manusia dan lingkungannya. Semua itu dipicu oleh aktifitas manusia (Laili, 2021).

Di sebagian wilayah Indonesia, air tanah masih menjadi sumber air minum utama. Air tanah yang masih alami tanpa gangguan manusia, kualitasnya belum tentu baik. Terlebih lagi yang sudah tercemar oleh aktifitas manusia, kualitasnya

akan semakin menurun. Pencemaran air tanah antara lain disebabkan oleh kurang teraturnya pengelolaan lingkungan. Beberapa sumber pencemaran yang menyebabkan menurunnya kualitas air tanah antara lain (Novianti, 2018) :

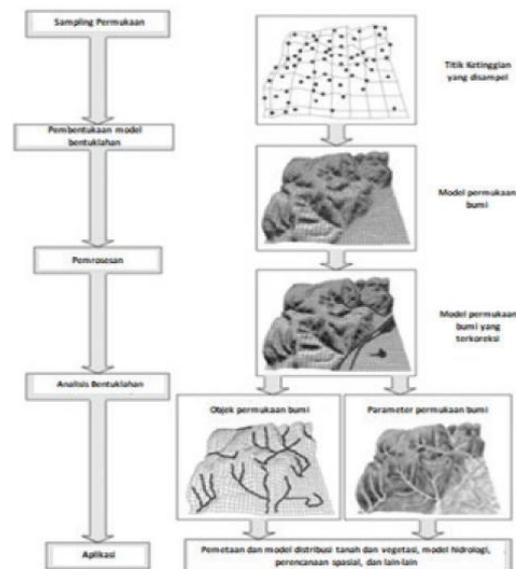
1. Sampah dari TPA
2. Tumpahan minyak
3. Kegiatan pertanian
4. Pembuangan limbah cair pada sumur
5. Pembuangan limbah ke tanah
6. Pembuangan limbah radioaktif

Materi pencemar yang biasanya terbentuk atau hadir (turunan sampah) di lingkungan TPA yaitu air lindi (*leachate*), selayaknya benda cair air lindi akan mengalir ke tempat yang lebih rendah. Air lindi dapat merembes ke dalam tanah dan bercampur dengan air tanah, ataupun mengalir di permukaan tanah dan bermuara pada aliran air sungai. Kemampuan *leachate* mencemari air permukaan/air tanah dipengaruhi oleh kondisi geologi (tipe tanah dan jenis batuan) serta kondisi hidrologi (kedalaman dan pergerakan air tanah, jumlah curah hujan serta pengendalian aliran permukaan) dimana lokasi TPA berada (Laili, 2021).

2.9 Geomorfologi

Perkembangan ilmu Sistem Informasi Geografis (SIG) sangat mendorong perkembangan ilmu geomorfologi, salah satunya adalah geomorfometri. Geomorfometri adalah ilmu yang menjelaskan tentang analisis bentuk lahan secara kuantitatif. Perkembangan ilmu geomorfologi mengarahkan pada analisis geomorfometri. Geomorfometri merupakan ukuran kuantitatif pada kondisi lahan sebagai dasar analisis bentuk lahan. Geomorfometri merupakan gabungan interdisiplin ilmu dengan pendekatan matematis, *geosciences*, dan ilmu komputer. Analisis geomorfometri fokus pada analisis karakteristik permukaan bumi meliputi ekstraksi parameter permukaan lahan dari data DEM (*Digital Elevation Model*). Penggunaan teknologi SIG mampu melakukan ekstraksi data numerik ketinggian dari DEM dalam bentuk data raster atau vektor. Terdapat lima tahap dalam proses ekstraksi DEM pada analisis morfometri. Pertama, *sampling* data ketinggian di permukaan bumi. Kedua, *modelling* data ketinggian. Ketiga, koreksi tingkat

kesalahan model. Keempat, ekstraksi parameter dan objek permukaan. Kelima, aplikasi model geomorfometri (Sutikno dkk, 2018).



Gambar 1. Geomorfometri proses dalam ekstraksi data primer lahan permukaan dari DEM

Sumber : Sutikno, dkk, (2018)

Tugas utama dari geomorfologi minimal ada tiga, yaitu:

1. Harus dapat mendeskripsikan seteliti mungkin berbagai macam bentuk lahan dan bentang lahan fisik. Deskripsi bentang lahan bervariasi tingkat ketelitiannya, dengan tujuan yang berbeda-beda. Deskripsi penting untuk memberikan gambaran tentang bentang lahan dari sisi geomorfologinya.
2. Harus dapat mengklasifikasikan bentuk lahan dan proses-proses geomorfologi. Klasifikasi tersebut penting sebagai dasar untuk pemetaan dan menerapkan geomorfologi untuk tujuan tertentu.
3. Harus dapat menyusun hipotesis tentang asal mula bentuk lahan dan bila dimungkinkan menguji hipotesis tersebut. Hipotesis diperlukan untuk menjelaskan kaitan antara proses-proses geomorfik dengan bentuk lahannya. Selain itu, untuk menjelaskan bagaimana penampakan geomorfologi dapat terjadi.

Aspek morfologi atau konfigurasi muka bumi atau relief dapat ditinjau dari pendekatan morfografi dan morfometri. Di bawah ini, penjelasan dari masing-masing pendekatan.

2.9.1 Pendekatan Morfografi

Aspek ini menekankan pada deskripsi dari bentuk lahan, misalnya deskripsi tentang kipas alluvial, dataran banjir, dan gumpuk pasir (*sand dunes*). Dalam memberikan deskripsi bentuk lahan, sedapat mungkin meliputi seluruh aspeknya secara lengkap, sehingga dapat diperoleh gambaran yang jelas tentang bentuk lahan tersebut. Dengan demikian dapat memperkirakan pemanfaatan lahan yang sesuai.

2.9.2 Pendekatan Morfometri

Pendekatan morfometri menekankan pada ukuran dari morfologi. Ukuran bentuk lahan dan fenomena geomorfik yang terkait mempunyai arti penting dalam bidang keilmuan maupun terapan praktisnya. Menurut Sutikno (2018) dalam mempelajari morfologi, minimal ada tiga peubah (*variable*) yang harus diperhatikan.

2.9.2.1 Relief

Relief atau timbulan di permukaan bumi adalah konfigurasi permukaan bumi yang didasarkan atas ketinggiannya terhadap referensi tertentu, yang umumnya muka air laut. Peta topografi merupakan sumber utama dari relief, dari peta topografi dapat diketahui keadaan relief suatu daerah. Sebutan suatu daerah menjadi bukit, lembah atau ledokan didasarkan semata-mata oleh unsur relief. Selain dari peta topografi, relief juga dapat dikenali dari foto udara atau citra penginderaan jauh yang lain, seperti Citra Landsat, SPOT atau Citra Radar. Oleh karena relief mudah dikenali dari foto udara dan citra penginderaan jauh, maka relief merupakan salah satu faktor atau indikator untuk mengenal, mengklasifikasikan, dan mendeliniasi satuan bentuk lahan.

2.9.2.2 Lereng

Penampakan bentang lahan yang mudah terlihat perbedaannya setelah relief adalah lereng, yaitu untuk membedakan penampakan yang

datar dan miring. Penampakan lereng yang miring bila diperhatikan lebih lanjut ada yang miring landau, miring menengah, terjal, dan sangat terjal. Selain itu ada yang bentuknya lurus, cekung, dan cembung, serta ada yang ukurannya pendek, menengah, dan Panjang. Variasi penampakan lereng tersebut menjadi objek kajian penting dalam geomorfologi, karena lereng merupakan aspek yang menonjol di permukaan bumi dan hampir sebagian besar permukaan bumi tersusun oleh lereng-lereng yang sangat bervariasi. Variasi penampakan lereng terbentuk oleh berbagai faktor, antara lain iklim, litologi, struktur geologi, sejarah geologi, proses geomorfik, aktivitas manusia, dan vegetasi.

2.9.2.3 Karakteristik saluran

Penampakan bentang lahan ketiga setelah relief dan lereng untuk mencirikan morfometri suatu daerah adalah saluran (*drainage*). Istilah saluran, saluran, dan drainase sering digunakan sebagai padanan dari *drainage*. Saliran adalah penampakan relief negatif alami di permukaan bumi atau dasar laut, yang terbentuk oleh proses penorehan atau pengikisan oleh aliran material. Utamanya air mengalir atau material yang bercampur air bergerak menuruni lereng atau dari tempat tinggi ke tempat lebih rendah. Saliran terbentuk oleh interaksi antara batuan dengan struktur tertentu dengan proses erosional, perkembangan lebih lanjut didominasi oleh proses deposisional.

Aspek Morfogenesis menekankan pada cara terjadi atau cara pembentukan atau asal-usul bentuk lahan yang disebut proses geomorfik. Proses geomorfik adalah semua peristiwa atau serangkaian peristiwa fisik maupun kimiawi yang mengakibatkan perubahan dan atau pembentukan bentuk lahan. Proses geomorfik dapat berlangsung apabila ada tenaga atau agen penyebabnya. Tenaga dan agen penyebab berlangsungnya proses geomorfik dapat berasal dari atmosfer yang disebut proses eksogen (suhu, curah hujan, aliran air, angin, dan aktifitas organik), dalam bumi yang disebut proses endogen (termasuk tektonik dan vulkanik), gaya berat, dan asal dari luar bumi (ekstraterestrial). Akibat proses geomorfik, bentuk permukaan bumi sebagian cenderung menurun akibat erosi (degradasi) dan sebagian cenderung bertambah tinggi akibat deposisi (agradasi). Dalam jangka

panjang, akibat degradasi dan agradasi, permukaan bumi cenderung menjadi rata atau mengalami gradasi.

Dalam klasifikasi medan Van Zuidam dan Zuidam-Candelado menggunakan klasifikasi bentuk lahan sebagai dasar untuk evaluasi medan untuk tujuan tertentu. Bentuk lahan sebagai salah satu aspek utama dalam geomorfologi dicirikan oleh tipe relief, material penyusun, dan proses pembentukannya. Berkaitan dengan relief sebagai penciri bentuk lahan, Van Zuidam dan Zuidam-Candelado membuat klasifikasi relief dengan mengombinasikan faktor kemiringan lereng dan beda tinggi, seperti tercantum pada tabel 2

Tabel 1. Tipe relief berdasarkan beda tinggi dan lereng majemuk

Tipe relief	Sudut lereng (%)	Beda tinggi (m)
Datar	0-2	<5
Berombak	3-7	5-25
Bergelombang	8-13	26-75
Berbukit	14-20	76-200
Bergunung	21-55	201-500
Bergunung curam	56-140	501-1.000
Bergunung terjal	>140	>1.000

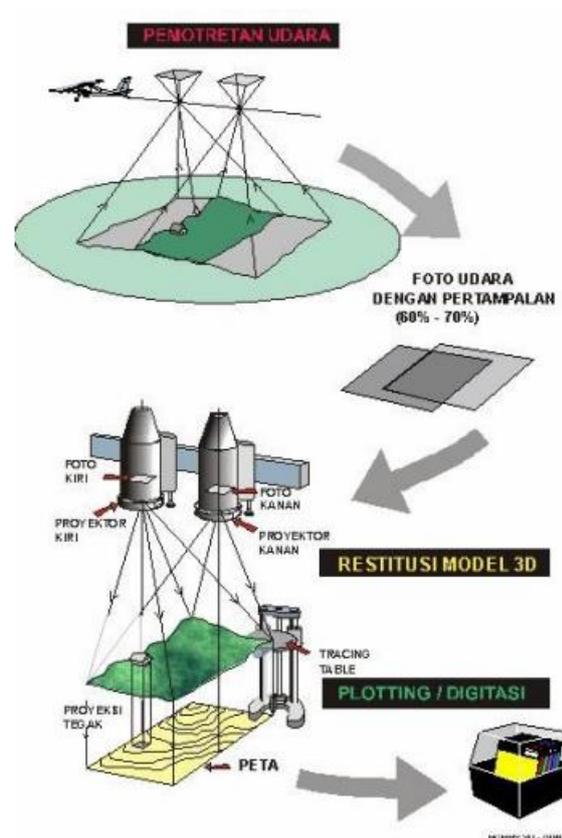
Sumber : Van Zuidam dan Zuidam Candelado, (1979)

2.10 Fotogrametri

Fotogrametri adalah suatu proses rekonstruksi atas karakteristik suatu objek nyata (eksisting) tanpa adanya kontak langsung dengan objek tersebut. Karakteristik yang dimaksud meliputi posisi, wujud, arah dan dimensi dari suatu objek. Rekonstruksi dilakukan berdasarkan gambar yang dihasilkan dari fotografi digital. Teknik fotogrametri tidak berdiri sendiri, tapi sangat berkaitan dengan bidang ilmu komputer grafis, fotografi, CAD, GIS dan kartografi (Dhanardono, dkk 2021).

Teknik fotogrametri memungkinkan pengukuran secara tiga dimensi pada suatu objek berdasarkan dari gambar dua dimensi dengan mengumpulkan gambar-gambar dengan sudut pandang berbeda yang saling bertumpang tindih (*overlap*) sehingga objek yang diukur dapat dihitung volumenya. Fotogrametri telah

diterapkan pada beberapa bidang keilmuan yang diklasifikasikan antara lain pada bidang ilmu otomotif, industri luar angkasa, arsitektur, rekayasa teknik sipil, kedokteran dan fisiologi, penegakan hukum, analisis forensik, animasi, industri film, dan sistem informasi (Dhanardono, dkk 2021).



Gambar 2. Konsep Dasar Fotogrametri

Sumber : Prayogo, (2020)

Instrumen utama dalam teknik fotogrametri adalah kamera yang menghasilkan foto. Hasil dari proses fotogrametri akan lebih maksimal ketelitiannya jika kamera yang digunakan adalah kamera digital yang terintegrasi dengan sistem penentuan posisi global, agar dihasilkan foto digital yang memiliki data koordinat yang bermanfaat saat proses rekonstruksi (Dhanardono, dkk 2021). Salah satu teknik pengumpulan data objek 3D dapat dilakukan dengan menggunakan teknik fotogrametri. Teknik ini menggunakan foto udara sebagai sumber data utamanya. Foto udara hasil pemotretan menyediakan suatu alternatif

dalam penyediaan informasi 3D yang akan digunakan dalam penentuan nilai tinggi suatu objek topografi misalnya bangunan. Kualitas informasi yang dihasilkan sangat tergantung dari kualitas citra sumber data tersebut (Prayogo, 2020).

Sebagai sebuah ilmu, seni dan teknik, fotogrametri memiliki manfaat dan peran yang sangat besar baik untuk keperluan pengembangan teori maupun untuk keperluan aplikasi. Sumbangan utama fotogrametri adalah untuk pembuatan peta dengan tingkat akurasi dan informasi yang relatif detail. Pemanfaatan fotogrametri dapat dilihat pada penjelasan berikut ini:

1. Identifikasi, pengukuran dan pemetaan fisiografis

- a. Identifikasi objek

Suatu objek dapat diketahui atau dikenali jenisnya berdasarkan ukurannya. Ukuran objek dapat diketahui ukurannya (Panjang, lebar, tinggi, atau volume) dari foto udara karena adanya kenampakan objek yang disertai dengan informasi skala yang ada di informasi tepi.

- b. Pengukuran ketinggian tempat dan kemiringan lereng

- c. Pemetaan dan revisi peta topografi

Sifat-sifat yang paling jelas dari suatu bentuk lahan adalah bentuk tiga dimensionalnya, yang dengan mudah dapat dianalisis dalam suatu model stereoskopis. Dengan demikian, penafsir citra dapat menentukan secara cepat apakah suatu lahan bertopografi relatif halus atau kasar, apakah berbukit-bukit bulat atau runcing, kemiringan lereng curam atau landai, dan sebagainya. Informasi yang sedemikian banyak dari foto udara dapat memberikan suatu data untuk membuat peta.

- d. Alat bantu studi geomorfologi dan geologi

Geomorfologi merupakan disiplin ilmu yang sangat banyak terbantu oleh fotogrametri. Kenampakan 3D pada foto udara yang disertai dengan adanya *vertical exaggeration* semakin memudahkan para ahli geomorfologi untuk mempelajari kondisi lahan suatu tempat. Perkembangan perangkat lunak dalam fotogrametri digital semakin memperdalam analisis geomorfologi dan geologi. Pemodelan lahan yang dikenal dengan DEM dan TIN mempermudah ahli dan pembelajar geomorfologi dan geologi untuk membuat dan merepresentasikan,

bahkan merekonstruksi gejala fisiografis melalui teknik-teknik dalam fotogramteri digital.

2. Pemetaan persil/pendaftaran tanah

Resolusi spasial citra saat ini sedemikian tinggi yakni sampai kurang dari 1 meter, sehingga perwujudan persil lahan lebih mudah untuk diukur dan dianalisis, bahkan dengan teknik manual sekalipun. Pembuatan peta persil biasanya membutuhkan foto udara berskala besar.

3. Perencanaan dan evaluasi pembangunan fisik

Pembangunan sarana dan prasarana fisik secara prosedural pasti didahului dengan perencanaan yang memerlukan dukungan data fisik lahan. Data fisik lahan yang paling umum digunakan adalah kemiringan lereng, bentuk lahan, posisi/orientasi, luas lahan, dan penggunaan lahan. Data seperti ini dapat diperoleh dengan mudah pada foto udara, sehingga dapat mengurangi biaya survey lapangan.

4. Perencanaan jalan raya

Perencanaan jalan raya memerlukan informasi mengenai bentuk lahan, ketinggian tempat, kemiringan lereng, arah/jurusan, jarak, volume material yang diperlukan untuk menambah bentuk lahan yang cekung atau memotong lahan yang terlalu tinggi serta informasi fisiografis lainnya dari suatu area yang akan dilewati oleh jalan. Informasi-informasi tersebut tentu membutuhkan survey dan pengukuran yang memerlukan waktu dan biaya yang tidak sedikit. Untuk menghemat dan memberikan informasi yang teliti mengenai kondisi lahan dan ukuran aspek yang diperlukan tersebut fotogrametri dapat memberikan solusinya yang berupa waktu pengukuran yang lebih cepat, ketelitian yang dapat dipertanggung jawabkan, efektif dan lebih hemat.

5. Perencanaan jalan kereta api

Syarat kondisi lahan untuk jalan kereta api berbeda dengan jalan biasa. Kemiringan jalan kereta api tidak boleh lebih dari 15 persen. Kondisi lahan yang bentuknya tidak mendukung tetapi terpaksa harus dilewati karena tidak memungkinkan pula jika arah belokan kereta api harus tajam, maka dalam perencanaan jalan kereta api harus diperhitungkan berapa lahan yang

harus dipotong dan berapa yang harus diurug. Berdasarkan informasi jurusan dan arah dari foto udara dapat ditentukan belokan yang efektif, arah jalan kereta yang baik. Berdasarkan informasi kemiringan lereng dapat ditentukan daerah mana yang harus dipotong lahannya dan berapa volume tanah yang diperlukan untuk mengurug lahan-lahan yang cekung agar jalan kereta api dapat dipakai.

6. Perencanaan lahan permukiman

Perencanaan permukiman membutuhkan informasi kondisi fisik lahan permukiman. Diantara informasi yang diperlukan adalah informasi bentuk lahan, kemiringan lereng, arah/jurusan lokasi permukiman, aksesibilitas lokasi, jarak dari sumber-sumber bencana, kemungkinan banjir, sistem pengaturan/drainase, posisi lahan terhadap penggunaan lahan lainnya, sistem pembuangan kaitannya dengan kemiringan lereng dan lain-lain. Informasi-informasi tersebut dapat diekstrak dari foto udara yang cara perhitungannya tentu membutuhkan teknik fotogrametri. Masing-masing variabel dapat diberi skor penilaian yang selanjutnya dapat diketahui kondisi kelayakannya untuk pendirian permukiman.

7. Kegunaan lainnya

Kegunaan lainnya masih sangat banyak terutama untuk aspek-aspek pembangunan yang memerlukan informasi ukuran dari unsur fisik permukaan bumi.

2.11 Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) atau wahana udara tak berawak dikenal juga dengan beberapa istilah seperti *Remotely Piloted Aircraft* (RPA), *Unattended Air System* (UAS) atau juga paling populer disebut dengan istilah *drone*. Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia nomor PM 90 Tahun 2015, istilah UAV disebut sebagai Pesawat Udara Tanpa Awak. Berdasarkan istilahnya, UAV adalah pesawat yang mampu terbang tanpa kehadiran pilot manusia secara fisik di dalamnya tetapi mampu melakukan kegiatan penerbangan baik dengan cara dikontrol oleh pilot dari jarak jauh atau dengan sistem penerbangan otonom (Dhanardono, dkk, 2021).



Gambar 3. *Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Tipe Rotary Wings*

Sumber : Dhanardono, dkk, (2021)

Penggunaan UAV dalam pemodelan 3 dimensi sangat berhubungan erat dengan teknik fotogramteri, karena dengan adanya kamera terpasang pada UAV maka dapat dihasilkan keluaran berupa gambar foto yang diambil selama UAV melakukan penerbangan yang dapat diatur frekuensinya sehingga didapatkan foto-foto yang saling bertampalan dengan sudut pandang yang berbeda-beda. Instrument utama dalam UAV yang sangat dibutuhkan untuk keperluan fotogramteri lainnya adalah GPS yang terintegrasi dengan kamera. Dengan adanya instrument GPS pada UAV maka proses rekonstruksi fotogrametri akan memberikan hasil yang lebih akurat (Dhanardono, dkk, 2021).

Ditinjau dari anatominya, UAV dibagi dalam 2 jenis yaitu jenis sayap tetap (*fixed wing*) dan sayap bergerak (*rotary wing*). Perbedaan utama dari kedua jenis UAV tersebut adalah kemampuannya dalam bergerak di udara. Jenis sayap tetap umumnya memiliki kecepatan bergerak yang lebih tinggi dibanding sayap bergerak, tetapi tidak mempunyai kemampuan untuk melayang secara stabil di posisi yang tetap dalam durasi waktu yang dikehendaki oleh pilot (*hovering*). Sedangkan jenis sayap bergerak kecepatannya relatif lebih lambat dibanding UAV sayap tetap, tetapi mempunyai kemampuan untuk melayang secara stabil di posisi yang tetap dalam durasi tertentu sesuai kebutuhan. Perbedaan lainnya dari kedua jenis UAV tersebut adalah pada prosedur lepas landas (*take off*) dan pendaratan (*landing*) di mana jenis sayap tetap membutuhkan suatu jalur dengan jarak lurus

tertentu untuk lepas landas, sedangkan jenis sayap bergerak tidak membutuhkan jalur untuk lepas landas karena prosedur lepas landasnya ke arah atas secara vertikal (Dhanardono, dkk, 2021).

2.12 Sistem Informasi Geografis

Sistem Informasi Geografis (SIG) pada umumnya adalah sistem informasi khusus yang mengelola data yang memiliki informasi spasial. SIG juga merupakan sejenis perangkat lunak yang dapat digunakan untuk pemasukan, penyimpanan, manipulasi, menampilkan, dan keluaran informasi geografis berikut atribut-atributnya. Sistem informasi geografis adalah sistem informasi yang digunakan untuk memasukkan, menyimpan, memanggil kembali, mengolah, menganalisa, dan menghasilkan data bereferensi geografis atau geospasial, untuk mendukung pengambilan keputusan dalam suatu perencanaan (Novianti, 2018).

Dalam kaitannya dengan pemantauan, penanganan serta pemetaannya SIG dapat menghasilkan luas, persentase dan informasi secara akurat berdasarkan data input yang diperoleh dari citra satelit dan sumber lainnya yang berupa data spasial maupun atribut.

2.13 Software Agisoft Metashape

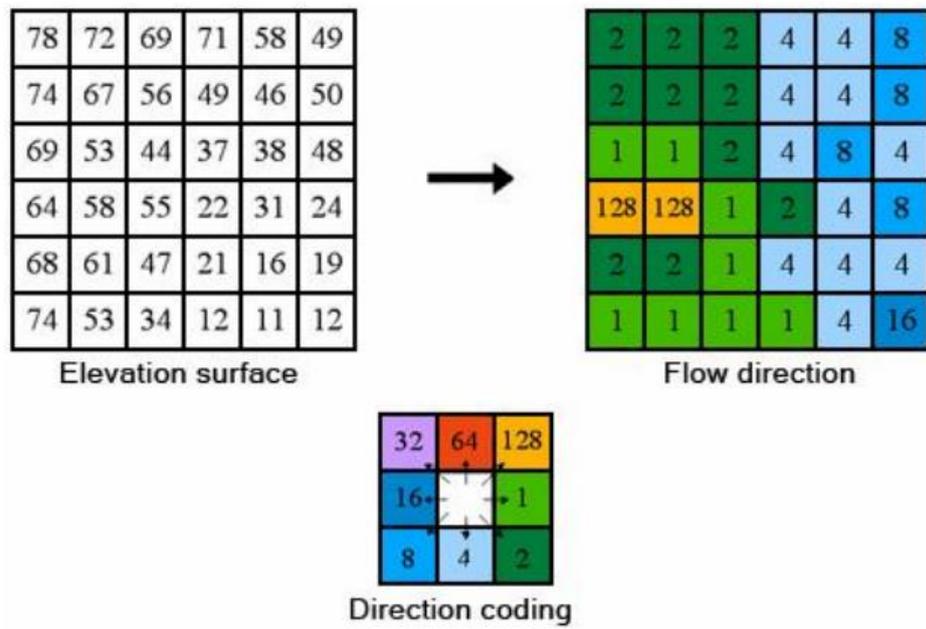
Agisoft Metashape adalah solusi perangkat lunak mutakhir, dengan inti mesinnya mendorong fotogrametri ke batas tertingginya, sementara seluruh sistem dirancang untuk memberikan hasil spesifik industri dengan mengandalkan teknik pembelajaran mesin untuk tugas pasca-pemrosesan dan analisis. Perangkat lunak ini memungkinkan untuk memproses gambar dari kamera RGB atau *multispectral*, termasuk sistem *multicamera*, ke dalam informasi spasial bernilai tinggi di bentuk awan titik padat, model polygonal bertekstur, georeferensi orthomosaik dan DSM/DTM sejati. Pasca pemrosesan lebih lanjut memungkinkan untuk menghilangkan bayangan dan artefak tekstur dari model, menghitung vegetasi indeks dan ekstrak informasi untuk peta Tindakan peralatan pertanian, secara otomatis mengklasifikasikan awan titik padat, dan lain-lain (Rompis, 2022).

2.14 Software ArcGIS

ArcGIS adalah salah satu perangkat lunak yang dikembangkan oleh ESRI (*Environment Science & Research Institute*) yang merupakan kompilasi fungsi-fungsi dari berbagai macam perangkat lunak GIS yang berbeda seperti GIS *desktop*, *server*, dan GIS berbasis *web*. Perangkat lunak ini mulai dirilis oleh ESRI pada tahun 1999. Produk utama dari ArcGIS adalah ArcGIS *desktop*, dimana ArcGIS *desktop* merupakan perangkat lunak GIS profesional yang komprehensif dan dikelompokkan atas tiga komponen yaitu : *ArcView*, *ArcEditor* dan *ArcInfo*. Selain itu, ESRI juga memiliki produk ArcGIS yang dapat diakses melalui internet, yaitu *ArcGIS Online* (Salim, 2018).

1. *Flow Direction* (Arah Aliran)

Salah satu kunci dalam mendapatkan turunan dari karakteristik hidrologi permukaan adalah dengan mendapatkan arah dari aliran pada tiap sel dalam raster. Algoritma yang umum digunakan dalam proses penentuan arah aliran adalah *D8 method*. Penentuan arah aliran antar pixel menurut algoritma ini dilakukan dengan membandingkan ketinggian relatif satu pixel terhadap 8 pixel disekelilingnya. Selanjutnya, arah aliran ditentukan dari kemiringan tercuram terhadap pixel sekelilingnya. Arah aliran dibuat berdasarkan nilai ketinggian pada tiap pixel, yang ditentukan dengan 8 pixel di area pixel yang akan ditentukan arah alirannya. Dalam konsep dasar, arah aliran ditentukan dari nilai yang tinggi ke nilai yang lebih rendah. Pemberian simbol arah pada arah aliran menggunakan angka tiap penjuru mata angin. Sebagai contohnya, arah utara disimbolkan dengan angka 64, selatan dengan nilai 4, dan seterusnya seperti pada gambar 5. (Arianto,2015).



Gambar 4. Menentukan arah air mengalir melalui masing-masing pixel

Sumber : Esri

2.15 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. Studi Penelitian Terdahulu

No .	Nama Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	Yanto Budisusanto, dkk., 2018	Studi Pembuatan Peta Informasi Bidang Tanah (PIBT) dengan Partisipasi Masyarakat Menggunakan Peta Dasar Dari Pemetaan Fotogrametri Metode Foto Format Kecil	Telah dibuat peta dari hasil pemotretan udara menggunakan wahana quadcopter / drone sebagai peta dasar dalam pembuatan peta informasi bidang tanah (PIBT) yang memiliki nilai RMS Error pergeseran pada proses georeferencing sebesar 4,761 cm. untuk uji akurasi planimetric dihasilkan RMSEr sebesar 0,099 m sehingga ketelitian horizontal (CE90) peta dasar skala 1:1000 pada kelas 1. Peta Informasi Bidang Tanah (PIBT) yang telah dibuat didominasi oleh areal persawahan dengan total luas 128,597 hektar yang terdiri dari bidang tanah sebanyak 615 bidang dan daerah pemukiman dengan total luas 69,378 hektar yang terdiri dari 1.443 bidang.
2	Ahmad Solihuddin, dkk., 2017	Pemetaan Foto Udara Menggunakan Wahana <i>Fix Wing</i>	Telah dilakukan pemetaan dengan metode fotogrametri menggunakan UAV jenis <i>Fix Wing</i> di daerah Kampus ITS, Sukolilo dengan jumlah foto 686 dan tinggi terbang rata-rata 277m. hasil

No .	Nama Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
		UAV (Studi Kasus: Kampus ITS, Sukolilo)	georeferencing didapatkan pergeseran nilai error terbesar adalah 5,92 yaitu pada GCP 10 dan proyeksi error terkecil adalah 0,59 cm yaitu pada GCP 14. Perbandingan ICP model dengan lapangan menunjukkan nilai selisih terbesar yaitu pada ICP 11 sebesar -0,139 m untuk koordinat X dan pada ICP 7 sebesar 0,215 m untuk koordinat Y.
3	I Putu harianja Prayogo, dkk., 2020	Pemanfaatan Teknologi <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> (UAV) <i>Quadcopter</i> dalam Pemetaan Digital (Fotogrametri) menggunakan Kerangka Ground Control Point (GCP)	Hasil pemetaan menggunakan metode fotogrametri di Kampus Universitas Sam Ratulangi menghasilkan resolusi spasial yakni 4.4 Cm/Pixel. Dari uji akurasi koordinat planimetris hasil pemetaan foto udara didapatkan nilai CE90 sebesar 0,05 m dan nilai LE90 sebesar 0.12 yang berarti bahwa uji akurasi horizontal ketelitian peta memenuhi untuk skala 1:1000 yaitu masuk kedalam orde kelas 1 dengan ketelitian maksimum sebesar 0,3 meter. Survey pemetaan menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) jauh lebih cepat dan efisien berbeda dengan metode konvensional. Disamping menghemat waktu dan biaya, luas Universitas Sam Ratulangi yaitu 35 Ha dapat diselesaikan dengan waktu ± 3 Jam dibandingkan

No .	Nama Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
4	Herjuno Gularso, dkk., 2013	Tinjauan Pemotretan Udara Format Kecil Menggunakan Pesawat Model Skywalker 1680 (Studi Kasus: Area Sekitar Kampus UNDIP)	<p>dengan pengukuran yang dilakukan menggunakan metode konvensional dengan memakan waktu + 2 Hari.</p> <p>Dari evaluasi 28ustaka28a citra diperoleh kesalahan terkecil terdapat pada daerah pertokoan di sekitar bundaran tugu dengan kesalahan jarak sebesar -0,0754 meter dan kesalahan terbesar terdapat pada lokasi rusunawa UNDIP dengan kesalahan jarak sebesar -2,2086 meter dari jarak sebenarnya. Untuk kesalahan tinggi terkecil sebesar 0,32147 dan kesalahan tinggi terbesar adalah 0,5133. Maka mosaic tersebut memenuhi ketelitian untuk skala 1:5000. Syarat toleransi diperoleh dari 0,5 dikalikan dengan skala, diperoleh toleransi 2,5 meter. Hasil dari pengukuran jarak di lapangan dan foto udara menghasilkan selisih jarak minimum pada daerah yang berada dekat dengan ground control point (200m).</p>
5	Yustian Ekky Rahanjani, dkk., 2012	Pemanfaatan Citra Digital Elevation Model (DEM) untuk studi evolusi Geomorfologi Gunung Api Merapi sebelum dan	Pola evolusi geomorfologi sebelum dan setelah erupsi berbeda. Hal ini tercermin dari pola-pola penyaluran dan perubahan azimuth sungai. Pada tiap satuan geomorfologi, pola displacement menjadi berbeda karena pengaruh ketebalan, massa jenis, dan kemiringan lereng pada tiap-tiap satuan geomorfologi. Pola evolusi

No .	Nama Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
		setelah erupsi Gunung Api Merapi 2010	geomorfologinya memiliki kecenderungan 29ustaka tenggara. Pola penyaluran sebelum dan setelah erupsi berbeda dalam hal kerapatan aliran sungai, khususnya pada daerah yang dibatasi endapan piroklastik yang baru.
6	Sayyidina Rangga, 2022	Pemodelan Penyebaran Kontaminan Lindi di Sekitar TPA Tamangapa dengan Menggunakan Metode Numerik	Ketinggian muka air tanah di dalam model area cukup variatif dengan ketinggian muka air tanah terendah adalah 7 meter dan tertinggi 14,8 meter diatas permukaan laut. Kecepatan aliran air tanah atau <i>velocity</i> yang didapatkan dari hasil simulasi MODFLOW nilai <i>velocity</i> terbesar didaerah TPA sebelah barat dengan kecepatan 0,07 m/hari dimana arah alirannya ke arah timur. Untuk kecepatan aliran terkecil pada daerah TPA terdapat dibagian sisi barat dan selatan TPA dengan kecepatan antara 0,01-0,02 m/hari.
7	Akhmad Sigit Arisandy, 2016	Studi Penentuan Aliran Hidrologi Metode Steepest Slope dan Lowest Height dengan ASTER GDEM V2 dan ALOS PALSAR	Data yang digunakan untuk penentuan aliran hidrologi (lahar dan lava) tersebut adalah DEM ASTER GDEM V2 dan ALOS PALSAR. DEM memiliki informasi data ketinggian yang dapat digunakan untuk memodelkan penentuan arah aliran hidrologi. Hasil pemodelannya menyerupai bentuk di lapangan, sehingga dapat digunakan untuk mitigasi bencana. Teknik penentuan aliran

No .	Nama Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
8	Brian Bagus Arianto, 2015	Studi Penentuan Jalur Aliran Lava Metode Steepest Slope dari	<p>hidrologi pada penelitian ini menggunakan metode steepest slope dan lowest height berdasarkan teori aliran hidrologi. Dari hasil arah pemodelan aliran metode steepest slope, arah aliran hidrologi yang dominan dari puncak Gunung Kelud adalah menuju ke arah barat (21%), utara (19%), dan selatan (16%). Sedangkan untuk metode lowest height lebih dominan menuju ke arah barat (19%), barat laut (18%), dan barat laut (19%). Dapat disimpulkan bahwa aliran dominan menuju arah barat, barat laut, barat daya, selatan dan utara. Sedangkan hasil perbandingan akumulasi aliran yang di-overlay dengan data BNPB, pada metode steepest slope dari data DEM ASTER GDEM V2 memiliki kesalahan hasil aliran sebesar 9,81% sedangkan data DEM ALOS PALSAR 7,29%. Sedangkan metode lowest height dari data DEM ASTER GDEM V2 memiliki kesalahan hasil aliran sebesar 12,18% sedangkan data DEM ALOS PALSAR 11,25%. Desa yang terdampak letusan Gunung Kelud yaitu untuk Kabupaten Kediri 29 desa, Blitar 26 desa dan Malang 2 desa</p> <p>Data yang digunakan untuk penentuan aliran lahar dan lava tersebut adalah data DEM InSAR dan data DEM dari kontur Peta Rupa Bumi</p>

No .	Nama Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
		Data DEM InSAR dan Peta Rupa Bumi Indonesia	Indonesia. Data ketinggian DEM bisa digunakan untuk membantu memodelkan penentuan aliran tersebut. Pemodelan aliran yang dihasilkan tersebut menyerupai model aliran sebenarnya di lapangan sehingga bisa digunakan untuk pemantauan dan mitigasi bencana akibat letusan gunung api. Teknik penentuan aliran lahar dan lava pada penelitian ini menggunakan metode steepest slope berdasarkan teori aliran hidrologi. Dari pemodelan arah aliran, dihasilkan persentase arah aliran yang memiliki nilai besar adalah aliran arah timur hingga barat. Kemudian dapat disimpulkan bahwa arah aliran yang berhulu dari puncak gunung Semeru adalah dominan menuju ke arah timur, tenggara, selatan, barat daya, dan barat. Aliran tersebut melewati sungai di beberapa kecamatan di kabupaten Malang dan Lumajang, vi kemudian pada akhirnya dominan mengalir ke arah selatan dan bermuara di Samudera Hindia
