

SKRIPSI

ANALISIS SPASIAL DAN SIMULASI POTENSI BANJIR DI WILAYAH TPA TAMANGAPA, MAKASSAR

Disusun dan diajukan oleh:

**AZHIMA AURELIA IRFAN
D131 19 1037**



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



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS SPASIAL DAN SIMULASI POTENSI BANJIR DI WILAYAH TPATAMANGAPA, MAKASSAR

Disusun dan diajukan oleh

Azhima Aurelia Irfan
D131191037

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 3 Oktober 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Eng. Ibrahim Djamaluddin, S.T., M.Eng.
NIP 197512142015041001

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., IPM.
NIP 197204242000122001



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Azhima Aurelia Irfan

NIM : D131191037

Program Studi : Teknik Lingkungan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Analisis Spasial dan Simulasi Potensi Banjir Di Wilayah TPA Tamangapa, Kota Makassar}

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, 8 Oktober 2023

Yang Menyatakan



Azhima Aurelia Irfan



ABSTRAK

AZHIMA AURELIA IRFAN. *Analisis Spasial dan Simulasi Potensi Banjir Di Wilayah TPA Tamangapa, Makassar* (dibimbing oleh Ibrahim Djamiluddin dan Irwan Ridwan Rahim)

Banjir merupakan salah satu peristiwa alam yang sering terjadi di negara tropis termasuk di Indonesia. Berdasarkan BMKG Kota Makassar kriteria curah hujan Kota Makassar dikategorikan sangat lebat. Salah satu wilayah yang rentan terhadap peristiwa banjir di perkotaan adalah daerah sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang berdampak pada sistem pengelolaan TPA. Sampah yang tidak terkelola dengan baik dapat mempengaruhi aliran air dan sistem drainase sehingga memperparah banjir.

Penelitian ini bertujuan untuk memetakan topografi ketinggian detail, menganalisis simulasi potensi banjir beserta dampaknya di TPA Tamangapa Kota Makassar secara spasial.

Penelitian yang dilakukan merupakan jenis penelitian pemodelan simulasi menggunakan software The International River Interface Cooperative (iRIC) dalam menganalisis potensi banjir di TPA Tamangapa Kota Makassar.

Hasil dari pemodelan yang dilakukan pada periode bulanan didapatkan potensi banjir yang terjadi di TPA Tamangapa paling besar di Bulan Januari dengan kedalaman maksimum sebesar 0,66 m. Sedangkan potensi banjir terjadi paling kecil pada Bulan Agustus dengan kedalaman maksimum sebesar 0,11 m dengan luas area yang terdampak banjir pada setiap bulannya dapat menggenangi hingga 26,06% dari total luas area TPA Tamangapa. Hasil dari pemodelan pada periode harian Bulan Januari terjadi paling besar di tanggal 2 Januari dengan kedalaman maksimum sebesar 0,66 m. Sedangkan potensi banjir terjadi paling kecil pada tanggal 15, 22, 25, dan 27 Januari dengan kedalaman maksimum sebesar 0,47 m dengan luas area yang terdampak banjir pada rata-rata setiap harinya sebesar 3,96 Ha dengan persentase 23,72% dari total luas area TPA Tamangapa. Berdasarkan hasil pemetaan pada periode bulanan maupun harian, luas kedalaman banjir yang berdampak di TPA Tamangapa paling besar terjadi pada bulan Januari di tanggal 2 sebesar 4,35 Ha.

Kata Kunci: Banjir, Curah Hujan, Software iRIC



ABSTRACT

AZHIMA AURELIA IRFAN. *Spatial Analysis and Simulation of Flood Potential in Tamangapa Landfill Area, Makassar City* (supervised by Ibrahim Djamaluddin and Irwan Ridwan Rahim)

Flood is a natural phenomenon that often occurs in tropical countries, including Indonesia. Based on BMKG Makassar City, the rainfall criteria for Makassar City are categorized as extremely heavy. One of places that is prone to flooding in urban areas is around the landfill site which has an impact on the landfill management system. Waste that is not managed properly can affect water flow and drainage systems, thereby exacerbating flooding.

This study aims to map the detailed elevation topography, analyze the simulation of potential flooding and its impact on TPA Tamangapa Makassar City spatially.

The research conducted is a type of simulation modeling research using The International River Interface Cooperative (iRIC) software in analyzing the potential for flooding at TPA Tamangapa Makassar City.

The results of the modeling carried out in the monthly period show that the potential for flooding that occurs at TPA Tamangapa is highest in January with a maximum depth of 0.66 m. While the lowest potential for flooding occurs in August with a maximum depth of 0.11 m with an area affected by flooding each month that can inundate up to 26.06% of the total area of TPA Tamangapa. The results of the modeling for the January daily period occurred at its highest on January 2 with a maximum depth of 0.66 m. While the lowest potential for flooding occurs on January 15, 22, 25 and 27 with a maximum depth of 0.47 m with an average daily flood-affected area of 3.96 Ha with a percentage of 23.72% of the total Tamangapa landfill area. based on the results of mapping on monthly and daily periods, the greatest flood depth that has an impact on TPA Tamangapa occurred in January on the 2nd of 4.35 Ha.

Keywords: *Flood, Precipitation, iRIC Software*



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Ruang Lingkup.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah.....	7
2.2 Banjir.....	8
2.3 Hidrologi Perkotaan.....	10
2.4 Faktor Penyebab Banjir.....	11
2.5 Dampak Banjir Terhadap Lingkungan.....	13
2.6 Curah Hujan.....	14
2.7 Pengukuran Curah Hujan.....	15
2.8 Intensitas Curah Hujan.....	17
2.9 Kondisi Topografi.....	18
2.10 Pemetaan Topografi.....	20
2.11 <i>Digital Elevation Model</i> (DEM).....	22
2.12 Sistem Informasi Geografis (SIG).....	23
2.13 Software iRIC.....	24
BAB III METODE PENELITIAN.....	28
3.1 Rancangan Penelitian.....	28
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	29
3.3 Metode Pengumpulan Data.....	30
3.4 Metode Pengambilan Data.....	31
3.5 Metode Pengolahan Data.....	34
3.6 Metode Analisis Data.....	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	45
4.1 Analisis <i>Drone</i>	45
4.2 Analisis Hidrologi.....	49
4.3 Analisis Simulasi Potensi Banjir.....	55
4.4 Analisis Dampak Banjir.....	66
4.5 Analisis Pemodelan.....	72
KESIMPULAN DAN SARAN.....	76
4.6 Kesimpulan.....	76
4.7 Saran.....	77
DAFTAR PUSTAKA.....	78



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 TPA Tamangapa Sistem Open Dumping	8
Gambar 2 Peristiwa Banjir di Kota Makassar	9
Gambar 3 Siklus Hidrologi Perkotaan	10
Gambar 4 Alat Pengukur Hujan Manual	16
Gambar 5 Alat Pengukur Hujan Tipe Hellman	17
Gambar 6 Alat Ukur Pemetaan Topografi Theodolit	20
Gambar 7 Alat Pemetaan Batimetri	21
Gambar 8 Alat Pemetaan Fotogrametri	22
Gambar 9 Proses Pengoperasian <i>Software iRIC</i>	26
Gambar 10 Diagram Alir Penelitian	29
Gambar 11 Lokasi Penelitian TPA Tamangapa, Kecamatan Manggala	30
Gambar 12 Tampilan Setting Pemilihan Grid Aplikasi <i>Pix4DCapture</i>	32
Gambar 13 Proses Pengolahan <i>Align Photos</i> Agisoft Metashape	36
Gambar 14 Proses Pengolahan <i>Build Dense Cloud</i> Agisoft Metashape	36
Gambar 15 Proses Pengolahan <i>Build Mesh</i> Agisoft Metashape	37
Gambar 16 Proses Pengolahan <i>Build Texture</i> Agisoft Metashape	38
Gambar 17 Proses Pengolahan <i>Build DEM</i> Agisoft Metashape	38
Gambar 18 Proses Pengolahan <i>Build Orthomosaic</i> Agisoft Metashape	39
Gambar 19 Peta DEM Olahan Drone dan ASTER GDEM TPA Tamangapa	40
Gambar 20 Diagram Alir Analisis Potensi Banjir dengan <i>Software iRIC</i>	42
Gambar 21 Diagram Alir Analisis Dampak Potensi Banjir dengan Quantum GIS	44
Gambar 22 Peta Citra Olahan <i>Drone</i> TPA Tamangapa	45
Gambar 23 Peta <i>Digital Terrain Model (DTM)</i> Olahan <i>Drone</i> TPA Tamangapa	46
Gambar 24 Peta Digital Elevation Model ASTER GDEM TPA Tamangapa	47
Gambar 25 Grafik Perbandingan RMSE DTM Drone dan ASTER GDEM	48
Gambar 26 Kurva Intensitas-Distribusi-Frekuensi Periode Bulanan	53
Gambar 27 Kurva Intensitas-Distribusi-Frekuensi Periode Harian	55
Gambar 28 Hasil Simulasi Banjir Periode Bulan Januari	56
Gambar 29 Hasil Simulasi Banjir Periode Bulan Februari	57
Gambar 30 Hasil Simulasi Banjir Periode Bulan Maret	57
Gambar 31 Hasil Simulasi Banjir Periode Bulan April	58
Gambar 32 Hasil Simulasi Banjir Periode Bulan Mei	58
Gambar 33 Hasil Simulasi Banjir Periode Bulan Juni	59
Gambar 34 Hasil Simulasi Banjir Periode Bulan Juli	59
Gambar 35 Hasil Simulasi Banjir Periode Bulan Agustus	60
Gambar 36 Hasil Simulasi Banjir Periode Bulan September	60
Gambar 37 Hasil Simulasi Banjir Periode Bulan Oktober	61
Gambar 38 Hasil Simulasi Banjir Periode Bulan November	61
Gambar 39 Hasil Simulasi Banjir Periode Bulan Desember	62
Gambar 40 Hasil Simulasi Banjir Periode Harian 1 - 6 Januari	63
Gambar 41 Hasil Simulasi Banjir Periode Harian 7 - 12 Januari	63
Gambar 42 Hasil Simulasi Banjir Periode Harian 13 - 18 Januari	64



Gambar 43 Hasil Simulasi Banjir Periode Harian 19 - 24 Januari	65
Gambar 44 Hasil Simulasi Banjir Periode Harian 25 - 31 Januari	65
Gambar 45 Peta Potensi Banjir TPA Tamangapa Periode Bulanan	67
Gambar 46 Peta Potensi Banjir TPA Tamangapa Periode Harian 1 - 16 Januari	69
Gambar 47 Peta Potensi Banjir TPA Tamangapa Periode Harian 17 - 31 Januari	70
Gambar 48 Validasi Titik Banjir Area Kolam Lindi	73
Gambar 49 Validasi Titik Banjir Area Drainase TPA	74
Gambar 50 Validasi Titik Banjir Area Belakang TPA Tamangapa.....	74
Gambar 51 Validasi Hasil Simulasi Potensi Banjir TPA Tamangapa	75



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Klasifikasi Intensitas Hujan	18
Tabel 2 Metode Pengumpulan Data Penelitian	31
Tabel 3 Perbandingan DEM Olahan Drone dan ASTER GDEM	47
Tabel 4 Curah Hujan Rancangan Periode 1 Tahun	50
Tabel 5 Rekapitulasi Intensitas Curah Hujan Periode Bulanan	52
Tabel 6 Intensitas Curah Hujan Periode Harian	53
Tabel 7 Rekapitulasi Luas Kedalaman Potensi Banjir TPA Tamangapa Periode Bulanan	67
Tabel 8 Rekapitulasi Persentase Luas Dampak Potensi Banjir TPA Tamangapa Periode Bulanan	68
Tabel 9 Rekapitulasi Luas Kedalaman Potensi Banjir TPA Tamangapa Periode Harian	70



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Curah Hujan Tahun 2001 Stasiun Tamangapa	81
Lampiran 2 Data Curah Hujan Tahun 2002 Stasiun Tamangapa	83
Lampiran 3 Data Curah Hujan Tahun 2003 Stasiun Tamangapa	85
Lampiran 4 Data Curah Hujan Tahun 2004 Stasiun Tamangapa	87
Lampiran 5 Data Curah Hujan Tahun 2005 Stasiun Tamangapa	89
Lampiran 6 Data Curah Hujan Tahun 2006 Stasiun Tamangapa	91
Lampiran 7 Data Curah Hujan Tahun 2007 Stasiun Tamangapa	93
Lampiran 8 Data Curah Hujan Tahun 2008 Stasiun Tamangapa	95
Lampiran 9 Data Curah Hujan Tahun 2009 Stasiun Tamangapa	97
Lampiran 10 Data Curah Hujan Tahun 2010 Stasiun Tamangapa	99
Lampiran 11 Data Curah Hujan Tahun 2011 Stasiun Tamangapa	101
Lampiran 12 Data Curah Hujan Tahun 2012 Stasiun Tamangapa	103
Lampiran 13 Data Curah Hujan Tahun 201 Stasiun Tamangapa	105
Lampiran 14 Data Curah Hujan Tahun 2014 Stasiun Tamangapa	107
Lampiran 15 Data Curah Hujan Tahun 2015 Stasiun Tamangapa	109
Lampiran 16 perhitungan Intensitas Curah Hujan Periode Bulanan.....	111
Lampiran 17 Perhitungan Intensitas Curah Hujan Periode Harian.....	120
Lampiran 18 Solver Log Pemodelan Banjir iRIC Periode Bulanan	125
Lampiran 19 Solver Log Pemodelan Banjir iRIC Periode Harian.....	134
Lampiran 20 Contoh Kuisisioner Wawancara.....	139
Lampiran 21 Dokumentasi Penelitian.....	140



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT Tuhan yang Maha Esa yang atas segala berkah, rahmat dan karunia-Nya. Tak lupa shalawat serta salaam kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW sebaik-baiknya suri tauladan. Dengan begitu, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul ‘Analisis Spatial dan Simulasi Potensi Banjir di Wilayah TPA Tamangapa, Makassar’, yang merupakan salah satu syarat kelulusan studi Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Pada proses penyusunan tugas akhir ini penulis tidak jarang menemukan kesulitan.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa terselesaikannya Tugas Akhir ini tidak hanya dari penulis sendiri melainkan berkat ilmu, arahan, bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak. Namun, berkat motivasi dan dukungan dari berbagai pihak, kesulitan tersebut akhirnya dapat teratasi. Oleh karena itu melalui Tugas Akhir ini dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. **Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.**, selaku Rektor Universitas Hasanuddin, beserta jajarannya.
2. **Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., IPM., ASEAN.Eng.**, selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
3. **Ibu Dr. Eng. Ir. Muralia Hustim, S.T., M.T., IPM.**, selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan
4. **Ibu Dr. Eng. Ir. Asiyanthi T. Lando, S.T., M.T.**, selaku Sekretaris Departemen Teknik Lingkungan.
5. **Bapak Dr. Eng. Ibrahim Djamaluddin, S.T., M. Eng.**, selaku dosen pembimbing I dan **Bapak Dr. Eng. Irwan Ridwan Rahim, S.T., M.T.**, selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan arahan dalam kepada penulis dari awal penelitian hingga selesainya tugas akhir ini. Semoga kebaikan dan kesehatan senantiasa dilimpahkan kepada beliau.
6. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Lingkungan serta seluruh staf administrasi Departemen Teknik Lingkungan yang selalu siap sedia membantu mahasiswa dalam menyelesaikan berkas-berkas.

Yang teristimewa penulis mempersembahkan kepada :

1. Kepada orang tua tercinta yaitu ayahanda **Muhammad Irfan Rahim** dan ibunda yang sangat tercinta dan tersayang **Irma Hamzah** serta nenek yang terkasih **Hj. Nurpiah Saleng** atas semangat, doa dan kasih sayang yang begitu tulus tiada hingga dan tiada henti serta dukungan, baik spritual maupun materil.
2. Keluarga besar di **Hertasning** dan **Batesalapang** tercinta atas semua kasih sayang yang begitu tulus. Terimakasih telah menjadi tempat pulang penulis, menyemangati, mendorong dan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
3. **Muhammad Fikri Pratama**, yang membersamai penulis selama dua tahun akhir masa perkuliahan dan berperan penting dalam penyelesaian Tugas Akhir penulis. Terima kasih telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas Akhir serta memberi segala dukungan, semangat, motivasi, getahuan, dan makna hidup bagi penulis. Atas segala perjalanan yang



dilalui, terima kasih lagi sudah mengajarkan untuk tetap maju dan melanjutkan hingga akhir.

4. **Nur Ramadanti**, yang sudah menjadi seperti saudara penulis terima kasih telah menjadi partner dalam hal apapun selama masa perkuliahan, baik dalam kelompok maupun individu, dalam suka maupun duka, dalam cinta maupun benci. Terima kasih untuk selalu ada dan berperilaku baik terhadap penulis melebihi penulis sendiri, segala syukur dan rasa sayang tersurat penulis disampaikan.
5. Saudari-saudari **Kuartet Danti, Fila, dan Kevina** yang menjadi tempat bercerita dan berkeluh kesah penulis selama maba hingga hari ini. Terima kasih atas segala perjalanan di perkuliahan yang telah dilalui bersama, dan telah bertahan hingga saat ini dengan penulis dalam menyelesaikan studi bersama-sama. Semoga tali persahabatan ini membersamai hingga akhir.
6. **Keluarga Sou Nuzul, Risma, Prisil, Lala, dan Inzar** yang memberikan warna begitu indah dalam kisah perkuliahan serta saling menyemangati dalam menyelesaikan Tugas Akhir agar bisa melaksanakan wisuda di periode yang sama. Terima kasih karena selalu siap sedia kapanpun dibutuhkan dan menjadi pendengar yang baik. Semoga tetap menjadi keluarga sampai tua hingga menjadi Keluarga Besar SOU.
7. Sahabat-sahabat **BAPERX; Tania, Pute, Debby, Adela, Sarah, Liza, dan Mba Mil** yang telah menemani dari masa putih abu-abu hingga saat ini. Terimakasih atas segala canda dan tawa yang diciptakan sehingga memberi semangat bagi penulis selalu.
8. Teman-teman **ABP (Anak Buah Pertamina) Danti, Lala, dan Syauqi** yang telah menjadi partner selama KP dan menemani perantauan di Pulau Jawa serta saling menyemangati hingga penyelesaian Tugas Akhir ini. Terimakasih atas pengalaman yang tidak terlupakan dan memberi canda tawa dan tangis selama perjalanan hingga penyelesaian KP penulis.
9. Teman-teman **Teknik Lingkungan angkatan 2019** yang memberikan pengalaman, bantuan, dan kerjasama selama masa perkuliahan.
10. Semua pihak yang telah turut serta membantu dalam penulisan tugas akhir yang tidak dapat penulis sebut satu persatu.

Adapun dalam penyusunan tugas akhir ini, saya ucapkan permohonan maaf apabila ada kesalahan kata pada tugas akhir ini. Dengan demikian, kritik dan saran untuk tugas akhir sangat diperlukan guna memberikan dampak yang lebih baik kedepannya. Akhir kata saya ucapkan terima kasih dan sekiranya tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Sekian dan terima kasih.

Gowa, Agustus 2023

Penulis



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kejadian banjir di dunia telah meningkat secara signifikan dalam 30 tahun terakhir. Banjir dapat berupa genangan pada lahan yang biasanya kering seperti pada lahan pertanian, permukiman, maupun pusat kota. Banjir dapat terjadi karena debit air yang mengalir pada suatu sungai maupun saluran drainase melebihi atau diatas kapasitas pengalirannya. Genangan air yang tinggi dalam waktu lama dan sering, akan menjadi persoalan yang mengganggu kegiatan manusia. Dalam sepuluh tahun terakhir ini, luas area dan frekuensi banjir semakin bertambah dengan kerugian yang makin besar. Banjir menjadi perhatian penting karena berdampak pada kehidupan masyarakat, termasuk kerugian materi dan nyawa manusia (Rosyidie, 2013).

Banjir merupakan salah satu peristiwa alam yang sering terjadi di negara tropis termasuk di Indonesia. Indonesia merupakan negara iklim tropis dengan curah hujan sangat tinggi. Intensitas hujan yang tinggi selama 6 bulan sangat bermanfaat bagi pengelolaan irigasi pertanian dan sumber cadangan air tanah. Akan tetapi pesatnya pembangunan infrastruktur membuat lahan serapan air berkurang. Hal ini menimbulkan air hujan banyak terbuang pada aliran sungai yang menimbulkan peningkatan volume air, menyebabkan terjadinya banjir di perkotaan dan menimbulkan banyaknya korban jiwa (A. Prasetyo & Setyawan, 2018).

Menurut data statistik Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), mengenai distribusi tipe bencana dan korban jiwa dalam 10 tahun terakhir, banjir menempati urutan kedua dengan 8.066 peristiwa dan jumlah korban jiwa melebihi 21.000 orang. Selain itu, banjir juga merupakan peristiwa alam yang mempunyai tingkat frekuensi terjadinya bencana sebesar 34%. Banjir di Indonesia terjadi hampir setiap tahun di beberapa daerah. Terutama di perkotaan, banjir menjadi masalah yang sangat serius karena adanya pengurangan lahan terbuka hijau dan padatnya populasi.

istiwa banjir di Makassar merupakan masalah yang sering terjadi, selama musim penghujan. Berdasarkan BMKG Kota Makassar kriteria



curah hujan Kota Makassar dikategorikan sangat lebat. Kota Makassar tidak lepas dari permasalahan banjir. Kurangnya area penghijauan serta area rawa sebagai tempat penampungan air hujan sudah berubah ahli fungsi lahan menjadi area perumahan, perdagangan dan jasa (Bongi et al., 2020).

Salah satu wilayah yang rentan terhadap peristiwa banjir di perkotaan adalah daerah sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Bahkan untuk TPA sendiri pun berpotensi terkena dampak buruk dari peristiwa banjir. Sampah yang tidak terkelola dengan baik dapat mempengaruhi aliran air dan sistem drainase sehingga memperparah banjir. TPA juga dapat menjadi sumber pencemaran air dan udara yang dapat mengganggu kesehatan masyarakat. Endapan sampah yang diakibatkan oleh genangan, dapat menutup akses dan menjadi sumber racun serta tempat berkembangbiaknya penyakit. Hal ini juga berdampak pada sistem pengelolaan TPA yang menyebabkan tercemarnya racun ke dalam air tanah (Lamond et al., 2012). Oleh karena itu, analisis simulasi potensi banjir di sekitar wilayah TPA perlu dilakukan untuk mengurangi resiko banjir terhadap lingkungan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Mahardy (2014), mengenai pemetaan daerah rawan banjir di Kota Makassar, Kecamatan Manggala yang mencakup area TPA Tamangapa Kota Makassar termasuk ke dalam daerah rawan banjir dengan luas wilayah terdampak sebesar 1129,43 Ha. Adapun penelitian menurut Karamma (2021), yaitu revitalisasi sistem drainase Kota Makassar dengan menggunakan debit rancangan banjir berdasarkan data curah hujan historis. Hasil yang didapatkan dengan potensi banjir pada Sungai Tallo menyebabkan beberapa kecamatan terdampak banjir salah satunya Kecamatan Manggala seluas 6,48 km².

Simulasi banjir adalah proses pemodelan banjir yang dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak khusus yang dapat mensimulasikan kondisi banjir di suatu wilayah. Untuk mengelola limpasan yang dihasilkan di daerah tangkapan air perkotaan dan masalah genangan air lokal, beberapa model numerik salah satunya model satu dimensi (1D) yang menganalisis interaksi kompleks antara curah hujan dan banjir untuk menghasilkan sistem yang optimal. Dalam model



1D, topografi direpresentasikan sebagai serangkaian penampang dan sebagai permukaan, dimana model menganalisis limpasan untuk luasi ketinggian air dan kecepatan rata-rata pada setiap penampang

(Hunter, Bates, Horritt, & Wilson, 2007). Salah satu model hidrolis 1D yang banyak digunakan dalam penelitian adalah HEC-RAS yang merupakan program aplikasi untuk memodelkan aliran di sungai, satu dimensi baik aliran permanen maupun tak permanen. HEC-RAS memiliki empat komponen model satu dimensi: 1) hitungan profil muka air aliran permanen, 2) simulasi aliran tak permanen, 3) hitungan transpor sedimen, dan 4) hitungan kualitas air. Satu elemen penting dalam HEC-RAS adalah keempat komponen tersebut memakai data geometri yang sama. Meskipun model ini efisien secara komputasi, model ini menunjukkan keterbatasan tertentu; yaitu diskritisasi topologi topografi sebagai penampang dataran banjir, subjektivitas lokasi dan orientasi penampang, dan ketidakmampuan simulasi difusi lateral gelombang banjir (Dhanapala et. al, 2022).

Berbeda dengan pemodelan hidrolis dua dimensi (2D), topografi digambarkan sebagai permukaan menggunakan teknik meshing. Limpasan dalam model 2D dibiarkan mengalir dalam arah memanjang dan lateral tanpa mempertimbangkan kecepatan dalam arah tegak. Hubungan aliran lateral antara saluran dan dataran banjirnya dapat dengan mudah digambarkan dalam model ini karena ilustrasi medan sebagai permukaan yang kontinu. Model 2D mampu menyelesaikan persamaan aliran air, baik pada bidang memanjang maupun lateral serta memberikan informasi tambahan yang rinci mengenai dataran banjir dan memungkinkan visualisasi luas banjir. Hal ini menjadikan model 2D lebih unggul daripada model 1D (Schmitt et. al, 2002). Beberapa model hidrolis 2D yang digunakan dalam penelitian sebelumnya adalah MIKE 21 (Carr & Smith, 2007), RiverCAD (Vijay dkk., 2007), dan Nays2DFlood pemecah masalah (Nelson dkk., 2015).

Simulasi banjir dapat memberikan informasi penting tentang kejadian banjir, seperti kedalaman air, luas wilayah yang terkena banjir, kecepatan aliran air, dan tingkat kerusakan yang mungkin terjadi. Analisis tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan data historis banjir dan data cuaca seperti curah hujan, serta melakukan survei lapangan untuk mengidentifikasi faktor-faktor risiko banjir di



TPA. Salah satu perangkat lunak yang dapat mensimulasikan banjir adalah *national River Interface Cooperative* (iRIC). *Nays2DFlood* (perangkat [C]) dipilih dari model yang disebutkan di atas untuk digunakan dalam

penelitian ini. Ini adalah salah satu model sumber terbuka yang dikembangkan baru-baru ini untuk menganalisis aliran banjir di sistem sungai maupun perkotaan. Keuntungan utama model ini adalah memerlukan jumlah variabel masukan yang lebih sedikit dibandingkan model lainnya. Data yang dibutuhkan adalah topografi yaitu DEM dan inflow di masing-masing daerah tangkapan suatu lokasi yang ditentukan. *Nays2DFlood* dapat diterapkan pada sistem alam apa pun dan terbukti dapat memprediksi hasil yang dapat diandalkan (Wangsa, 2014).

Dalam penelitian ini, perangkat lunak iRIC yaitu Nays2DFlood telah digunakan untuk pertama kalinya untuk menilai kinerja model dan kemampuannya untuk memprediksi besaran dan luas banjir di daerah tangkapan air perkotaan. Model ini digunakan untuk mensimulasikan aliran saluran air hujan di Delhi menggunakan iRIC dan memeriksa kesesuaiannya dalam penerapan banjir untuk daerah tangkapan air perkotaan. Makalah ini dapat membantu para administrator dalam perencanaan kota untuk memitigasi dampak banjir di daerah tangkapan air perkotaan (Kumar, 2021).

Pada penelitian kali ini, difokuskan pada banjir berupa genangan akibat curah hujan tinggi di Kota Makassar. Dimana apabila potensi banjir terjadi besar maka akan berdampak pada permukiman di Kota Makassar, khususnya wilayah TPA Tamangapa. Hasil analisis dan simulasi banjir di wilayah TPA dan sekitar dapat digunakan sebagai acuan dalam penyusunan rencana mitigasi banjir serta pengelolaan TPA yang berkelanjutan. Selain itu, hasil analisis tersebut juga dapat digunakan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya pengelolaan sampah yang baik dan pencegahan banjir di wilayah TPA. Dengan demikian, penulis tertarik untuk melakukan analisis simulasi banjir dengan menggunakan bantuan aplikasi iRIC yang berjudul **“Analisis Spasial dan Simulasi Potensi Banjir di Wilayah TPA Tamangapa, Makassar”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, perumusan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

mana pemetaan topografi ketinggian detail di TPA Tamangapa untuk analisis simulasi potensi banjir genangan.



2. Bagaimana mensimulasikan potensi banjir genangan dengan menggunakan ASTER GDEM dan topografi ketinggian detail berdasarkan data historis curah hujan di TPA Tamangapa.
3. Bagaimana dampak potensi banjir genangan dari hasil simulasi yang dilakukan di TPA Tamangapa.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang disebutkan sebelumnya, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk memetakan topografi ketinggian detail di TPA Tamangapa dalam analisis simulasi potensi banjir genangan.
2. Untuk mengetahui potensi banjir genangan dengan menggunakan ASTER GDEM dan topografi ketinggian detail berdasarkan data historis curah hujan di TPA Tamangapa.
3. Untuk mengetahui dampak potensi banjir genangan dari hasil simulasi yang dilakukan di TPA Tamangapa.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai bahan referensi studi potensi banjir di wilayah TPA khususnya TPA Tamangapa dengan analisis simulasi banjir menggunakan aplikasi iRIC. Hasil analisis nantinya dapat digunakan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya pengelolaan sampah yang baik dan pencegahan banjir di wilayah TPA dan sekitarnya. Selain itu, sebagai bahan referensi sekaligus acuan bagi pemerintah dan pihak terkait dalam penyusunan rencana mitigasi banjir dan pengelolaan TPA yang berkelanjutan.

1.5 Ruang Lingkup

Batasan masalah dalam melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut :

Penelitian dilakukan di TPA Tamangapa yang terletak di Kelurahan Tamangapa, Kecamatan Manggala, Kota Makassar.



2. Penelitian menggunakan data curah hujan historis dalam rentang waktu 15 tahun sebelumnya yang diperoleh dari instansi pemerintah yaitu Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Pompengan Jeneberang, dimana memiliki stasiun hujan dengan titik lokasi di Kecamatan Manggala mencakup juga wilayah TPA Tamangapa.
3. Penelitian menggunakan data topografi ketinggian detail TPA yang diambil menggunakan *drone* dan data ASTER GDEM resolusi 30m yang diperoleh dari situs <https://www.earthdata.nasa.gov>
4. Simulasi banjir genangan berpusat di area TPA Tamangapa dengan fokus penelitian area TPA yang tergenang akibat pengaruh curah hujan yang tinggi dan kelebihan air (*overload*) dari sungai diabaikan. Simulasi menggunakan aplikasi *The International River Interface Cooperative* (iRIC).



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah

Menurut SNI 03-3241-1994, Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sampah adalah sarana fisik untuk berlangsungnya kegiatan pembuangan akhir sampah berupa tempat yang digunakan untuk mengkarantina sampah kota secara aman. Berdasarkan Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, TPA adalah tempat untuk memproses dan mengembalikan sampah ke media lingkungan secara aman bagi manusia dan lingkungan. Pengertian tersebut menjelaskan bahwa TPA merupakan tempat terakhir sampah mengalami pengolahan untuk nantinya dikembalikan ke lingkungan secara aman atau dengan kata lain TPA bukan hanya menjadi tempat pembuangan terakhir bagi sampah tetapi juga menjadi tempat terakhir sampah diproses untuk nantinya dikembalikan ke alam. Hal ini tidak sesuai dengan keadaan yang terjadi di Indonesia. TPA di Indonesia banyak yang masih menjadi tempat untuk sekedar membuang sampah secara *open dumping* atau terbuka (Manurung & Santoso, 2019).

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 dan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 03/PRT/M/2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana Dan Sarana Persampahan Dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga Dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga, TPA dengan metode *open dumping* harus ditutup dan diganti dengan metode yang ramah lingkungan, yakni dengan metode lahan urug saniter (*sanitary landfill*) untuk kota besar dan kota metropolitan, dan metode lahan urug terkendali (*controlled landfill*) untuk kota sedang dan kota kecil. Penentuan lokasi TPA di Indonesia diatur dalam SNI-03-3241-1994.





Sumber : <https://www.tvonenews.com/daerah/sulawesi/117593-dlh-makassar-keruk-gunung-sampah-buka-akses-jalan-di-tpa-antang>

Gambar 1 TPA Tamangapa Sistem Open Dumping

Menurut Arianto dalam Dibyantoro (2011) TPA adalah tempat terakhir dari tahapan pengelolaan sampah, dimana sampah akan dikarantina dan diolah untuk mengurangi dampak negatif dari sampah. TPA merupakan tempat dimana sampah mencapai tahap terakhir dalam pengelolaannya dan pembuangan. Produksi sampah pada kota megapolitan lebih tinggi intensitas permasalahannya dibanding kota metropolitan, begitu pula kota metropolitan lebih tinggi tingkat permasalahannya dibanding kota besar. Sampah yang sukar membusuk akan mengakibatkan pencemaran tanah, air tanah, dan kebauan; sedangkan sampah yang dibakar akan menghasilkan gas-gas yang dapat mencemari udara dan air rembesan hasil pembusukan sampah akan menyebabkan pencemaran air (Prasetya & Setyawan, 2022).

2.2 Banjir

Banjir adalah fenomena alam, tetapi menjadi penyebab perhatian serius ketika melebihi kapasitas penanggulangan masyarakat yang terkena dampak, merusak kehidupan dan harta benda. Secara global, banjir adalah peristiwa alam yang dan paling sering terjadi, dimana hal ini mempengaruhi permukiman dan perkotaan. Urbanisasi telah menjadi ciri yang menentukan lahan demografis dunia, dengan populasi kota, desa, dan desa membengkak,



terutama di negara-negara berkembang. Akibatnya, banjir mempengaruhi dan merusak lebih banyak daerah perkotaan, dimana pembangunan yang tidak terencana di dataran banjir, infrastruktur drainase yang menua, peningkatan pengaspalan dan permukaan kedap air lainnya, serta kurangnya kegiatan pengurangan risiko banjir semuanya berkontribusi terhadap dampak yang dialami. Masalah-masalah ini diperparah oleh efek dari perubahan iklim (Jha et al., 2012).

Banjir didefinisikan sebagai tergenangnya suatu tempat akibat meluapnya air yang melebihi kapasitas pembuangan air di suatu wilayah dan menimbulkan kerugian fisik, sosial dan ekonomi (Rahayu dkk, 2009). Banjir perkotaan adalah masalah yang semakin memprihatinkan bagi negara maju dan berkembang. Mereka menyebabkan kerusakan pada bangunan, pekerjaan utilitas, perumahan, aset rumah tangga, hilangnya pendapatan di industri dan perdagangan, hilangnya pekerjaan bagi pencari nafkah harian atau pekerja sementara, dan gangguan pada sistem transportasi. Kerusakan yang disebabkan oleh banjir perkotaan terus meningkat. Oleh karena itu penting untuk memahami penyebab dan dampak berbagai jenis banjir di daerah perkotaan (Jha et al., 2012).



Sumber : <https://news.detik.com/berita/d-5304166/makassar-diguyur-hujan-sepekan-terakhir-hingga-banjir-ini-penjelasan-bmkg>

Gambar 2 Peristiwa Banjir di Kota Makassar



2.3 Hidrologi Perkotaan

Definisi hidrologi merupakan ilmu yang mempelajari tentang air dalam segala bentuknya (cairan, gas, padat) pada, dalam dan di atas permukaan tanah. Siklus air merupakan fokus utama dari ilmu hidrologi. Selama berlangsungnya siklus hidrologi, perjalanan air dari permukaan laut ke atmosfer kemudian ke permukaan tanah dan kembali lagi ke laut yang tidak pernah habis, air akan tertahan sementara di sungai, embung/danau/waduk, dalam tanah sehingga dapat dimanfaatkan oleh manusia atau makhluk lain (Kodoatie dan Roestam Sjarief, 2005). Secara singkat proses hidrologi terdiri dari presipitasi atau turunnya hujan, evaporasi atau penguapan, infiltrasi atau meresapnya air ke dalam tanah, dan *runoff* atau limpasan, baik limpasan permukaan (*surface runoff*) maupun limpasan air tanah (*subsurface runoff*).



Sumber : BMKG, 2023

Gambar 3 Siklus Hidrologi Perkotaan

Melalui ilustrasi pada Gambar 3 dapat dijelaskan bahwa proses siklus hidrologi dapat dimulai darimana saja, mulai dari penguapan, hujan, peresapan atau limpasan akan mengalami siklus yang sama. Proses siklus hidrologi tersebut dapat secara cepat maupun lambat tergantung kondisi fisik alam masing-masing. Keberadaan air di daratan sangat tergantung kemampuan daratan untuk menahan air agar tidak segera menjadi limpasan, semakin besar kemampuan untuk



menahan air, maka semakin banyak air yang meresap kedalam tanah dan akan berfungsi sebagai cadangan, demikian dengan sebaliknya (Kodoatie dan Roestam Sjarief, 2005).

Definisi lain banjir dipaparkan oleh Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah yang menyatakan bahwa aliran air di permukaan tanah (*surface water*) yang relatif tinggi dan tidak dapat ditampung dengan saluran drainase atau sungai, sehingga melimpah ke kanan dan kiri serta menimbulkan genangan/aliran dalam jumlah melebihi normal dan mengakibatkan kerugian pada manusia (Arianda, 2018). Menurut Naryanto (2009), penyebab banjir pada dasarnya disebabkan tiga hal. Pertama, kegiatan manusia yang menyebabkan terjadinya perubahan tata ruang dan berdampak pada perubahan alam. Kedua, peristiwa alam seperti curah hujan sangat tinggi, kenaikan permukaan air laut, badai, dan sebagainya. Ketiga, degradasi lingkungan seperti hilangnya tumbuhan penutup tanah pada daerah aliran sungai, pendangkalan sungai akibat sedimentasi, penyempitan alur sungai dan sebagainya.

2.4 Faktor Penyebab Banjir

Banjir biasanya diakibatkan oleh kombinasi ekstrem meteorologi dan hidrologi, seperti curah hujan dan aliran ekstrem. Namun, hal tersebut juga dapat terjadi sebagai akibat dari aktivitas manusia. Banjir perkotaan biasanya berasal dari kombinasi penyebab yang kompleks. Lingkungan perkotaan tunduk pada kekuatan alam yang sama seperti lingkungan alam dan keberadaan pemukiman perkotaan memperburuk masalah. Daerah perkotaan dapat dibanjiri oleh sungai, banjir pesisir, banjir pluvial dan air tanah, serta kegagalan sistem buatan. Di kota besar dan kecil, lahan terbuka yang dapat digunakan untuk penyimpanan air sangat terbatas. Semua presipitasi dan aliran lainnya harus terbawa sebagai air permukaan atau melalui sistem drainase, yang biasanya dibuat-buat dan dibatasi oleh persaingan permintaan lahan perkotaan. Curah hujan dengan intensitas tinggi dapat menyebabkan banjir ketika sistem drainase tidak memiliki kapasitas yang diperlukan untuk mengatasi terkadang air memasuki sistem pembuangan limbah di satu tempat dan kembali di tempat lain (Jha et al., 2012).



Banjir perkotaan juga disebabkan oleh efek dari perencanaan penggunaan lahan yang kurang atau tidak tepat. Banyak daerah perkotaan menghadapi tantangan urbanisasi yang meningkat dengan meningkatnya populasi dan tingginya permintaan akan lahan. Meskipun ada undang-undang dan peraturan untuk mengontrol pembangunan infrastruktur baru dan berbagai jenis bangunan, peraturan tersebut seringkali tidak ditegakkan dengan baik karena faktor ekonomi atau politik, atau keterbatasan kapasitas atau sumber daya. Hal ini menyebabkan terhambatnya jalur aliran alami air, yang menyebabkan banjir (Jha et al., 2012). Proses terjadinya genangan dan banjir disebabkan oleh faktor kondisi alam dan ulah manusia (Hadi, 2016).

1. Faktor Kondisi Alam

a. Geografi

Apabila kota dibangun di daerah pegunungan akan menyebabkan lahan resapan air tertutup oleh bangunan dan infrastruktur kota menjadikan debit banjir meningkat yang mengancam kota di bagian hilir.

b. Jenis Tanah

Tipe dan distribusi tanah dalam suatu daerah aliran sungai dapat mempengaruhi kontrol aliran bawah permukaan melalui infiltrasi. Jenis tanah yang memiliki tekstur berpasir akan memiliki daya infiltrasi yang lebih tinggi daripada jenis tanah berlempung.

c. Topografi

Pada kondisi topografi yang bergelombang, kota yang berada pada bagian yang rendah akan rawan terkena banjir dan genangan.

d. Geometri Alur Sungai

Kemiringan dasar sungai yang terlalu besar akan menimbulkan gerusan dasar sungai yang menyebabkan konsentrasi sedimentasi pada bagian hilir yang datar, menyebabkan saluran atau sungai cepat menjadi dangkal. geometrik hidrolik seperti bentuk penampang sungai (lebar sungai, kedalaman sungai, material dasar sungai).

Curah Hujan

Curah hujan dengan intensitas tinggi merupakan salah satu faktor penyebab terjadinya banjir dan genangan.



f. Tinggi Pasang Surut Laut

Air pasang dapat memperlambat laju aliran sungai yang menuju ke laut. Saat terjadi banjir yang bersamaan dengan air pasang maka tinggi genangan akan menjadi lebih tinggi sebab terjadinya aliran balik (*back water*).

2. Faktor Ulah Manusia

- a. Penyimpangan Rencana Umum Tata Ruang pada bantaran banjir dan Daerah Aliran Sungai (DAS) yang tidak sesuai dengan peruntukan.
- b. Permukiman di bantaran sungai dan di atas saluran drainase.
- c. Pengambilan air tanah yang berlebihan, menyebabkan terjadinya penurunan lahan.
- d. Pembuangan sampah oleh masyarakat ke dalam saluran drainase.
- e. Pemeliharaan rutin yang terabaikan menyebabkan saluran cepat menjadi dangkal.

2.5 Dampak Banjir Terhadap Lingkungan

Daerah perkotaan yang berisiko terkena banjir sangat terpuak oleh peningkatan dampak banjir yang teramati di seluruh dunia. Tingkat dampak banjir saat ini dan yang diproyeksikan memberikan urgensi pada kebutuhan untuk menjadikan manajemen risiko banjir di permukiman perkotaan sebagai prioritas tinggi dalam agenda politik dan kebijakan. Banjir mempengaruhi pemukiman perkotaan dari semua jenis, dari desa-desa kecil dan kota-kota pasar menengah dan pusat-pusat pelayanan, misalnya di sepanjang Sungai Indus, ke kota-kota besar, dan metropolitan (Jha et al., 2012)

Dampak banjir perkotaan juga khas, mengingat konsentrasi populasi dan aset tradisional yang lebih tinggi di lingkungan perkotaan. Ini membuat kerusakan lebih intens dan lebih mahal. Dampak langsung dari peristiwa besar merupakan risiko terbesar bagi kehidupan dan harta benda. Efek tidak langsung dan sering jangka panjang, seperti penyakit, berkurangnya nutrisi dan peluang pendidikan, dan mata pencaharian, juga dapat mengikis ketahanan masyarakat dan tujuan lainnya, seperti halnya kebutuhan untuk terus-menerus mengatasi sa yang lebih kecil. Dampak tidak langsung seperti itu mungkin sulit untuk



segera diidentifikasi dan lebih sulit lagi untuk diukur dan dinilai. Namun, masyarakat miskin dan kurang beruntung biasanya paling menderita akibat risiko banjir (Jha et al., 2012).

Daerah perkotaan dapat dibanjiri oleh sungai, banjir pantai, banjir pluvial dan air tanah, dan kegagalan sistem buatan. Banjir perkotaan biasanya berasal dari kombinasi penyebab yang kompleks, yang dihasilkan dari kombinasi ekstrem meteorologi dan hidrologi, seperti curah hujan dan aliran ekstrem. Namun, sering juga terjadi akibat aktivitas manusia, termasuk pertumbuhan dan pembangunan yang tidak direncanakan di dataran banjir, atau jebolnya bendungan atau tanggul yang gagal melindungi pembangunan yang direncanakan.

2.6 Curah Hujan

Menurut Tjasyono (2004), curah hujan yaitu jumlah air hujan yang turun pada suatu daerah dalam waktu tertentu. Curah hujan adalah butiran air dalam bentuk cair atau padat di atmosfer yang jatuh ke permukaan bumi. Curah hujan merupakan unsur iklim yang sangat penting bagi kehidupan di bumi. Jumlah curah hujan dicatat dalam inci atau milimeter (1 inci = 25,4 mm). Jumlah curah hujan 1 mm menunjukkan tinggi air hujan yang menutupi permukaan 1 mm, jika air tersebut tidak meresap ke dalam tanah atau menguap ke atmosfer.

Definisi curah hujan menurut Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) adalah ketinggian air hujan yang terkumpul dalam suatu tempat yang datar, tidak menguap, tidak meresap, dan tidak mengalir. Curah hujan merupakan salah satu parameter cuaca yang mana datanya sangat penting diperoleh untuk kepentingan BMKG dan masyarakat yang memerlukan data curah hujan tersebut. Hujan memiliki pengaruh yang sangat besar bagi kehidupan manusia, karena dapat memperlancar atau malah menghambat kegiatan manusia. Oleh karena itu kualitas data curah hujan yang didapat haruslah bermutu dan memiliki keakuratan yang tinggi.

Menurut Anisa et al., (2021) curah hujan yang tinggi pada daerah tropis berasal dari proses konvektif dan terbentuknya awan hujan panas. Hujan arnya disebabkan oleh pergerakan massa kelembaban ke atas, supaya pergerakan ke atas tersebut atmosfer harus pada keadaan tidak stabil. Saat



udara naik, kelembaban dan laju aliran udara ambien berada di antara laju lintasan adiabatik kering dan adiabatik jenuh, terjadi keadaan tidak stabil. Sebab itu, kestabilan pada udara bergantung pada kondisi kelembaban. Maka dari itu, curah hujan tahunan, durasi, intensitas, distribusi dan frekuensi dari waktu ke waktu sangat bervariasi. Terjadinya proses konvektif mengakibatkan intensitas curah hujan pada daerah tropis biasanya tergolong tinggi. Sementara itu di Indonesia persentase curah hujan berkisar dari 8% sampai dengan 37% dengan rata-rata 22% (Mulyono, 2014).

2.7 Pengukuran Curah Hujan

Curah hujan dikumpulkan dalam harian atau setiap periode 24 jam yang diukur setiap pagi hari. Dari data hujan harian dapat dihimpun data curah hujan mingguan, sepuluh harian (dasarian), bulanan, tahunan dan sebagainya. Selanjutnya juga dapat diperhitungkan hari hujannya. Untuk mengetahui banyaknya air hujan, digunakanlah alat penakar hujan. Penakar hujan adalah instrumen yang digunakan untuk mendapatkan dan mengukur jumlah curah hujan pada satuan waktu tertentu. Penakar hujan mengukur tinggi hujan seolah-olah air hujan yang jatuh ke tanah menumpuk ke atas merupakan kolom air. Air yang tertampung volumenya dibagi dengan luas corong penampung, hasilnya adalah tinggi atau tebal, satuan yang dipakai adalah milimeter (mm) (Nurhayati, 2012). Menurut mekanisme ini, alat pengukur hujan dibagi menjadi dua kelompok, yaitu pengukur hujan manual dan pengukur hujan otomatis (perekam).

1. Pengukur Curah Hujan Manual

Ombrometer/Observasi merupakan alat ukur curah hujan yang pengukurannya menggunakan penggaris milimeter dan juga bisa menggunakan mistar biasa. Penakar hujan Observatorium (Obs) merupakan penakar hujan yang harus diukur secara manual dengan menggunakan gelas ukur untuk mengukur air hujan, karena itu tipe penakar hujan ini adalah *non-recording-type* atau tidak dapat mencatat sendiri. Pada alat ini curah hujan dapat diukur dalam satuan harian, bulanan, dan harian. Curah hujan yang tinggi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, contohnya bentuk medan/topografi, arah angin sejajar garis



pantai, arah kemiringan medan, dan jarak tempuh angin pada medan datar. (Anisa et al., 2021).



Sumber : BMKG, 2023

Gambar 4 Alat Pengukur Hujan Manual

2. Pengukur Curah Hujan Otomatis

Salah satu pengukur curah hujan dengan sistem otomatis yaitu penakar *Rain Hellman*. Instrumen ini digunakan di stasiun pengamatan udara darat. Alat tersebut mencatat curah hujan yang telah dikumpulkan dalam bentuk garis pada posisi vertikal dan mencatat nya di kertas talang. Pengamatan dengan menggunakan alat ini dilakukan setiap hari pada jam-jam tertentu meskipun cuaca dalam keadaan baik atau hari sedang cerah. Alat ini membutuhkan pemeliharaan yang cukup sering untuk menghindari keburukan yang terjadi pada alat tersebut. Alat pengukur hujan tipe Hellman ini termasuk alat pengukur hujan *automatic* dimana mampu merekam secara otomatis. Badan utama alat ini berbentuk tabung dengan tinggi 115 cm dan berat ± 14 kg (Anisa et al., 2021).





Sumber : BMKG, 2023

Gambar 5 Alat Pengukur Hujan Tipe Hellman

2.8 Intensitas Curah Hujan

Suroso (2006) menyatakan bahwa intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu di mana air tersebut terkonsentrasi, dengan satuan mm/jam. Besarnya intensitas curah hujan sangat diperlukan dalam perhitungan debit banjir rencana. Berdasar metode rasional durasi adalah lamanya suatu kejadian hujan. Intensitas hujan yang tinggi pada umumnya berlangsung dengan durasi pendek dan meliputi daerah yang tidak sangat luas. Hujan yang meliputi daerah luas, jarang sekali dengan intensitas tinggi, tetapi dapat berlangsung dengan durasi cukup panjang. Kombinasi dari intensitas hujan yang tinggi dengan durasi panjang jarang terjadi, tetapi apabila terjadi berarti sejumlah besar volume air bagaikan ditumpahkan dari langit.

Intensitas hujan yang diperlukan untuk memperkirakan hidrograf banjir rencana dengan cara hidrograf satuan, sehingga perlu diketahui sebaran hujan jam-jaman dengan suatu interval tertentu. Data hujan jam-jaman tersebut digunakan untuk membuat lengkung Intensitas - Durasi - Frekuensi (IDF) dengan persamaan

herman, atau Ishiguro. Apabila yang tersedia adalah data hujan harian, jo (2008) mengusulkan persamaan Mononobe berikut ini untuk



menurunkan kurva IDF. Dalam penelitian ini metode yang akan digunakan adalah metode Mononobe.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{t}\right)^{2/3} \quad (1)$$

Di mana :

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

R₂₄ = Jumlah curah hujan yang terukur (mm)

t = Lamanya curah hujan (jam)

Hal ini membuktikan bahwa terjadinya curah hujan akan mengakibatkan curah hujan yang berintensitas tinggi untuk jangka waktu tertentu (Nurhayati, 2016). Air hujan biasanya dibagi menjadi 6 level sesuai dengan intensitas yang diukur, seperti terlihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Klasifikasi Intensitas Hujan

Tingkatan Hujan	Intensitas Hujan (mm/hari)
Berawan	0
Hujan Ringan	0.5 – 20
Hujan Sedang	20 – 50
Hujan Lebat	50 – 100
Hujan Sangat Lebat	100 – 150
Hujan Ekstrem	> 150

Sumber : BMKG, 2023

2.9 Kondisi Topografi

Menurut Suparno dan Endy (2005), keadaan topografi adalah keadaan yang menggambarkan kemiringan lahan atau kontur lahan, semakin besar kontur lahan berarti lahan tersebut memiliki kemiringan lereng yang semakin besar. Dalam ilmu geografi, topografi artinya adalah studi mengenai permukaan tanah. Topografi erat kaitannya dengan penampakan fisik permukaan bumi di tiap wilayah dan pengaruhnya terhadap kegiatan sosial-ekonomi penduduk di wilayah tersebut. Kondisi topografi suatu wilayah dapat digambarkan dengan peta topografi. Topografi memperlihatkan kondisi kemiringan tanah dan ketinggian tanah dengan garis kontur yang digambarkan secara horizontal atau vertikal (Susanto,



2022). Secara umum, bentuk topografi wilayah dapat dibagi menjadi beberapa jenis:

1. Topografi Lereng / Puncak

Bentuk topografi lereng atau puncak umumnya ditandai paling jelas oleh ketinggiannya. Secara umum, ketinggian dari topografi ini adalah 1.000 mdpl.

2. Topografi Dataran Rendah

Topografi dataran rendah merupakan bentuk topografi yang terdiri dari dataran yang luas, jauh dari pegunungan atau laut, serta berada di ketinggian yang rendah. Topografi dataran rendah umumnya menjadi pusat perkotaan karena wilayahnya yang cocok untuk aktivitas manusia.

3. Topografi Lembah

Topografi lembah berbentuk cekungan yang wilayahnya dikelilingi oleh pegunungan atau sungai.

Parameter-parameter dalam kondisi topografi yaitu elevasi, variasi topografi, gradien dan arah kemiringan akan mempengaruhi terhadap kondisi sungai dan hidrologi daerah pengaliran. Kondisi topografi akan memberikan efek terhadap besarnya limpasan permukaan yang terjadi. Karena adanya variasi dalam bentuk topografi, maka terdapat pembagian jenis topografi berdasarkan kemiringan. Menurut Bruce (1966) dalam Rosita (2003) gradien untuk kemiringan lahan dibagi menjadi 3, yaitu :

1. Daerah dengan kemiringan 0% - 5% disebut tanah datar
2. Daerah dengan kemiringan 5% - 10% disebut tanah landai
3. Daerah dengan kemiringan > 10% disebut tanah berbukit

Masing – masing daerah kemiringan ini akan memberikan kontribusi yang berbeda terhadap nilai koefisien limpasan permukaan (C). Pada akhirnya akan berpengaruh terhadap jumlah limpasan permukaan yang terjadi di daerah tersebut. Daerah – daerah dataran rendah atau cekungan, merupakan salah satu karakteristik wilayah banjir atau genangan.



2.10 Pemetaan Topografi

Pada dasarnya, metode atau cara pemetaan sendiri berkaitan erat dengan alat dan teknik pemetaan yang di gunakan untuk mengetahui posisi atau lokasi objek yang kemudian mendapatkan data hasil dan dilakukan proses selanjutnya. Beberapa metode yang dilakukan tersebut tidak lain adalah untuk mendapatkan suatu gambaran nyata letak posisi lokasi atau koordinat di dalam suatu peta yang mempunyai sistem proyeksi masing-masing wilayah yang di petakan. Teknologi pemetaan sangat didukung oleh alat untuk proses pengumpulan data dan perangkat lunak yang di gunakan untuk mengolah data dan mendapatkan hasil dari semua rangkain kegiatan tersebut dalam satu cara atau metode pemetaan yang di pilih.

1. Pemetaan Darat (Topografi)

Dalam ilmu pemetaan, metode pemetaan di darat lebih dikenal dengan istilah pemetaan topografi. Pemetaan ini dilakukan dengan tujuan mendapatkan posisi atau letak objek di permukaan bumi dengan cara mengukur secara langsung objek menggunakan alat ukur khusus untuk pemetaan. Seperti pita ukur, pesawat ukur (Theodolit), sipat datar (waterpass), dan GPS (Suparno & Endy, 2005).



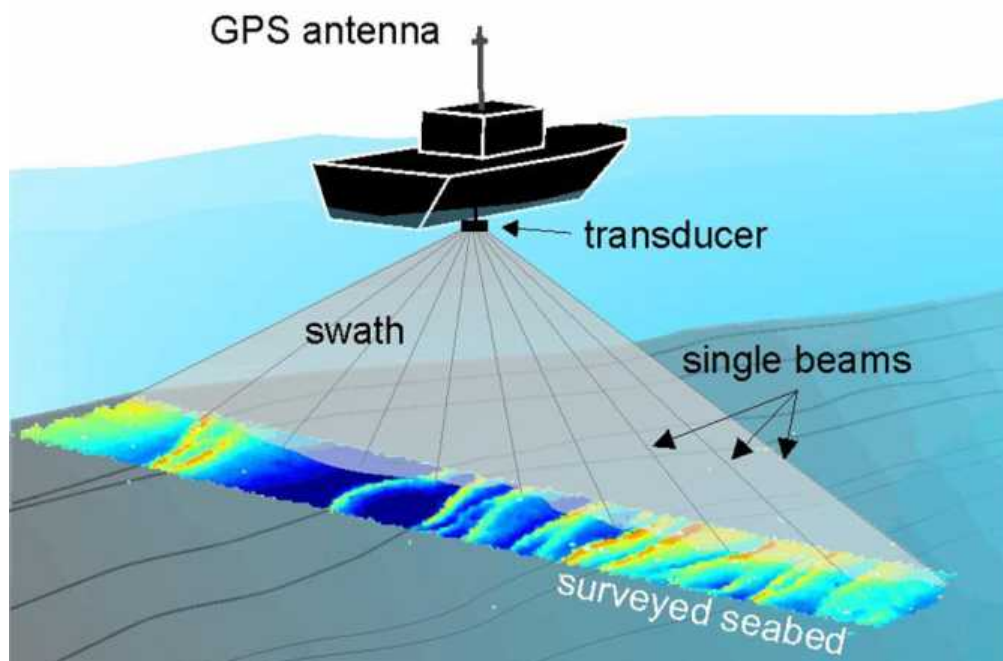
er : Soedomo, 2003

Gambar 6 Alat Ukur Pemetaan Topografi Theodolit



2. Pemetaan Laut (Batimetri)

Pemetaan di laut bertujuan mendapatkan topografi kondisi permukaan di bawah atau di dasar laut. Pemetaan laut lebih dikenal dengan istilah pemetaan batimetri atau suvei hidrografi. Ada beberapa cara untuk mendapatkan data objek pemetaan di bawah laut, seperti alat pemeruman bawah laut (*Echosounder*) dan Lidar khusus yang digunakan untuk pemetaan. Alat tersebut didukung dengan sebuah wahana atau kapal yang digunakan untuk membawa dan merekam kondisi dibawah laut yang dilengkapi dengan GPS yang secara *real time* merekam posisi koordinat yang mempunyai titik referensi koordinat yang tetap dan terkoreksi di darat. Pemetaan batimetri juga mempunyai fungsi untuk dapat menentukan titik nol meter nilai vertikal permukaan topografi di darat, lebih dikenal dengan nilai permukaan laut rata-rata (*mean sea level*) (Poerbandono & Alodia, 2018).



Sumber : <https://www.geoterraindonesia.co.id/jasa-pengukuran-bathymetri/>

Gambar 7 Alat Pemetaan Batimetri

3. Pemetaan Udara (Fotogrametri)

Pemetaan udara dalam ilmu pemetaan dikenal dengan istilah metode pemetaan permukaan bumi dari udara/angkasa atau bahasa ilmu pemetaannya adalah indera jauh (*remote sensing*). Suatu objek dari permukaan bumi diam dari udara dengan berbagi teknik dan metode penginderaan jauh untuk



mendapatkan data dari objek tersebut secara nyata dan diolah menjadi sebuah peta yang bisa mempunyai unsur-unsur yang lengkap. Seperti citra atau gambar dari permukaan bumi secara real time dari waktu ke waktu tertentu (Lillesand & Kiefer, 1979).



Sumber : <http://geosatsurvei.co.id/geosatsurvei/blog/geosat-survei-news/item/43-fotogrametri.html>

Gambar 8 Alat Pemetaan Fotogrametri

Selain itu, untuk memperoleh data objek dalam pemetaan udara ini berbagai macam jenis alat yang digunakan seperti kamera udara, lidar, GPS, dan lainnya. Dalam pemetaan udara, wahana yang digunakan juga bervariasi seperti pesawat udara, satelit luar angkasa, dan pesawat tanpa awak (*drone*) maupun wahana yang khusus digunakan untuk pemetaan seperti UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*). Produk atau hasil dari penginderaan jauh ini sangat mudah dikombinasikan atau diintegrasikan dengan pemetaan topografi darat. Seperti contohnya adalah gabungan citra satelit dan peta bumi yang dewasa ini populer seperti produk google map atau google earth (Harfan et al., 2019).

2.11 Digital Elevation Model (DEM)



Digital Elevation Model merupakan suatu sistem, model, metode dan alat untuk mengumpulkan, prosessing, dan penyajian informasi medan, distribusi spasial oleh nilai-nilai pada sistem koordinat horizontal X, Y, dan karakteristik

medan diwakili oleh ketinggian medan dalam sistem koordinat Z. (Frederic J. Doyle, 1978). Menurut D. R. Prasetyo (2014), DEM merupakan suatu model digital yang mempresentasikan bentuk permukaan bumi dalam bentuk tiga dimensi (3D). Informasi mengenai ketinggian suatu tempat sangatlah penting dalam analisis dan pengolahan data berbasis SIG (Sistem Informasi Geografi).

Dalam literatur lain, (Jesen 1997) dalam D. R. Prasetyo (2014) mengklasifikasikan DEM menjadi dua, yaitu DSM dan DTM. *Digital Surface Model* (DSM) merupakan DEM yang memuat informasi ketinggian semua fitur dipermukaan bumi meliputi: vegetasi, gedung-gedung dan fitur lainnya. *Digital Terrain Model* (DTM) merupakan DEM yang memuat informasi ketinggian permukaan tanah tanpa terpengaruhi oleh vegetasi dan fitur lainnya. Dalam penelitian ini tipe DEM yang digunakan adalah tipe *Detail Terrain Model* (DTM). Penggunaan DEM memungkinkan untuk memunculkan informasi tentang morfologi permukaan tanah yang digunakan dalam prediksi hidrologi. Algoritma untuk mengekstrak struktur topografi dari elevasi digital dan implementasinya dalam berbagai paket Sistem Informasi Geografi (SIG) sebagai sistem pemrosesan raster telah banyak dikembangkan.

(O'Callaghan & Mark, 1984) telah melakukan pendekatan dalam menentukan jaringan drainase dari data *Digital Elevation Model* (DEM) raster didasarkan pada simulasi aliran limpasan. Dimana secara esensial mencakup pengidentifikasian aliran limpasan kearah kemiringan paling curam antara masing-masing sel DEM raster dan sel-sel tetangganya. Pendekatan ini lebih sederhana, dan langsung membangkitkan jaringan yang terhubung. Pendekatan ini dianggap sebagai pendekatan yang lebih baik karena mengandalkan analogi limpasan untuk menetapkan lintasan aliran.

2.12 Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan teknologi yang sekarang banyak digunakan dalam dunia pemetaan. Menurut Wibowo et al. (2015), SIG suatu sistem informasi berbasis komputer yang digunakan untuk menganalisis, mengelola, dan memanggil data spasial yang memiliki geografis. SIG digunakan dalam berbagai bidang seperti tata kota dan



wilayah, geodesi, geografi, pertambangan, pertanian, teknik sipil, dan sebagainya. Secara umum SIG dapat memberikan informasi yang menggambarkan keadaan nyata, memperkirakan suatu hasil dan untuk perencanaan. Pemanfaatan SIG dalam dunia teknik sipil banyak digunakan pada bidang transportasi dan keairan, seperti pembuatan peta jalur evakuasi, peta tata guna lahan, peta resiko banjir, dan peta genangan banjir (Fathulhuda, W. A., 2022).

2.13 Software iRIC

The International River Interface Cooperative (iRIC) dimulai pada tahun 2007 oleh Profesor Yasuyuki Shimizu (Universitas Hokkaido) dan Dr. Jonathan Nelson (*United States Geological Survey, USGS*) dengan tujuan untuk mengembangkan platform perangkat lunak yang disebut iRIC yang berguna untuk simulasi numerik aliran dan morfodinamik di sungai. Selain itu, juga menyediakan seminar dan materi pendidikan untuk mendukung perangkat lunak tersebut. Aplikasi perangkat lunak *The International River Interface Cooperative* (iRIC) menyediakan ruang simulasi sungai terintegrasi. Software iRIC menyediakan lingkungan yang komprehensif dan terpadu di mana data yang diperlukan oleh pemecah analisis sungai dapat divisualisasikan. Aplikasi ini secara umum menggunakan sistem grid sebagai dasar dari analisa numeriknya. Grid digunakan untuk mempermudah pemrosesan data yang banyak sehingga hasil perhitungan bersifat analisis numerik dapat diselesaikan secara maksimal. (iRIC ELIMO MANUAL, 2013).

Secara umum pengoperasian simulasi menggunakan perangkat lunak iRIC mempunyai tiga tahapan utama, yaitu tahap *Pre-Processing*, tahap *Solver Console*, dan tahap *Post-Processing*. Pada tahap *Pre-processing*, data yang telah dikumpulkan akan dimasukkan ke dalam program dengan cara *import* data dengan menggunakan *tools* pada *toolbar*. Ditahap ini pula ditentukan grid sebagai lokasi simulasi yang digunakan untuk pengolahan data. Jika ada data yang kurang maka proses *running* tidak akan berjalan dengan adanya laman peringatan mengenai data

h. Tahap *solver console* adalah tahap pengolahan data yang dilakukan oleh setelah tombol *running* diketik. Lamanya proses ini bergantung pada data yang diolah dan luasan grid yang ditentukan. Untuk tahap *Post-*



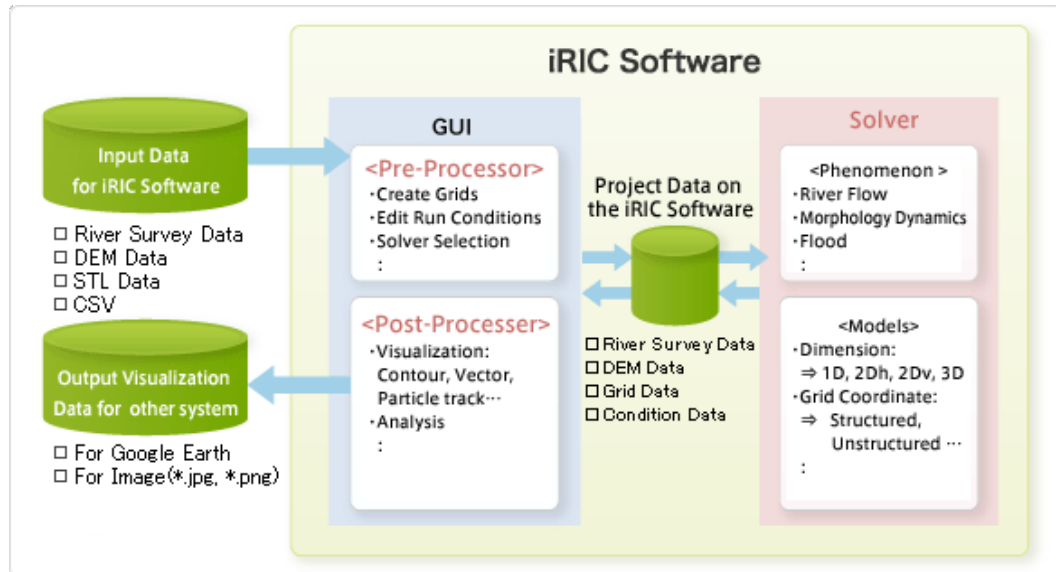
Processing, dapat dilakukan ketika kotak pemberitahuan muncul pada laman *Solver Console*. Dengan adanya laman *Post Processing*, akan membuat proses akhir simulasi dapat terlihat dengan jelas. Proses ini meliputi pembuatan grafik ataupun animasi dari pergerakan air yang ditampilkan. Ketiga tahap iRIC ini merupakan rangkaian yang harus dilalui agar dapat menjadi informasi dari simulasi ini. Jika terdapat data yang tidak diinginkan pada saat melakukan simulasi maka simulasi dapat diulang melalui proses perbaikan pada tahap *pre-processing*.

Software ini sangat fleksibel sehingga memungkinkan pengguna untuk melakukan pemindahan hasil analisis dari solver iRIC, atau pengguna dapat menggunakan solver iRIC yang lainnya untuk memadukan hasil analisis yang telah dilakukan. Setelah pengguna melakukan pemilihan solver, iRIC memilih fungsi yang sesuai dan menyimpan ruang atau lingkungan simulasi yang optimal. iRIC terkenal sebagai platform simulasi numerik yang mendukung berbagai jenis solusi komputasi untuk masalah dalam ilmu dan teknik keairan. Awalnya hanyalah alat analisis aliran sungai dan analisis morfodinamik sungai. Namun seiring berjalannya waktu, perangkat lunak ini telah dikembangkan untuk menangani serangkaian masalah yang lebih luas lagi seperti prediksi banjir, curah hujan limpasan, simulasi tsunami, dan sebagainya.

Solver yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Nays2DFlood* yang merupakan salah satu model sumber terbuka yang dikembangkan baru-baru ini, dimana tersedia untuk menganalisis aliran banjir sistem sungai apa pun. Keuntungan utama dari model ini adalah membutuhkan jumlah variabel input yang lebih sedikit dibandingkan dengan model lainnya. Data yang dibutuhkan adalah topografi yaitu DEM dan *inflow* di hulu masing-masing sungai. *Nays2DFlood* dapat diterapkan pada sistem alami apa pun dan ditemukan untuk memprediksi hasil yang andal (Wangsa, 2014).

Dalam penelitian ini, perangkat lunak iRIC dengan solver *Nays2DFlood* telah digunakan untuk menilai kinerja model dan kemampuannya dalam memprediksi besaran dan luasan banjir di daerah tangkapan air perkotaan. Model ini digunakan untuk mensimulasikan aliran di TPA Tamangapa menggunakan iRIC dan memeriksa kesesuaiannya dalam aplikasi banjir untuk tangkapan perkotaan.





Sumber : iRIC-UC, 2023

Gambar 9 Proses Pengoperasian *Software iRIC*

Model tersebut memecahkan persamaan Saint-Venant yang diturunkan dari persamaan Navier-Stokes (2D) (Cook, 2008). Solver membagi gerak aliran menjadi dua sistem koordinat, yaitu sistem koordinat ortogonal (x,y) dan sistem koordinat linier kurva atau koordinat batas bergerak. Dalam sistem koordinat Kartesius, persamaan aliran tidak stabil 2D yaitu kontinuitas dan momentum dapat dinyatakan sebagai (Jang & Shimizu, 2005; Wongsu, 2014).

Persamaan kontinuitas:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

Persamaan momentum:

Dalam arah x,

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\tau_x}{\rho} + D^x + \frac{F_x}{\rho} \quad (3)$$

Dengan,

$$\frac{\tau_x}{\rho} = C_f u \sqrt{u^2 + v^2} \quad (4)$$

$$D^x = \frac{\partial}{\partial x} \left[v_t h \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[v_t h \frac{\partial u}{\partial y} \right] \quad (5)$$

$$\frac{F_x}{\rho} = \frac{1}{2} C_d a_s h_v u \sqrt{u^2 + v^2} \quad (6)$$



Dalam arah y,

$$\frac{\partial(vh)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\tau_y}{\rho} + D^y + \frac{F_y}{\rho} \quad (7)$$

Dengan,

$$\frac{\tau_y}{\rho} = C_f u \sqrt{u^2 + v^2} \quad (8)$$

$$D^y = \frac{\partial}{\partial x} \left[v_t h \frac{\partial v}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[v_t h \frac{\partial v}{\partial y} \right] \quad (9)$$

$$\frac{F_y}{\rho} = \frac{1}{2} C_d a_s h_v u \sqrt{u^2 + v^2} \quad (10)$$

Persamaan di atas yang ada dalam sistem koordinat Cartesian, aturan rantai Jacobian digunakan untuk mengubahnya menjadi sistem koordinat bergerak batas disesuaikan. Metode *Cubic Interpolation Pseudoparticle* (CIP), disebut juga skema Gudunov orde tinggi, digunakan untuk penerapan persamaan aliran air. Variabel-variabel tersebut diinterpolasi secara spasial pada langkah waktu sebelumnya menggunakan interpolasi kubik dengan asumsi bahwa gradien spasial juga diangkut menggunakan persamaan konvektif yang serupa. Informasi tentang sejumlah kecil sel yang berdekatan sudah cukup untuk pendekatan menghitung profil variabel konveksi yang tepat. Perubahan konfigurasi aliran dan dataran banjir dihitung secara numerik pada langkah waktu terkecil yang diperbolehkan oleh kriteria CFL.

