

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Banjir Rob Karena Kenaikan Muka Air Laut

Kenaikan permukaan laut disebabkan oleh perubahan iklim telah diketahui dapat meningkatkan permukaan air di seluruh pesisir dunia, dan jika tidak dilakukan adaptasi yang tepat maka hal ini akan menimbulkan bahaya banjir dan dampak negatif lainnya (Nicholls et al., 2021). Saat ini yang terkena dampak adalah rawa di dataran rendah pesisir dan dataran pantai. Genangan banjir dapat diperburuk oleh banjir yang disebabkan curah hujan yang ekstrim dan tidak dapat diprediksi. Oleh karena itu, hal tersebut dapat membuat lebih buruk selama musim hujan.

Hampir setiap kota di dunia rawan terkena bencana (Wahyuni, 2020) terutama pada daerah pesisir yang diakibatkan oleh tingginya penurunan muka tanah dan kenaikan muka air laut (Erlani & Nugrahandik, 2019). Selama beberapa dekade terakhir, banjir rob telah terbukti menjadi salah satu bencana paling serius yang dihadapi wilayah pesisir Jawa. Banjir rob sangat rentan terjadi di daerah pesisir yang terbentuk oleh proses sedimentasi geologis (Dedekorkut-Howes, 2020).

Menurut Syafitri dan Rochani (2021) naiknya air laut ke daratan dapat diartikan sebagai genangan banjir rob. Genangan banjir rob juga dipengaruhi oleh permukaan air laut yang lebih tinggi dari permukaan tanah. Banjir rob dapat berakibat pada kerusakan fasilitas umum, kurangnya air bersih, terganggunya transportasi umum, bahkan dapat menenggelamkan rumah dan kawasan terdampak.

2.2 Curah Hujan

Hujan adalah sebuah peristiwa turunnya butir-butir air yang berasal dari langit ke permukaan bumi (Dimas, 2022). Menurut Ruswanti (2020) curah hujan merupakan sejumlah air yang jatuh pada permukaan tanah datar selama periode tertentu yang diukur dengan satuan tinggi milimeter (mm) di atas permukaan horizontal dalam suatu periode tertentu. Curah hujan dapat diukur dalam skala harian, bulanan, serta tahunan. Curah hujan sangat berpengaruh di berbagai aspek aktivitas kehidupan manusia dan pada kenyataannya curah hujan sulit untuk dikendalikan dan dimodifikasi, kecuali dalam skala kecil (Tresnaini, 2020). Menurut Nasrullah et al., (2023) curah hujan dengan intensitas tinggi atau ekstrim berdampak terhadap berbagai sektor, salah satu dampak yang mungkin terjadi akibat oleh curah hujan tinggi tersebut adalah

ancaman potensi banjir yang dapat mengganggu kehidupan masyarakat hingga menimbulkan korban jiwa. Penanganan permasalahan banjir tidak dapat dipisahkan dari adanya infrastruktur pengendalian banjir, misalnya bendungan, jaringan irigasi, saluran drainase, dan lainnya. Oleh karena itu, diperlukan informasi mengenai curah hujan maksimum dengan periode tertentu. Dampak kerusakan yang diakibatkan oleh banjir sangat merugikan masyarakat sehingga upaya mitigasi bencana banjir sangat diperlukan guna meminimalisir dampak yang terjadi (Rakuasa & Latue, 2023).

Berdasarkan data dari BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika), distribusi rata-rata curah hujan terbagi ke dalam tiga pola hujan, yakni:

- Pola Hujan Monsoon, yaitu wilayah dengan pola hujan ini memiliki perbedaan yang jelas antara periode musim hujan dan musim kemarau dengan ciri memiliki satu puncak musim hujan.
- Pola Hujan Equatorial, yaitu memiliki memiliki dua puncak musim hujan maksimum dan hampir sepanjang tahun masuk dalam kriteria musim hujan.
- Pola Hujan Lokal, memiliki distribusi hujan yang berkebalikan dengan pola monsoon. Pola hujan lokal ditandai dengan satu puncak hujan, namun bentuknya berlawanan dengan tipe hujan monsoon. Menurut informasi yang diperoleh dari BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika), terdapat 5 kategori dalam menentukan intensitas hujan pada wilayah Indonesia, berikut rinciannya dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1
Intensitas Curah Hujan Di Wilayah Indonesia

Kategori	Intensitas Curah Hujan
(1)	(2)
Ringan	0,5 – 20 mm/hari
Sedang	20 – 50 mm/hari
Lebat	50 – 100 mm/hari
Sangat Lebat	100 – 150 mm/hari
Ekstrem	>150 mm / hari

Sumber: BMKG. (2024). Probabilistik Curah Hujan 20 mm (tiap 24 jam)

2.3 Angin

Salah satu komponen yang dapat mempengaruhi cuaca dan iklim adalah angin. Angin adalah pergerakan udara yang disebabkan oleh perbedaan tekanan udara, yang menyebabkan hembusan atau tiupan di suatu tempat atau daratan (Bachtiar & Hayattul, 2018). Energi dari hembusan angin yang menghantam ke permukaan air laut akan berpindah ke menjuru air. Hal ini menyebabkan angin menimbulkan tegangan pada permukaan laut, sehingga muncul adanya gelombang kecil pada permukaan air. Adanya pertambahan kecepatan angin dapat berakibat terhadap gelombang air yang semakin besar (Syafitri & Rochani, 2021). Menurut Bachtiar & Hayattul (2018), angin memiliki beberapa jenis yaitu:

a. Angin Darat dan Angin Laut

Angin darat terjadi pada malam hari karena suhu di laut pada malam hari sangat tinggi akibat air laut dapat menahan panas matahari pada siang hari. Angin laut terjadi pada siang hari karena suhu daratan lebih tinggi akibat pantulan panas matahari merenggangkan udara di daratan.

b. Angin Gunung dan Angin Lembah

Pada saat malam hari, angin pegunungan lebih dulu mendingin dibandingkan dengan lembah masih hangat. Ketika siang hari, angin pegunungan lebih dulu mendapat pemanasan dibandingkan lembah.

c. Angin Siklon dan Angin Antisiklon

Angin siklon adalah udara yang bergerak dari pusat tekanan udara tinggi ke pusat tekanan udara rendah. Angin antisiklon bergerak dari pusat tekanan udara tinggi ke pusat tekanan udara rendah, membuatnya lebih rendah.

d. Angin Fohn

Angin fohn berasal dari pemanasan dinamis udara yang turun diikuti dengan penurunan kelembapan relatif.

e. Angin Munson Barat

Angin monsun barat terjadi dari bulan Oktober hingga bulan April. Selama bulan tersebut, matahari berada di belahan bumi selatan, sehingga suhu di belahan bumi selatan lebih tinggi daripada di belahan bumi utara, dan angin bertiup dari utara menuju selatan.

f. Angin Munson Timur

Pada bulan April dan Oktober, angin monsoon timur terjadi ketika matahari berada di belahan bumi utara. Hal tersebut mengakibatkan tekanan tinggi di benua Australia selama musim dingin, sementara tekanan rendah di benua Asia selama musim panas.

Negara Indonesia memiliki dua musim, yaitu musim hujan dan musim kemarau. Pada umumnya, musim hujan di Indonesia terjadi pada bulan Maret sampai bulan Oktober dan musim kemarau terjadi pada bulan April hingga bulan September (Rahayu & Bashit, 2018). Kecepatan pada angin dapat diukur dengan anemometer. Anemometer merupakan alat yang digunakan secara luas di bidang meteorologi dan geofisika, dan digunakan untuk perkiraan cuaca, seperti pada pos pemantauan gunung berapi, serta di Laboratorium Meteorologi dan Geofisika (Mulyana & Ibrahim, 2019).

2.4 Peta Banjir

Peta bahaya banjir adalah sarana yang paling penting untuk menganalisis manajemen bahaya dan resiko banjir. Selama beberapa tahun terakhir, telah dilakukan banyak upaya untuk memahami, memprediksi, menganalisis, dan mengukur banjir beserta dampaknya secara global. Data historis dan pemetaan bahaya banjir memiliki peran penting dalam mengidentifikasi potensi area bahaya banjir, intensitas bahaya, kedalaman banjir, dan luas kerusakan wilayah. Ada tiga metode utama untuk membuat peta bahaya banjir, yaitu melalui pendekatan berbasis fisik, empiris, dan pemodelan fisik (Mudashiru et al., 2021).

Menurut Bentivoglio et al. (2022), ada tiga jenis peta banjir utama yang digunakan untuk mengambil langkah-langkah penanggulangan:

- a. Peta luapan atau genangan menentukan area yang tergenang selama atau setelah peristiwa, digunakan untuk tindakan darurat.
- b. Peta kerentanan memberikan klasifikasi kualitatif tentang risiko banjir di suatu daerah berdasarkan karakteristik fisiknya, digunakan untuk tindakan pencegahan.
- c. Peta bahaya banjir menunjukkan penyebaran spasial variabel-variabel yang menggambarkan bahaya banjir dari suatu peristiwa khusus, seperti kedalaman banjir dan luas air, dan digunakan untuk tindakan darurat dan pencegahan.

2.5 Proyeksi Peta Dunia

Peta merupakan representasi dua dimensi dari permukaan bumi yang diperkecil dengan rasio atau skala tertentu pada bidang datar. Peta adalah kumpulan wilayah yang terkait dengan berbagai lokasi geografis, seperti dataran tinggi, dataran rendah, pegunungan, sumber daya, dan kemungkinan kependudukan, yang berdampak pada kehidupan sosial dan budaya. Peta memiliki karakteristik khusus dalam skala yang sesuai (Ahmal et al., 2023). Namun, bumi merupakan benda bulat tiga dimensi yang memiliki permukaan tidak rata. Proses representasi

dari tiga dimensi menjadi dua dimensi menyebabkan adanya perubahan yang harus diperhitungkan kembali untuk mendapatkan nilai seperti sudut, jarak, dan luas yang akurat. Terdapat dua sistem proyeksi yang umum digunakan dalam SIG (Sistem Informasi Geografis), diantaranya Sistem Koordinat Geografis dengan menggunakan *longitude* dan *latitude* (garis lintang dan garis bujur) dan *Universal Transverse Mercator* (UTM).

2.5.1 Sistem Koordinat Geografis

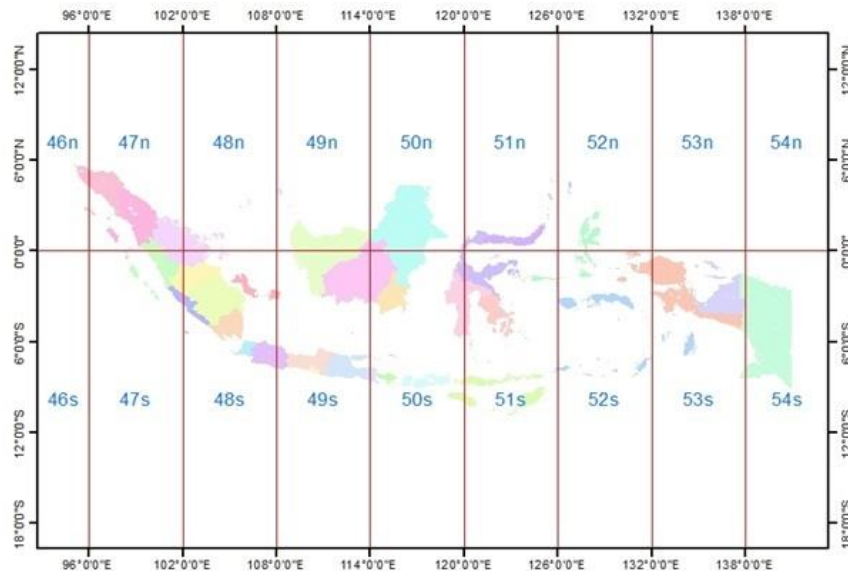
Sistem koordinat geografi adalah suatu sistem koordinat yang diperuntukkan untuk menentukan lokasi suatu titik di permukaan bumi. Suatu titik pada permukaan bumi ditunjukkan dalam koordinat geografis dengan garis lintang dan garis bujur (Basaria et al., 2018). Garis lintang (*Latitude*) merupakan garis horizontal yang mengukur suatu sudut antara garis khatulistiwa atau *equator* dengan suatu titik pada permukaan bumi. Garis khatulistiwa ini berada pada posisi 0° lintang utara (LU) dan 0° lintang selatan (LS). Garis yang berada di atas garis khatulistiwa diberi simbol N atau plus (+), dan garis yang berada di bawahnya diberi simbol S atau minus (-). Sistem ini menggunakan *unit degree* atau derajat (°), tetapi juga menit dan detik, dengan 1 derajat terdapat 60 menit atau 3600 detik.

Garis bujur (*Longitude*) adalah garis vertikal yang mengukur sudut antara suatu titik dengan titik nol bumi, yaitu Greenwich di London Britania Raya. Garis meridian prima adalah garis yang memotong kedua bagian tersebut, dimana garis tersebut terletak pada titik 0° bujur barat (BB) dan 0° bujur timur (BT). Kemudian garis bujur barat dan bujur timur berputar membagi bagian barat dan timur bumi sesuai dengan penamaan arahnya, dan bertemu pada garis 180° BB dan 180° BT, yang disebut dengan garis anti meridian. Garis bujur timur diberi simbol E atau plus (+), serta garis bujur barat diberi simbol W atau minus (-).

2.5.2 *Universal Transverse Mercator* (UTM)

Universal Transverse Mercator (UTM) merupakan sistem koordinat proyeksi, yang dikenal juga sebagai sistem koordinat *Cartesian*. Sistem proyeksi UTM berasal dari sistem proyeksi *Trasfer Mercator*. UTM terbagi menjadi 60 zona dengan lebar setiap zona mencakup 6° dan memiliki meridian tengah tersendiri di tiap zonanya. Koordinat UTM menyatakan proyeksi yang lebih mendetail untuk digunakan dan satuan unitnya ditunjukkan dalam meter (Basaria et al., 2018). Dengan menggunakan sistem koordinat proyeksi UTM, peta menganggap

bahwa suatu wilayah terletak pada bidang datar dengan garis koordinat X (horizontal) yang menghubungkan dari barat ke timur dan garis koordinat Y (vertikal) yang menghubungkan dari utara ke selatan (Astuti et al, 2021). Zona UTM di Indonesia memiliki posisi geografis yang memanjang dari barat ke timur. Seperti pada Gambar 2.1, Zona UTM di Indonesia mencakup zona 46 hingga Zona 54.



Gambar 2.1 Pembagian zona UTM di Indonesia

Sumber: (Zona Universal Transverse Mercator (UTM) Indonesia - GISPEDIA)

Sistem koordinat UTM (Universal Transverse Mercator) memiliki peran yang sangat penting dalam pemodelan hidrodinamika karena memberikan presisi yang tinggi dalam menentukan lokasi geografis di permukaan bumi. Dengan UTM, para peneliti dapat dengan akurat memetakan dan memodelkan bentuk topografi seperti sungai, danau, atau garis pantai. Proyeksi Mercator transversal yang digunakan oleh UTM memastikan konsistensi dalam pengukuran jarak dan arah, yang sangat diperlukan dalam menghitung aliran air, elevasi air, dan parameter hidrologis lainnya dalam pemodelan hidrodinamika.

2.6 Model Hidrodinamika Menggunakan *Delft3D*

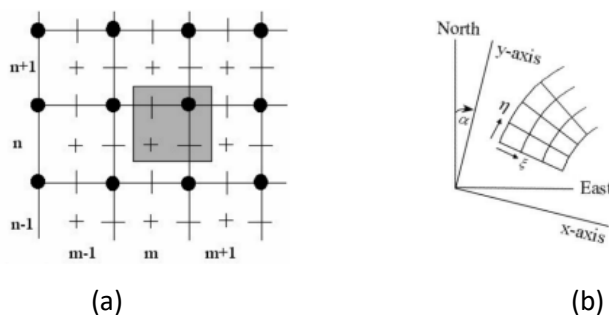
Pada masa lalu, berbagai model numerik telah digunakan untuk melakukan penelitian mengenai transportasi air dan keairan. Pada jaman itu penggunaan pemodelan hidrodinamika masih menggunakan model 2D, dengan menggunakan dimensi ini sudah cukup akurat untuk melakukan pengecekan perkiraan ketinggian air. Pertama kali model hidrodinamika 2D digunakan pada saat badai musim dingin di wilayah Zulawy, Polandia. Ketika badai musim dingin, model ini sangat membantu dalam memperkirakan ketinggian air (Catewicz & Jankowski

Andrzej, 1983). Saat ini pemodelan hidrodinamika dapat dimodelkan dan disimulasikan dengan model 3D menggunakan suatu perangkat lunak yang dikembangkan oleh Deltares, perangkat lunak tersebut bernama *Delft3D* (*Delft3D-flow*, 2014).

Delft3D merupakan *software* yang berguna untuk analisis ekologi daerah pesisir karena dapat melakukan simulasi air atau pemodelan dinamika fluida multidimensi, menghitung debit air, mensimulasikan aliran, serta menganalisis gelombang, sedimen, dan kualitas air (Fahmi & Hafli, 2019). Menurut Setiawan (2021), *Delft3D* adalah perangkat lunak yang dapat digunakan untuk simulasi pada daerah pantai, sungai, dan muara pantai. Penggunaan *Delft3D* membutuhkan perangkat lunak lainnya yaitu *MATLAB*, yang dapat digunakan bersama dengan perangkat lunak lainnya *ArcGIS*. Dalam *Delft3D* memiliki beberapa sistem, seperti *Delft3D-FLOW*, *Delft3D-WAVE* dan lain-lain.

2.6.1 *Delft3D-FLOW*

Delft3D-Flow adalah bagian dalam *Delft3D* yang digunakan untuk menentukan dan memperhitungkan SWE (*Shallow Water Equation*) atau persamaan pada kondisi air dangkal dalam variabel kecepatan dan tinggi ke dalam bentuk 2D atau 3D pada sebuah *grid* (Arizal, 2011). *Grid* merupakan alat bantu yang digunakan dalam simulasi berupa garis yang digunakan untuk menentukan luas area yang akan disimulasikan atau sebagai batasan area yang akan disimulasikan. Terdapat 2 sistem dalam *grid*, yaitu *coordinate cartesian* berbentuk persegi dan *coordinate spherical* berbentuk bola. *Coordinate cartesian* memiliki sifat yang kaku dan hanya memiliki dua parameter: arah vertikal dan horizontal. Di sisi lain, *coordinate spherical* mengikuti garis kontur permukaan Bumi dan memiliki dua parameter, yaitu arah dan tinggi.



Gambar 2.2 (a) *System coordinate cartesian* (b) *System coordinate spherical*

Sumber: *Delft3D Flow. Simulation of Multi-Dimensional Hydrodynamic Flows and Transport Phenomena, Including Sediments*.

Berikut merupakan bagian-bagian yang terdapat dalam *Delft3D-Flow* beserta dengan fungsinya adalah sebagai berikut:

- a. Delft3D-RGFGRID : Membuat segmen dengan bentuk *grid* pada peta topografi.
- b. Delft3D-QUICKIN : Memasukkan data pada *grid* berupa batimetri, water level, dan sanitasi.
- c. Delft3D-TRIANA : Analisis pasang surut dalam interval waktu tertentu.
- d. Delft3D-TIDE : Analisis pasang surut terhadap kecepatan serta water level.
- e. Delft3D-NESTHD : Membuat batasan dari suatu model.
- f. Delft3D-GPP : Memperlihatkan hasil simulasi berupa animasi dan visualisasi.
- g. Delft3D-QUICKPLOT : Berfungsi sama halnya dengan Delft3D-GPP

2.6.2 *Delft3D-WAVE*

Delft3D-WAVE adalah sistem bagian dari *Delft3D* yang dapat mensimulasikan perambatan gelombang di perairan pantai dan juga dapat digunakan di perairan dalam, menengah, maupun dangkal. *File MDW (Master Definition Wave)* adalah input untuk simulasi gelombang dan berisi semua data yang diperlukan untuk pemodelan gelombang serta perhitungan gelombang. *File MDW* akan di impor ke *WAVE-GUI (Graphic User Interface)*, yang merupakan alat yang digunakan untuk memberikan nilai pada semua parameter yang digunakan.

2.7 *HEC-RAS*

HEC-RAS merupakan perangkat lunak yang dipergunakan untuk memodelkan aliran di sungai atau *River Analysis System (RAS)*, yang dibuat oleh *Hydrologic Engineering Center (HEC)* yang merupakan satu divisi di dalam *Institute for Water Resources (IWR)*, di bawah *US Army Corps of Engineers (USACE)*. *HEC-RAS* merupakan perangkat lunak yang dapat digunakan untuk melakukan perhitungan aliran permanen (*steady flow*) dan aliran tak permanen (*unsteady flow*). Terdapat empat komponen model *HEC-RAS* satu dimensi diantaranya perhitungan profil muka air aliran permanen atau tetap, simulasi aliran tak permanen atau tidak tetap, hitungan transpor sedimen, hitungan kualitas air. Komponen-komponen tersebut memperlihatkan dan memperhitungkan profil ketinggian air dengan menggunakan proses iteratif dan menghasilkan output berupa grafik atau tabel. Ada banyak variabel hidraulik, termasuk kurva evaluasi, penampang dan penampang, pola aliran grafik, dan hidrodinamika, termasuk level dan debit

hidraulik. Selain itu, dapat menampilkan kombinasi komponen yang membentuk saluran sungai dalam bentuk 3D lengkap bersama dengan alirannya (Angga, 2022).

2.8 Root Mean Square Error (RMSE)

Root Mean Square Error (RSME) telah digunakan sebagai metrik statistik standar untuk mengukur kinerja model dalam penelitian seperti meteorologi, kualitas udara, dan iklim (Hodson, 2022). Semakin mendekati 0, semakin akurat hasil prediksi. Menurut Evans (1993) dan Bartlett (1998), model hidrodinamika yang dilakukan di laut harus memiliki nilai RMSE muka air sebesar $\pm 0,10$ m/10% untuk pengukuran pasang surut purnama atau ± 15 % untuk nilai pasang surut air laut.

2.9 State of the Art

Ditunjukkan di dalam Tabel 2.2, pada tahun 2022 Ardianto, Ismanto, Widada dan Sampurno melakukan penelitian berjudul *Prediction Model For Tidal Flood Control Using One-way Coupling Scheme in Pontianak, West Kalimantan*. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kekurangan informasi sebelum terjadinya bencana dengan menciptakan sistem prediksi banjir rob jangka pendek di Kota Pontianak menggunakan skema model one-way coupling. Skema tersebut menggabungkan model prediksi cuaca (*WRF-ARF*), model hidrodinamika (*Delft3D*), dan model hidrolik (*HEC-RAS*). Hasil simulasi menunjukkan bahwa potensi wilayah banjir di Pontianak mencakup sekitar 15,10% - 16,03% dari luas total kota. Kesimpulannya, penelitian ini berhasil mengintegrasikan model dalam berbagai aspek dinamis untuk memprediksi banjir rob dan kerangka model yang dikembangkan dapat dijadikan rekomendasi dalam sistem peringatan dini banjir rob.

Di lihat pada Tabel 2.2, di tahun 2023 Iswardoyo dan Satria melakukan penelitian dengan judul Analisis Daerah Terdampak Banjir Bandang Menggunakan *HEC-RAS* 2 Dimensi di Sungai Sat, Kabupaten Pati, Jawa Tengah. Penelitian ini bertujuan untuk Memperkirakan luas area yang terdampak banjir bandang di Sungai Sat, Kabupaten Pati, di masa depan. Dari hasil simulasi, diperkirakan bahwa luas area yang terkena dampak banjir bandang di Sungai Sat, Kabupaten Pati, akan bervariasi tergantung pada periode ulangnya. Untuk periode ulang 2 tahunan, luas dampak diperkirakan mencapai 655 hektar dengan kedalaman air rata-rata sekitar 3,25 meter. Pada periode ulang 25 tahunan, luas dampak meningkat menjadi sekitar 1.017 hektar dengan kedalaman air rata-rata sekitar 3,04 meter, dan untuk periode ulang 50 tahunan, luas dampak diperkirakan mencapai 1.091 hektar dengan kedalaman air rata-rata sekitar 3,01 meter.

Informasi ini penting untuk merencanakan langkah-langkah pencegahan dan penanganan yang lebih efektif guna mengurangi dampak kerugian yang diakibatkan oleh banjir bandang.

Tabel 2.2 menunjukkan penelitian yang dilakukan oleh Zellou dan Rahali pada tahun 2019 dengan judul *Assessment of The Joint Impact of Extreme Rainfall and Storm Surge on The Risk of Flooding in A Coastal Area*. Penelitian ini memeriksa dampak bersama dan hubungan antara hujan lebat dengan tingkat pasang surut yang tinggi terhadap terjadinya dan tingkat keparahan banjir di daerah perkotaan yang berdekatan dengan muara Sungai Bouregreg (Moroko). Hasil penelitian menunjukkan bahwa probabilitas bersamaan dari hujan dan pasang surut tetap relatif rendah hingga sedang, namun, ancaman terbesar bagi wilayah tersebut mungkin lebih disebabkan oleh curah hujan yang intens. Meskipun demikian, pasang surut yang tinggi dapat meningkatkan risiko tambahan dengan mengurangi kapasitas drainase perkotaan untuk menampung air hujan.

Dapat dilihat pada Tabel 2.2 Marengo, Camarinha, Alves, Diniz dan Betts melakukan penelitian pada tahun 2021 dengan judul *Extreme Rainfall and Hydro-Geo-Meteorological Disaster Risk in 1.5, 2.0, and 4.0 C Global Warming Scenarios; An Analysis for Brazil*. Dengan mempertimbangkan karakteristik demografis penduduk yang tinggal di daerah rentan, penelitian ini menggunakan kombinasi model empiris dan iklim untuk memprediksi dampak perubahan iklim dan bencana hidro-geo-meteorologis di Brasil. Fokusnya adalah pada analisis dampak perubahan curah hujan ekstrem dan risiko banjir serta tanah longsor pada tingkat pemanasan global (GWL) 1.5, 2.0, dan 4.0°C. Hasil proyeksi menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam curah hujan lebat seiring dengan pemanasan global, yang berpotensi meningkatkan risiko terjadinya tanah longsor dan banjir bandang. proyeksi masa depan masih menimbulkan ketidakpastian mengenai intensifikasi peristiwa curah hujan ekstrem di bawah tingkat pemanasan 4°C. Hal ini menegaskan pentingnya kebijakan lingkungan untuk melindungi masyarakat dan mengurangi kerugian finansial di masa mendatang, serta menekankan perlunya pengambilan keputusan yang bijaksana, pemantauan, dan sistem peringatan dini dalam mengelola bencana.

Muñoz, Yin, Bakhtyar, Moftakhri, Xue, Mandili dan Ferreira pada tahun 2022 melakukan penelitian berjudul *Inter-model Comparison of Delft3D-FM and 2D HEC-RAS for Total Water Level Prediction in Coastal to Inland Transition Zones* seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.2. Penelitian ini Membandingkan kinerja dua model hidrodinamik yang banyak digunakan (misalnya, 2D HEC-RAS dan *Delft3D-Flexible Mesh* [FM]) sehubungan dengan kemampuannya memprediksi TWL di Delaware Bay, Amerika Serikat. HEC-RAS 2D (versi 5.07) adalah perangkat

lunak non komersial yang lebih mudah diimplementasikan dan dapat menjadi alternatif yang lebih sederhana untuk memodelkan peristiwa ekstrim ketika gaya atmosfer tidak relevan dalam domain model

Pada tahun 2020 Hermawan, Hans, Gunawan, Christian, Tjandra, dan Purnomo melakukan penelitian dengan judul *The utilization of The Numerical hydrodynamic Model To Face Rob Floods in Coastal Areas in The Industrial Revolution Era 4.0 at East Java Indonesia* ditunjukkan pada Tabel 2.2. Penelitian ini Membuktikan bahwa model simulasi hidrodinamik dapat digunakan untuk memperkirakan kenaikan permukaan laut untuk beberapa tahun ke depan di wilayah pesisir. Penentuan jenis konstruksi bangunan teknik sipil yang kuat dan ramah lingkungan agar masyarakat tidak menimbulkan kerugian yang besar dan menjadikan masyarakat pesisir tahan terhadap bencana. Untuk mensimulasikan model hidrodinamik, data batimetri dekat pantai diperoleh dari sonar dan data batimetri lepas pantai dari GEBCO

Seperti yang terlihat pada Tabel 2.2 Jaya, Sari, Saragih, dan Dafitra melakukan penelitian di tahun 2021 dengan judul *Sea-level Prediction for Early Warning Information of Coastal Inundation in Belawan Coastal Area Using Delft3D Model*. Penelitian ini menunjukkan bahwa Genangan di pesisir pantai mempunyai dampak yang besar terhadap lingkungan, seperti rusaknya infrastruktur dan pencemaran tanah dan air. Salah satu upaya pencegahan genangan pantai adalah dengan memprediksi tinggi muka air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model Delft3D dapat mensimulasikan tinggi muka air penyebab terjadinya genangan pantai di wilayah pesisir Belawan.

Pada tahun 2021 Burrahman, Ginting, dan Rahmat melakukan penelitian berjudul *Study of The Influence of Cempaka Tropical Cyclones on The Height of Sea Waves in The South Java Sea Using The Delft3D Application*. Penelitian ini menggunakan Simulasi Model *Delft3D* untuk menyelidiki pengaruh perkembangan siklon tropis Cempaka terhadap kenaikan permukaan laut di daerah pantai dan gelombang tinggi di Laut Jawa Selatan. Data angin FNL dengan resolusi $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$ dan data batimetri GEBCO dengan resolusi *grid* 30 detik digunakan sebagai masukan ke model *Delft3D*. Hasil studi menunjukkan peningkatan tinggi gelombang yang signifikan selama periode siklon tropis Cempaka dengan nilai gelombang signifikan antara 1 hingga 3,5 meter pada tanggal 27 November 2017. Sementara untuk nilai tinggi permukaan laut di daerah pantai menunjukkan peningkatan selama periode siklon Cempaka dengan nilai anomali hingga 0,4. Namun, di pusat siklon memiliki nilai anomali rendah yang mencapai -0,2.

Tabel 2.2

State of The Art

No.	Peneliti	Jurnal/Judul	Variabel	Hasil Penelitian
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1.	Ardianto, R., Ismanto, A., Widada, S., & Sampurno, J. (2022).	<i>Prediction Model For Tidal Flood Control Using One-Way Coupling Scheme in Pontianak, West Kalimantan. Jurnal Teknik Hidraulik, 13(2), 77-88</i>	<i>Prediction; Tidal Flood; WRF-ARW; DELFT3D; HEC-RAS 2D</i>	Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan informasi prabencana dengan merancang sistem prediksi jangka pendek banjir rob di Kota Pontianak dengan menggunakan skema model one-way kopling. Skema tersebut mengkolaborasikan model prediksi cuaca (WRF-ARF), model hidrodinamik (DELFT3D), dan model hidrolik (HEC-RAS). Berdasarkan simulasi diketahui bahwa potensi wilayah banjir di Pontianak berkisar 15,10% - 16,03% dari luas wilayah kota. Claim : Secara umum penelitian ini telah berhasil mengintegrasikan model dalam berbagai aspek dinamis untuk memprediksi banjir rob dan kerangka modelnya dapat direkomendasikan dalam sistem peringatan dini banjir rob.
2.	swardoyo, J., & Satria, H. (2023)	<i>Analisis Daerah Terdampak Banjir Bandang Menggunakan HEC-RAS 2 Dimensi di Sungai Sat, Kabupaten Pati, Jawa Tengah.</i>	<i>Analisis Hidrolika, Banjir Bandang, HEC-RAS, Mitigasi Banjir, Simulasi Banjir</i>	Memperkirakan luas area yang terdampak banjir bandang di Sungai Sat, Kabupaten Pati, di masa depan. Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa banjir bandang di Sungai Sat, Kabupaten Pati, memiliki luas terdampak sebesar 655 hektar dengan kedalaman air rata-rata mencapai 3,25 meter untuk periode ulang 2 tahunan. Pada periode ulang 25 tahunan, luas dampak meningkat menjadi 1.017 hektar dengan kedalaman air rata-rata sebesar 3,04 meter, sedangkan untuk periode ulang 50 tahunan, luas dampak mencapai 1.091 hektar dengan kedalaman air rata-rata sebesar 3,01 meter. Dengan mengetahui luas area yang terdampak dan kedalaman air

No.	Peneliti	Jurnal/Judul	Variabel	Hasil Penelitian
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
				rata-ratanya, langkah-langkah pencegahan dan penanganan yang lebih baik dapat diambil untuk menghindari kerugian besar yang ditimbulkan oleh banjir bandang.
3.	Zellou, B., & Rahali, H. (2019)	<i>Assessment of The Joint Impact of Extreme Rainfall and Storm Surge on The Risk of Flooding in A Coastal Area.</i>	<i>Heavy rainfall, High tide level, Occurrence of floods, Severity of floods, Joint probability of rainfall and high tide, Threshold, Intense rainfall, Urban drainage capacity, Absorbing rainfall</i>	Penelitian ini memeriksa dampak bersama dan hubungan antara hujan lebat dengan tingkat pasang surut yang tinggi terhadap terjadinya dan tingkat keparahan banjir di daerah perkotaan yang berdekatan dengan muara Sungai Bouregreg (Moroko). Hasil menunjukkan bahwa probabilitas bersama hujan dan pasang surut melebihi ambang batas mereka tetap rendah hingga sedang, dan ancaman terbesar bagi area ini mungkin disebabkan oleh curah hujan deras. Namun, pasang surut tinggi menambah risiko tambahan dengan mengurangi kapasitas drainase perkotaan dalam menyerap air hujan.
4.	Marengo, J. A., Camarinha, P. I., Alves, L. M., Diniz, F., & Betts, R. A. (2021).	<i>Extreme Rainfall and Hydro-Geo-Meteorological Disaster Risk in 1.5, 2.0, and 4.0 C Global Warming Scenarios; An Analysis for Brazil.</i>	<i>Climate Extremes, Climate-related Disasters, Climate Change, Disaster Risk Reduction, Vulnerability</i>	Dengan mempertimbangkan karakteristik demografis penduduk yang tinggal di daerah rentan, penelitian ini menggunakan kombinasi model empiris dan iklim untuk memprediksi dampak perubahan iklim dan bencana hidro-geo-meteorologis di Brasil. Fokusnya adalah pada analisis dampak perubahan curah hujan ekstrem dan risiko banjir serta tanah longsor pada tingkat pemanasan global (GWL) 1.5, 2.0, dan 4.0°C. Hasil proyeksi menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam curah hujan lebat seiring dengan pemanasan global, yang berpotensi meningkatkan risiko terjadinya tanah longsor dan banjir bandang. Proyeksi masa depan masih menimbulkan ketidakpastian

No.	Peneliti	Jurnal/Judul	Variabel	Hasil Penelitian
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
				mengenai intensifikasi peristiwa curah hujan ekstrem di bawah tingkat pemanasan 4°C. Hal ini menegaskan pentingnya kebijakan lingkungan untuk melindungi masyarakat dan mengurangi kerugian finansial di masa mendatang, serta menekankan perlunya pengambilan keputusan yang bijaksana, pemantauan, dan sistem peringatan dini dalam mengelola bencana.
5.	Muñoz, D. F., Yin, D., Bakhtyar, R., Moftakhari, H., Xue, Z., Mandli, K., & Ferreira, C. (2022)	<i>Inter-model Comparison of Delft3D-FM and 2D HEC-RAS for Total Water Level Prediction in Coastal to Inland Transition Zones.</i>	<i>Delft3D-FM; 2D HEC-RAS; storm surge; total water level; Delaware Bay</i>	Membandingkan kinerja dua model hidrodinamik yang banyak digunakan (misalnya, 2D HEC-RAS dan Delft3D-Flexible Mesh [FM]) sehubungan dengan kemampuannya memprediksi TWL di Delaware Bay, Amerika Serikat. HEC-RAS 2D (versi 5.07) adalah perangkat lunak nonkomersial yang lebih mudah diimplementasikan dan dapat menjadi alternatif yang lebih sederhana untuk memodelkan peristiwa ekstrem ketika gaya atmosfer tidak relevan dalam domain model.
6.	Hermawan, S., Hans, O., Gunawan, C. H. R. I. S. T. I. A. N., Tjandra, D., & Purnomo, J. (2020, September).	<i>The utilization of The Numerical hydrodynamic Model To Face Rob Floods in Coastal Areas in The Industrial Revolution Era 4.0 at East Java Indonesia.</i>	<i>Hydrodynamic Simulation Model, Sea Level Rise, Types of Civil Engineering Constructions, Coastal Communities, Resilience to Disasters, Nearshore Bathymetry Data</i>	Membuktikan bahwa model simulasi hidrodinamik dapat digunakan untuk memperkirakan kenaikan permukaan laut untuk beberapa tahun ke depan di wilayah pesisir. Penentuan jenis konstruksi bangunan teknik sipil yang kuat dan ramah lingkungan agar masyarakat tidak menimbulkan kerugian yang besar dan menjadikan masyarakat pesisir tahan terhadap bencana. Untuk mensimulasikan model hidrodinamik, data batimetri dekat pantai diperoleh dari sonar dan data batimetri lepas pantai dari GEBCO

No.	Peneliti	Jurnal/Judul	Variabel	Hasil Penelitian
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
7.	Jaya, A. M. N., Sari, F. P., Saragih, I. J. A., & Dafitra, I. (2021, November).	<i>Sea-level Prediction for Early Warning Information of Coastal Inundation in Belawan Coastal Area Using Delft3D Model.</i>	<i>Coastal Inundation, Tidal Flood, Sea Level, Delft3D</i>	Genangan di pesisir pantai mempunyai dampak yang besar terhadap lingkungan, seperti rusaknya infrastruktur dan pencemaran tanah dan air. Salah satu upaya pencegahan genangan pantai adalah dengan memprediksi tinggi muka air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model <i>Delft3D</i> dapat mensimulasikan tinggi muka air penyebab terjadinya genangan pantai di wilayah pesisir Belawan.
8.	Burrahman, H., Ginting, N. K., & Rahmat, A. (2021, April).	<i>Study of The Influence of Cempaka Tropical Cyclones on The Height of Sea Waves in The South Java Sea Using The Delft 3D Application.</i>	<i>Coastal Flooding, Water Level Prediction, Delft3D Model, Tropical Cyclone Cempaka, Sea Level Rise, Significant Wave Height</i>	Simulasi Model <i>Delft3D</i> digunakan untuk menyelidiki pengaruh perkembangan siklon tropis Cempaka terhadap kenaikan permukaan laut di daerah pantai dan gelombang tinggi di Laut Jawa Selatan. Data angin FNL dengan resolusi $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ dan data batimetri GEBCO dengan resolusi <i>grid</i> 30 detik digunakan sebagai masukan ke model <i>Delft3D</i> . Hasil studi menunjukkan peningkatan tinggi gelombang yang signifikan selama periode siklon tropis Cempaka dengan nilai gelombang signifikan antara 1 hingga 3,5 meter pada tanggal 27 November 2017. Sementara untuk nilai tinggi permukaan laut di daerah pantai menunjukkan peningkatan selama periode siklon Cempaka dengan nilai anomali hingga 0,4. Namun, di pusat siklon memiliki nilai anomali rendah yang mencapai -0,2

Tabel 2.3
Rencana Jadwal Penelitian

Step	2023												2024																											
	Oktober				November				Desember				Januari				Februari				Maret				April				Mei				Juni				Juli			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Studi Literature																																								
Membuat Draft Paper																																								
Latihan pembuatan Hidrodinamika :																																								
Delft3D																																								
HECRAS																																								
Pembuat Proposal Skripsi																																								
Pengambilan Data Primer																																								
Pengumpulan Data Sekunder																																								
Pengelolaan Data :																																								
Delft3D																																								
HECRAS																																								
Penyusunan Skripsi																																								
Sidang Skripsi																																								

Tabel 2.3 menunjukkan jadwal penelitian yang peneliti kerjakan dalam pembuatan skripsi yang berlangsung dari bulan Oktober 2023 – Juli 2024. Dimulai dengan studi *literature* selama 1 bulan pada bulan oktober yang juga dikerjakan bersama dengan pembuatan *draft paper* yang dikerjakan hingga pekan kedua bulan Januari. Pada bulan Januari peneliti melakukan *warming up* model, selagi mempelajari mengenai *software Delft3D*, dan juga di ikuti dengan pelatihan *software HEC-RAS*. Serta, pada bulan Januari hingga akhir Februari peneliti juga mengerjakan proposal skripsi.

Setelah proposal skripsi selesai, peneliti telah merencanakan untuk melakukan pengambilan data primer dan sekunder melalui instansi terkait maupun survey lokasi hingga akhir bulan Maret. Proses pengambilan data memakan waktu yang lebih lama daripada yang sudah direncanakan. Pada akhir bulan April semua data baru terkumpul yang dimana terlambat dari jadwal perencanaan, hal ini terjadi disebabkan keterlambatan proses instansi pemerintahan memberikan data. Pada saat yang sama, peneliti juga berlatih dalam membuat model *Delft3D* dan *HEC-RAS* serta mengolah data yang sudah ada. Peneliti juga tetap melanjutkan proses pembuatan skripsi, dan semua kegiatan berlangsung secara bersamaan hingga bulan Juni.