

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Oceanografi

Oceanografi, juga dikenal sebagai oseanologi atau ilmu kelautan, merupakan cabang ilmu bumi yang meneliti samudra atau lautan. Dalam lingkupnya, oseanografi mencakup berbagai topik seperti organisme laut dan dinamika ekosistem, arus samudra gelombang, dan dinamika fluida geofisika. Selain itu, oseanografi juga memeriksa tektonik lempeng dan geologi dasar laut, kondisi batimetri, serta aliran berbagai zat kimia dan fisika di dalam lautan dan wilayah perbatasannya (Rahaman et al., 2020).

2.2 Batimetri

Survei batimetri diperlukan untuk mengumpulkan data kedalaman dan menciptakan visualisasi kontur atau topografi dasar perairan. Menurut Razali et al., (2021), survei batimetri mencakup proses gambaran dasar perairan yang dimulai dari pengukuran, pengolahan, hingga visualisasi. Salah satu metode pengukuran kedalaman melibatkan perangkat akustik, yang beroperasi berdasarkan prinsip rambatan suara dalam air (Purwanto et al., 2022). Teknik ini dianggap efektif. Kedalaman perairan dihitung dengan mengalikan cepat rambat gelombang akustik dengan selang waktu antara pancaran dan penerimaan kembali oleh transduser (Sathish et al., 2023). Menurut Purnawan et al., (2023) menjelaskan bahwa hidro-akustik adalah teknologi pendeteksian bawah air menggunakan perangkat akustik seperti *echosounder*, *fish finder*, dan *sonar*. Pemasukan data batimetri pada *Delft3D* dapat dilihat pada lampiran 1.

2.3 Pasang Surut Air Laut

Pasang surut air laut adalah salah satu dari tiga gerakan utama air laut, bersama dengan gelombang laut dan arus laut. Yang (2022) dan Qian (2023) mendefinisikan pasang surut sebagai perubahan berkala dalam tinggi muka air laut yang disebabkan oleh gaya tarik benda angkasa, terutama oleh matahari dan bulan, terhadap massa air di bumi. Pengaruh benda angkasa lainnya dianggap dapat diabaikan karena jarak atau ukuran yang lebih jauh atau lebih kecil.

Menemukan jenis pasang surut dapat dilakukan dengan mencari nilai atau konstanta pasang surut (*Tidal Constant/Formzahl*) yang dihitung menggunakan persamaan berikut:

Permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana menganalisis pasang surut air laut dengan menggunakan metode *least square*.

1. Pasang Surut Harian Ganda (*Semi-diurnal Tide*) :

- Terjadi dua kali pasang dan dua kali air surut setiap harinya.
- Tinggi hampir sama, dan pola pasang surut berlangsung secara teratur.
- Periode pasang surut rata-rata adalah 12 jam 24 menit.
- Contohnya terdapat di selat Karimata antara Sumatra dan Kalimantan.

2. Pasang Surut Harian Tunggal (*Diurnal Tide*):

- Terjadi satu kali pasang dan satu kali air surut setiap harinya.
- Periode pasang surut adalah 24 jam 50 menit.
- Contohnya terdapat di perairan Selat Malaka hingga Laut Andaman.

3. Pasang Surut Campuran Condong ke Harian Ganda (*Mixed Tide Prevailing Semi-diurnal*):

- Terjadi dua kali pasang dan dua kali air surut setiap harinya.
- Tinggi dan periode pasang surut berbeda.
- Contohnya terdapat di sebagian besar perairan Indonesia bagian timur.

4. Pasang Surut Campuran Condong ke Harian Tunggal (*Mixed Tide Prevailing Diurnal*):

- Terjadi satu kali pasang dan satu kali air surut setiap harinya.
- Kadang-kadang, untuk sementara waktu, terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda.

Contohnya terdapat pada tipe campuran condong ke harian tunggal.

Menurut Budiono (2016) klasifikasi tipe pasang surut juga dapat diidentifikasi dengan menggunakan bilangan *Formzahl* (F) dengan kriteria:

- $F \leq 0,25$ = pasang surut tipe ganda
- $0,25 < F \leq 1,5$ = pasang surut tipe campuran condong harian ganda
- $1,50 < F \leq 3,0$ = pasang surut tipe campuran condong harian tunggal
- $F > 3,0$ = pasang surut tipe tunggal

2.4 Gelombang Laut

Mulyabakti, Jasin & Mamoto (2016) menyatakan bahwa gelombang laut adalah fenomena di permukaan air laut yang bergerak naik dan turun secara vertikal membentuk pola sinusoidal. Angin dianggap sebagai faktor utama yang menciptakan gelombang ini, sehingga sering disebut sebagai gelombang angin. Pembentukan gelombang dipengaruhi oleh kecepatan angin, durasi angin bertiup, dan jarak tanpa rintangan yang ditempuh oleh angin (*fetch*).

Mulyabakti, Jasin & Mamoto (2016) juga menyatakan bahwa *fetch* merupakan area di mana gelombang laut terbentuk dan dibatasi oleh daratan yang mengelilingi laut tersebut.

Panjang *fetch* adalah jarak yang ditempuh oleh angin di atas permukaan air. Panjang *fetch* dapat diestimasi menggunakan persamaan empiris. Terdapat dua metode untuk memprediksi gelombang laut berdasarkan data meteorologi, yaitu metode *hindcasting* dan *forecasting*. Metode *hindcasting* menggunakan data masa lalu untuk memperkirakan gelombang, sementara metode *forecasting* menggunakan kondisi meteorologi saat ini untuk meramalkan gelombang di masa depan.

Mulligan et al., (2020) menyatakan bahwa variasi dan ketidakaturan dalam bentuk dan perambatan gelombang memiliki dampak signifikan terhadap karakteristik gelombang yang terbentuk di perairan tersebut. Selain perubahan dalam tinggi, panjang, dan kecepatan gelombang, terjadi juga fenomena lain seperti pendangkalan, refraksi, difraksi, dan pantulan sebelum gelombang tersebut pecah. Pendangkalan gelombang merujuk pada penurunan tinggi gelombang karena perubahan kedalaman, di mana kecepatan gelombang berkurang dan terjadi refraksi karena arah pergerakan puncak gelombang mengikuti bentuk kontur kedalaman laut. Refraksi terjadi khususnya dalam perubahan tinggi gelombang akibat pembelokan arah puncak gelombang. Sementara itu, difraksi merupakan proses pemindahan gelombang ke daerah yang terlindungi, menyebabkan timbulnya gelombang.

Sarker (2022) menyatakan bahwa gelombang laut merupakan fenomena alam yang menyebabkan osilasi tinggi dan rendahnya massa air, yang terus-menerus bergerak baik di lapisan permukaan maupun di bawah permukaan laut. Struktur gelombang di laut, baik dalam bentuk maupun jenisnya, sangat beragam dan kompleks, sehingga sulit untuk diuraikan dan sulit digambarkan secara sistematis karena bersifat tidak linier, tiga dimensi, dan memiliki bentuk yang acak. Bentuk gelombang yang dihasilkan cenderung tidak terduga dan bergantung pada beberapa sifat gelombang, seperti periode dan tinggi gelombang yang terbentuk (Gemmrich et al., 2022).

Gelombang diartikan sebagai ombak yang memiliki dimensi besar di tengah lautan (Christakos et al., 2020). Gelombang laut memainkan peran penting dalam pembentukan dan perubahan bentuk pantai (Zhang dan Hou, 2020). Ketika gelombang merambat dari perairan yang dalam ke perairan yang semakin dangkal, pada titik tertentu gelombang tersebut akan pecah dan menyebabkan hempasan ombak di pantai.

2.5 Arus

Arus merupakan pergerakan air yang melibatkan area yang luas dan sering terjadi di seluruh lautan. Ketika gelombang mencapai pantai, dapat menimbulkan arus pantai (*nearshore current*). Angin yang bertiup dalam waktu yang lama, benturan ombak yang miring dengan pantai, atau gelombang yang terbentuk dari arah pantai juga dapat membentuk arus. Sehingga, terdapat dua jenis arus laut yang dominan, yaitu arus meretas pantai (*rip current*) dan arus sejajar pantai atau arus susur pantai (*longshore current*).

Arus memiliki kemampuan untuk membawa sedimen yang mengapung (*suspended sediment*) atau yang berada di dasar laut. Hal yang sama berlaku untuk arus susur pantai dan arus meretas pantai, keduanya berperan dalam pengangkutan sedimen sepanjang pantai serta membentuk berbagai jenis sedimen yang ditemukan di pantai.

2.6 Sea Level Rise

Kenaikan Permukaan Air Laut (*Sea Level Rise*), dapat diartikan secara singkat sebagai elevasi permukaan laut di bawah atau di atas suatu titik referensi, umumnya disebut sebagai titik nol. Dalam pengukuran dengan alat pengukur pasang surut, titik nol biasanya terletak di daratan dekat alat pengukur, dan pengukuran ini umumnya disebut sebagai tinggi permukaan laut relatif. Hal ini karena pengukuran ketinggian permukaan laut bersifat relatif terhadap elevasi daratan terdekat. Dalam pengukuran dengan satelit, titik nol terletak di pusat massa Bumi (Mitchum, 2011).

Sejak puncak zaman es sekitar 18.000 tahun yang lalu, terjadi peningkatan ketinggian muka air laut yang disebabkan oleh pemanasan global. Peningkatan tertinggi terjadi sebelum 6.000 tahun yang lalu. Setelah 3.000 tahun yang lalu hingga abad ke-19, penambahan ketinggian rata-rata berkisar antara 0,1 hingga 0,2 mm per tahun. Kemudian, sejak tahun 1900, laju kenaikan meningkat menjadi 1-3 mm per tahun. Pada tahun 1992, satelit altimetri TOPEX/Poseidon mencatat laju kenaikan muka air laut sebesar 3 mm per tahun. Selama abad ke-20, tinggi muka air laut di seluruh dunia meningkat sekitar 10-25 cm (Watson et al, 2015).

Menurut laporan IPCC, 2001 (Panel Internasional tentang Perubahan Iklim), suhu rata-rata permukaan global telah meningkat sekitar 0,3 hingga 0,60 derajat Celcius sejak akhir abad ke-19, dan diperkirakan akan naik sekitar 1,4 hingga 5,8 derajat Celcius hingga tahun 2100. Peningkatan suhu permukaan global ini menyebabkan pelelehan es di kutub utara dan selatan Bumi, yang mengakibatkan kenaikan permukaan laut. Perkiraan dari tahun 1999 hingga 2100 mendatang menunjukkan bahwa kenaikan muka air laut dapat mencapai 1,4 hingga 5,8 meter.

Menurut laporan terbaru, elevasi rata-rata muka air laut terus meningkat dan diprediksi akan mencapai 30 cm dari level rata-rata laut sepanjang abad ke-21.

2.7 Hec-Ras

HEC-RAS adalah sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk memodelkan aliran sungai (Istiarto, 2014). Singkatan *HEC-RAS* berasal dari *River Analysis System*, yang merupakan program aplikasi yang dikembangkan oleh *Hydrologic Engineering Center (HEC)*, sebuah divisi di bawah *Institute for Water Resource (IWR)* di bawah naungan *US Army Corps of Engineers (USACE)*. *HEC-RAS* merupakan sebuah aplikasi yang digunakan untuk membangun model aliran satu dimensi, baik yang bersifat permanen maupun tidak permanen. Komponen utama dari *HEC-RAS* satu dimensi terdiri dari empat bagian utama, yaitu perhitungan profil muka air aliran permanen, simulasi aliran tetap dan tidak tetap, perhitungan transport sedimen, serta perhitungan kualitas air.

Analisis hidrolika digunakan untuk menghasilkan data yang diperlukan dalam penggunaan aplikasi *HEC-RAS*. Analisis hidrolika umumnya bertujuan untuk menentukan kedalaman dan kecepatan aliran sepanjang jalur aliran yang disebabkan oleh masukan debit ke dalam sistem aliran tersebut. Dalam aplikasi *HEC-RAS* yang dapat dilihat pada lampiran 3, analisis hidrolika digunakan untuk membedakan apakah aliran tersebut dapat dikategorikan sebagai aliran tetap atau aliran tidak tetap. Untuk aliran tetap, *HEC-RAS* menggunakan persamaan energi kecuali di area yang memiliki kedalaman aliran melampaui kedalaman kritis. Sedangkan untuk aliran tidak tetap, *HEC-RAS* memanfaatkan persamaan kekekalan massa dan persamaan momentum.

Langkah-langkah dasar dalam menggunakan program analisis *HEC-RAS* melibatkan penggambaran penampang saluran, penginputan data berdasarkan analisis hidrologi, dan input data berdasarkan analisis hidrolika. Input data hidrologi mencakup data debit, baik dari sumber otomatis maupun dari perhitungan berdasarkan data curah hujan. Sedangkan data hidrolika melibatkan jenis aliran (tetap atau tidak tetap), data geometri, debit, kecepatan aliran, dan detail geometri struktur bangunan sepanjang saluran. Setelah semua data terkumpul, langkah selanjutnya adalah menjalankan program analisis *HEC-RAS* sesuai dengan prosedur yang ditentukan. Hasil analisis kemudian ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Tabel tersebut memberikan ringkasan hasil analisis dengan variabel tertentu pada lokasi yang spesifik, serta laporan singkat mengenai kesalahan dan peringatan yang mungkin terjadi selama proses analisis dan perhitungan.

2.8 Delft3D

Modul *Flow* pada *Delft3D* merupakan program hidrodinamika multi-dimensi 2D dan 3D yang dirancang untuk mensimulasikan fenomena aliran dinamis yang disebabkan oleh pasang surut dan kondisi meteorologis pada kurva linear, dengan memanfaatkan *grid* sebagai landasan perhitungannya. *Delft3D* juga memperhitungkan aliran yang masuk dari sungai dan sumber titik lainnya. Model ini menggunakan parameter fisik air sebagai input dan menghasilkan distribusi 3D sebagai *output* yang dapat dilihat di lampiran 2. Hasil dari model *Delft3D-Flow* digunakan sebagai dasar untuk perhitungan proses hidrodinamika dengan menggunakan model kualitas air. Model ini berdasarkan pada persamaan gerak dan kontinuitas yang tidak stasioner, dan persamaan tersebut diselesaikan secara numerik menggunakan sistem koordinat horizontal yang bersifat ortogonal. Pendekatan ini memberikan penataan *grid* yang baik dengan bentuk area yang sedang dimodelkan (Bielecka & Kazmierski, 2003).

Delft 3D-Flow terdiri dari 7 bagian yang memiliki fungsi sebagai berikut:

1. *Delft 3D-RGFGRID*: Membuat zona segmen dalam bentuk *grid* pada topografi
2. *Delft 3D-QUICKIN*: Masukan *output* pada *grid* berupa data batimetri, kondisi awal untuk *water level*, salinitas dan lain-lain
3. *Delft 3D-TRIANA*: Analisis pasang surut dalam interval waktu.
4. *Delft 3D-TIDE*: Analisis pasang surut terhadap *water level* dan kecepatan.
5. *Delft 3D-NESTHD*: Membuat batasan dari keseluruhan model.
6. *Delft 3D-GPP*: Menampilkan hasil simulasi berupa gambar animasi dan visualisasi.
7. *Delft 3D-QUICKPLOT*: sama halnya dengan *Delft3D-GPP* Persamaan diferensial penentu dalam kombinasi yang sesuai pengaturan inisial juga dapat diselesaikan dengan persamaan *grid finite difference*.

Menurut Rawi (1989), komponen ini dikatakan harmonik karena sesuai dengan penyebabnya yang periodik pula. Komponen-komponen ini merupakan penyebab dari terjadinya pasang di laut dengan bagian masing - masing, komponen tersebut antara lain:

1. Komponen pasang periode panjang (*long period tide*)
2. Komponen pasang periode harian tunggal (*diurnal period tide*)
3. Komponen pasang periode harian ganda (*semi-diurnal period tide*)

2.9 Banjir Rob

Banjir, menurut Sugiyanto dan Kodoatie (2002), dapat terjadi karena dua faktor utama, yaitu banjir pada daerah rawan banjir dan banjir yang disebabkan oleh limpasan air sungai atau air laut. Beberapa penyebab alami dan buatan banjir yang diidentifikasi meliputi curah hujan, erosi dan sedimentasi, pengaruh pasang surut air laut, kapasitas saluran drainase, masalah persampahan, dan kawasan permukiman yang kurang teratur.

Banjir rob merupakan bencana alam yang terjadi di wilayah pesisir pantai dengan ketinggian permukaan tanah tidak lebih tinggi dari pasang air laut tertinggi. Faktor utama penyebab banjir rob adalah pasang surut air laut, yang menimbulkan genangan banjir dengan tinggi air yang sejajar dengan ketinggian pasang air laut. Tinggi banjir rob berfluktuasi sesuai dengan perubahan pasang surut air laut dan dapat memprediksi luas genangan banjir pada waktu tertentu (Bakti, 2010).

Periode dan waktu genangan banjir rob sejalan dengan periode pasang surut air laut, biasanya terjadi hanya beberapa jam saja. Wilayah yang tergenang meliputi pesisir pantai, rawa, dan dataran rendah di sekitar pantai. Penurunan muka tanah di area genangan dapat meningkatkan bahaya banjir rob. Banjir rob dapat menyebabkan berbagai masalah masyarakat, termasuk kenaikan muka air laut, penurunan muka tanah, ketinggian kawasan daratan, dan sistem *drainase* yang mempengaruhi keberadaan banjir rob.

Untuk mengurangi dampak luas genangan banjir rob, diperlukan informasi terkait penggunaan lahan agar dapat dilakukan perubahan dan penanganan yang sesuai dengan bencana yang terjadi. Sebaran banjir rob yang luas dapat berdampak pada harga tanah dan bangunan di wilayah tersebut. Oleh karena itu, analisis sebaran banjir rob penting untuk menentukan upaya penanganan yang efektif (Kurniawan, 2013).

2.10 Curah Hujan

Ada tiga cara yang berbeda dalam menentukan tinggi curah hujan rata-rata daerah dari pengamatan curah hujan di beberapa titik stasiun penakar atau pencatat adalah sebagai berikut (Restu et al., 2016):

1. Cara Thiesen

Curah hujan daerah dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\bar{R} = \frac{A_1R_1 + A_2R_2 + \dots + A_nR_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

$\bar{R}$ = Curah hujan daerah

$R_1, R_2, \dots, R_n$ = Curah hujan di tiap titik Pengamatan

2. Cara rata-rata aljabar

Cara ini adalah perhitungan rata-rata secara aljabar curah hujan didalam dan disekitar areal yang bersangkutan.

$$\bar{R} = \frac{1}{n}(R_1 + R_2 + \dots + R_n) \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

$\bar{R}$ = curah hujan daerah (mm)

n = jumlah titik-titik pos pengamatan

R_1, R_2 dan R_n = curah hujan di tiap titik-titik pengamatan.

3. Cara garis isohyet

Peta Isoiet digambar pada peta topografi dengan perbedaan (*interval*) 10 sampai 20 mm, berdasarkan data curah hujan pada titik-titik pengamatan didalam dan disekitar daerah yang dimaksud. Curah hujan daerah itu dapat dihitung menurut persamaan sebagai berikut:

$$\bar{R} = \frac{A_1R_1 + A_2R_2 + \dots + A_nR_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

$\bar{R}$ = Curah hujan daerah

$R_1, R_2, \dots, R_n$ = Curah hujan rata-rata pada bagian $A_1, A_2, \dots, A_n$.

$A_1, A_2, \dots, A_n$ = luas bagian antara garis isohiet.

2.11 Prediksi Curah Hujan

Menurut Hidrograf Satuan Sintetik, di daerah yang tidak memiliki data hidrologi untuk menghasilkan hidrograf satuan, hidrograf satuan sintetis dapat dibuat berdasarkan karakteristik fisik dari Daerah Aliran Sungai (DAS). Berikut adalah beberapa metode umum yang digunakan untuk menentukan hidrograf banjir.

a. Hidrograf satuan Snyder

Pada awal tahun 1938, F. F. Snyder dari Amerika Serikat mengembangkan rumus empiris yang mengaitkan elemen-elemen hidrograf satuan dengan karakteristik dari daerah pengaliran.

Unsur-unsur hidrograf tersebut dihubungkan dengan A =Luas daerah pengaliran (km^2), L =Panjang aliran utama (km), LC =Jarak antara titik berat daerah pengaliran dengan pelepasan (*outlet*) yang diukur sepanjang aliran.

Dengan unsur-unsur tersebut, Snyder merumuskan persamaan sebagai berikut:

$$t_p = C_t(L.L_c) \dots\dots\dots(2.4)$$

$$tr = \frac{t_p}{5,5} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$Qp = 2,78 \frac{Cp \times A}{Tp} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$t_b = 72 + 3t_p \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

t_p = waktu mulai titik berat hujan sampai debit puncak (jam)

t_r = lama curah hujan efektif (jam)

Qp = debit maksimum total

Tb = waktu dasar hidrograf

Nilai koefisien waktu (C_t) dan koefisien debit (C_p) perlu ditentukan secara empiris, karena nilainya bervariasi antara satu daerah dengan daerah lainnya. Nilai C_t berkisar antara 0,75 hingga 3,00, sedangkan C_p berkisar antara 0,90 hingga 1,40. Durasi hujan efektif tr' dihitung dengan rumus $tr' = t_p / 5,5$, dengan asumsi tr adalah 1 jam. Jika tr' lebih besar dari tr (asumsi), maka dilakukan koreksi terhadap t_p .

$$t_p' = t_p + 0,25(t_r - t_r') \dots\dots\dots(2.8)$$

$$t_p = t_p' + \frac{t_r}{2} \dots\dots\dots(2.9)$$

Jika $tr' < tr$ (asumsi), maka :

$$t_p = t_p + \frac{t_r}{2} \dots\dots\dots(2.10)$$

Menggambarkan grafik hubungan antara Q_p dan t (UH) menggunakan persamaan Alexeyev

$$Q = Y \cdot Q_p \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

$$Y = 10^{-a(1-X)^2/X}$$

$$X = \frac{T}{T_p}$$

$$a = 1,32a^2 + 0,1\alpha + 0,045$$

$$\lambda = (Q_p \times T_p) / (h \times A)$$

Dimana:

Q = debit dengan periode hidrograf

Y = perbandingan debit periode hidrograf dengan debit puncak

X = perbandingan waktu periode hidrograf dengan waktu mencapai puncak

Setelah nilai λ dan a dihitung, nilai y untuk setiap X dapat dihitung dengan membuat tabel. Dari nilai-nilai tersebut, diperoleh $t = X.T_p$ dan $Q = y.Q_p$. Selanjutnya, dibuat grafik hidrograf satuan berdasarkan nilai-nilai ini.

b. Hidrograf satuan SCS (Soil Conservation Services)

Metode ini dikembangkan oleh Victor Mockus dari Soil Conservation Service, sebuah lembaga di bawah Departemen Pertanian Amerika Serikat. Victor Mockus mengembangkan Hidrograf Satuan SCS berdasarkan pengamatan terhadap karakteristik hidrograf satuan alami dari banyak daerah aliran sungai (DAS), baik yang besar maupun kecil, di Amerika Serikat (Natakusumah, 2014).

a. Waktu puncak (T_p) dan Waktu dasar (T_b)

Beberapa rumus time lag yang dapat digunakan dalam HSS SCS termasuk rumus *Kirpich* (untuk DAS kecil), rumus *Snyder*, dan rumus SCS (yang cukup kompleks). Rumus time lag yang digunakan untuk menghitung *time lag* adalah rumus *time lag* dari *Snyder* (dengan $L_c = 1/2$ dan $n = 0,3$).

$$T_L = C_t(L \cdot L_c) \dots\dots\dots(2.12)$$

Di mana:

C_t = koefisien penyesuaian waktu (digunakan dalam proses kalibrasi)

T_L = time lag (jam)

L = panjang sungai (km)

L_c = jarak dari titik berat daerah aliran sungai ke outlet (km)

Untuk durasi hujan satuan T_r (misalnya 1 jam), waktu puncak dalam Hidrograf Satuan SCS didefinisikan sebagai berikut:

$$T_p = T_L + 0.50 T_r \dots\dots\dots(2.13)$$

Selanjutnya, berdasarkan koordinat yang tidak memiliki dimensi dari hidrograf satuan SCS, waktu dasar hidrograf satuan (T_b) didefinisikan sebagai berikut:

$$T_b = 5 \times T_p \dots\dots\dots(2.14)$$

b. Debit puncak

Jika nilai waktu puncak dan waktu dasar diketahui, maka debit puncak dari hidrograf satuan sintetik akibat curah hujan satu satuan $R=1$ mm yang terjadi selama durasi hujan satu satuan $T_r=1$ jam, dapat dihitung sebagai berikut:

$$Q_p = \frac{0,04166.A_{DAS}}{T_p} \dots\dots\dots(2.15)$$

Q_p = debit puncak hidrograf satuan (m /s)

T_p = waktu Puncak (jam)

A_{DAS} = luas DAS (km²)

Hidrograf satuan tak berdimensi SCS adalah hidrograf sintetis yang diekspresikan sebagai perbandingan antara debit Q dengan debit puncak Q_p , serta waktu t dengan waktu naik (time of rise) t_p . Tabel 2.1 memperlihatkan koordinat tidak berdimensi dari hidrograf satuan SCS.

Tabel 2.1 Koordinat tidak berdimensi dari hidrograf satuan SCS

t/ t_p (time ratios)	q/ Q_p (discharge ratios)	t/ t_p (time ratios)	q/ Q_p (discharge ratios)
(1)	(2)	(3)	(4)
0	0	2,4	0,750
0,1	0,015	1,5	0,660
0,2	0,075	1,6	0,560
0,3	0,160	1,8	0,420
0,4	0,280	2	0,320
0,5	0,430	2,2	0,240
0,6	0,600	2,4	0,180
0,7	0,770	2,6	0,130
0,8	0,890	2,8	0,098
0,9	0,970	3	0,075
1	1,000	3,5	0,036
1,1	0,980	4	0,018
1,2	0,920	4,5	0,009
1,3	0,860	5	0,004

2.12 State of The Art

Seperti yang terlihat dalam Tabel 2.2, pada tahun 2021, Herrmann, Duc, Tangang, dan Duy melakukan penelitian tentang dampak perubahan iklim terhadap angin permukaan laut di Asia Tenggara, sebagaimana tercantum dalam Tabel 2.5. Representasi numerik dan proyeksi iklim angin permukaan laut di wilayah tersebut menggunakan skala proyek *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5) dari abad ke-20 hingga ke-21. Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan signifikan dalam proyeksi model angin permukaan laut, tergantung pada model yang digunakan, musim, dan wilayah. Temuan utama adalah bahwa angin musiman cenderung lebih lemah, sementara variabilitas angin lebih tinggi pada bulan Juni hingga Agustus.

Bayona, Osorio, dan Guzma pada tahun 2020 melakukan penelitian yang berjudul *Penyiapan dan pengaturan file dataset input dari model Delft3d untuk pemodelan hidrodinamika yang mempertimbangkan angin, gelombang, pasang surut, dan arus melalui jaringan multidomain*. Pembuatan model Delft3d ini dimanfaatkan untuk mengevaluasi gaya ekstrem di lokasi Rueda. Mereka menggunakan jaringan multidomain dengan komunikasi dua arah antara modul hidrodinamika dan gelombang. Dengan menggunakan komunikasi dua arah ini, interaksi non-linear dari angin, gelombang, pasang surut, dan arus dapat dipertimbangkan (Lihat Tabel 2.2).

Tahun 2021 Jaya, Sari, Saragih, dan Dafitra melakukan penelitian yang berjudul *Sea-level prediction for early warning information of coastal inundation in Belawan coastal area using Delft3D model* (Tabel 2.2). Model Delft3D dengan input batimetri GEBCO mampu memprediksi permukaan laut pada saat banjir di daerah Medan Belawan. Dalam penelitian ini ditunjukkan oleh nilai korelasi yang sangat tinggi, mencapai 0,92, dan nilai kesalahan yang rendah, sekitar 0,39 meter. Namun penelitian ini hanya 7 hari sehingga diperlukan waktu yang lebih lama melakukan simulasi dan fenomena *supermoon* dan *new moon* untuk memprediksi tinggi air laut lebih baik.

Shuyi Wang, Mohammad Reza Najafi, Alex J. Cannon dan Amir Ali Khan pada tahun 2021 (tabel 2.2) melakukan penelitian tentang *Uncertainties in Riverine and Coastal Flood Impacts under Climate Change*. Dalam penelitian ini, dengan meningkatnya kejadian curah hujan ekstrem dan kenaikan permukaan laut yang terkait dengan perubahan iklim, diperkirakan dampak tersebut akan semakin parah. Untuk mengatasi hal ini, sebuah model hidrolis dua dimensi (*HEC-RAS 2D*) telah dikembangkan dan digabungkan dengan model hidrologi (*HEC-HMS*) guna mensimulasikan perubahan sejarah dan proyeksi peristiwa banjir, serta menganalisis tingkat ketidakpastian yang relevan. Model *2D* menggunakan hidrograf aliran sebagai kondisi batas atas dan tingkat air pesisir sebagai batas bawah. Validasi model dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan pengukuran ketinggian permukaan air (WSE) di lokasi survei sepanjang sungai. Selain itu, gambar satelit Sentinel-1 digunakan untuk mengevaluasi akurasi simulasi skala banjir.

Pada Tahun 2021 Pushpa Dissanayake, Marissa L. Yates, Serge Suanez, France Floc'h dan Knut Krämer melakukan penelitian berjudul *Climate Change Impacts on Coastal Wave Dynamics at Vougot Beach, France* (Tabel 2.2). Penelitian ini memanfaatkan *Delft3D* untuk melakukan simulasi selama periode 6 minggu pada tahun 2013, serta menguji tujuh skenario yang diproyeksikan untuk tahun 2100. Skenario tersebut melibatkan tiga kondisi dengan fokus pada

kenaikan permukaan laut (SLR) saja dan empat skenario yang menggabungkan SLR dengan perubahan iklim.

Seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.2, Subir Biswas, M. Shahjahan Mondal, Md. Rashedul Islam melakukan penelitian tentang *SIMULATING FLOOD RISK DUE TO CLIMATE CHANGE IN THE PADMA RIVER SYSTEM USING THE 2D HEC-RAS MODEL*. Penelitian ini menghasilkan risiko banjir di Sungai Padma serta distributor dan dataran banjir akibat dampak perubahan iklim dinilai menggunakan model HEC-RAS dalam penelitian ini. Puncak banjir bisa meningkat sekitar 60 cm di sistem Sungai Padma di bawah kondisi iklim yang berubah. Puncak banjir mungkin lebih tinggi jika potensi kenaikan permukaan laut dipertimbangkan. Karena model ini dapat menyediakan hidrografi panggung di setiap titik dalam jaringan 2D, itu akan berguna dalam perencanaan dan desain infrastruktur, seperti zona ekonomi, pembangkit listrik, bandara, jembatan, perbatasan kontrol banjir, pekerjaan pelatihan sungai dan jalan, di dataran banjir sungai yang dimodelkan.

Muhammad Chrisna Satriagasa pada tahun 2023 melakukan penelitian berjudul *Assessing the Implication of Climate Change to Forecast Future Flood Using SWAT and HEC-RAS Model under CMIP5 Climate Projection in Upper Nan Watershed, Thailand* seperti yang terlihat dalam Tabel 2.2. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pada periode masa mendatang (2041-2060), baik Muang Nan maupun Wiangsa berpotensi mengalami ukuran banjir yang terkait dengan kejadian banjir 100 tahun. Sementara itu, prediksi menunjukkan bahwa ukuran banjir yang terkait dengan kejadian banjir 50 tahun juga akan mempengaruhi wilayah studi ini selama periode masa mendatang (2025-2040). Lahan pertanian, khususnya bidang beras, merupakan jenis penggunaan lahan yang paling umum di daerah ini dan, oleh karena itu, akan sangat rentan terhadap potensi banjir ini. Oleh karena itu, pemantauan yang cermat dan persiapan yang matang diperlukan untuk mengurangi kerugian potensial di masa depan dan mencegah terulangnya dampak gangguan yang terjadi setelah banjir pada tahun 2011.

Tabel 2.2 *State of The Art*

No	Author	Judul	Variabel	Hasil Penelitian
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	(Herrmann et al., 2022)	<i>Climate change impact on sea</i>	<i>Climate, sea surface, wind,</i>	Proyek dengan skala <i>Coupled Intercomparison Project Phase</i>

No	Author	Judul	Variabel	Hasil Penelitian
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
		<i>surface winds in Southeast Asia</i>	<i>Representative Concentration Pathways, Southeast Asia, season</i>	5 (CMIP) selama abad ke-20 hingga ke-21 menunjukkan bahwa hasil dari proyeksi permukaan laut berbeda tergantung model yang digunakan, musim, dan wilayah. Hasil yang didapat adalah angin musiman lebih rendah sedangkan variabilitas angin lebih tinggi pada bulan Juni - Agustus.
2	(Rueda-Bayona et al., 2020)	<i>Data in Brief Set-up and input dataset files of the Delft3d model for hydrodynamic modelling considering wind, waves, tides and currents through multidomain grids (Guajira-Colombia)</i>	<i>Numerical modelling, simulation, hydrodynamic, delft3d, waves, wind, tides, curren</i>	Penggunaan jaringan multi domain sebagai komunikasi dua arah yaitu modul hidrodinamika dan gelombang untuk mempertimbangkan interaksi non-linear dari angin, gelombang, pasang surut, dan arus.
3	(Jaya et al., 2021)	<i>Sea-level prediction for early warning information of coastal</i>	coastal inundation, tidal flood, sea level, Delft3D	Model <i>Delft3D</i> dengan input batimetri <i>GEBCO</i> mampu memprediksi permukaan laut pada saat banjir di daerah Medan, Belawan. Dalam

No	Author	Judul	Variabel	Hasil Penelitian
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
		<i>inundation in Belawan coastal area using Delft3D model</i>		penelitian ini ditunjukkan oleh nilai korelasi yang sangat tinggi, mencapai 0,92, dan nilai kesalahan yang rendah, sekitar 0,39 meter. Namun penelitian ini hanya 7 hari sehingga di perlukan waktu yang lebih lama melakukan simulasi dan fenomena <i>supermoon</i> dan <i>new moon</i> untuk memprediksi tinggi air laut lebih baik.
4	(Wang et al., 2021)	<i>Uncertainties in Riverine and Coastal Flood Impacts under Climate Change</i>	<i>Climate change; uncertainty; riverine flooding; coastal flooding; compound flooding; projected IDF curves; design storm; Stephenville Crossing</i>	Dalam penelitian ini, dengan meningkatnya kejadian curah hujan ekstrem dan kenaikan permukaan laut yang terkait dengan perubahan iklim, diperkirakan dampak tersebut akan semakin parah. Untuk mengatasi hal ini, sebuah model hidrolis dua dimensi (<i>HEC-RAS 2D</i>) telah dikembangkan dan digabungkan dengan model hidrologi (<i>HEC-HMS</i>) guna mensimulasikan perubahan sejarah dan proyeksi peristiwa banjir, serta menganalisis tingkat ketidakpastian yang relevan. Model <i>2D</i>

No	Author	Judul	Variabel	Hasil Penelitian
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
				menggunakan hidrograf aliran sebagai kondisi batas atas dan tingkat air pesisir sebagai batas bawah. Validasi model dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan pengukuran ketinggian permukaan air (WSE) di lokasi survei sepanjang sungai. Selain itu, gambar satelit Sentinel-1 digunakan untuk mengevaluasi akurasi simulasi skala banjir.
5	(Dissanayake et al., 2021)	<i>Climate Change Impacts on Coastal Wave Dynamics at Vougot Beach, France</i>	<i>wave impacts; sea level rise; macro-tidal coast; Delft3D; SWAN; numerical modelling</i>	Penelitian ini memanfaatkan <i>Delft3D</i> untuk melakukan simulasi selama periode 6 minggu pada tahun 2013, serta menguji tujuh skenario yang diproyeksikan untuk tahun 2100. Skenario tersebut melibatkan tiga kondisi dengan fokus pada kenaikan permukaan laut (SLR) saja dan empat skenario yang menggabungkan SLR dengan perubahan iklim.

No	Author	Judul	Variabel	Hasil Penelitian
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
6	(Biswas et al., 2020)	<i>SIMULATING FLOOD RISK DUE TO CLIMATE CHANGE IN THE PADMA RIVER SYSTEM USING THE 2D HEC-RAS MODEL</i>	<i>Climate change, Flood, Deterministic simulation, HEC-RAS model, Padma river.</i>	Risiko banjir di Sungai Padma serta distributor dan dataran banjir akibat dampak perubahan iklim dinilai menggunakan model <i>HEC-RAS</i> dalam penelitian ini. Puncak banjir bisa meningkat sekitar 60 cm di sistem Sungai Padma di bawah kondisi iklim yang berubah. Puncak banjir mungkin lebih tinggi jika potensi kenaikan permukaan laut dipertimbangkan. Karena model ini dapat menyediakan hidrografi panggung di setiap titik dalam jaringan <i>2D</i> , itu akan berguna dalam perencanaan dan desain infrastruktur, seperti zona ekonomi, pembangkit listrik, bandara, jembatan, perbatasan kontrol banjir, pekerjaan pelatihan sungai dan jalan, di dataran banjir sungai yang dimodelkan.

No	Author	Judul	Variabel	Hasil Penelitian
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
7	(Satriagasa et al., 2023)	<i>Assessing the Implication of Climate Change to Forecast Future Flood Using SWAT and HEC-RAS Model under CMIP5 Climate Projection in Upper Nan Watershed, Thailand</i>	<i>climate change; flood assessment; HEC-RAS model; rainfall assessment; SWAT model; Upper Nan Watershed</i>	Penelitian ini menyimpulkan bahwa pada periode masa mendatang (2041-2060), baik Muang Nan maupun Wiangsa berpotensi mengalami ukuran banjir yang terkait dengan kejadian banjir 100 tahun. Sementara itu, prediksi menunjukkan bahwa ukuran banjir yang terkait dengan kejadian banjir 50 tahun juga akan mempengaruhi wilayah studi ini selama periode masa mendatang (2025-2040). Lahan pertanian, khususnya bidang beras, merupakan jenis penggunaan lahan yang paling umum di daerah ini dan, oleh karena itu, akan sangat rentan terhadap potensi banjir ini. Oleh karena itu, pemantauan yang cermat dan persiapan yang matang diperlukan untuk mengurangi kerugian potensial di masa depan dan mencegah terulangnya dampak gangguan yang terjadi setelah banjir pada tahun 2011.