

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Wilayah kecamatan Pemangkat Sambas terletak di pesisir laut yang berhadapan langsung dengan laut Natuna dan terdapat sungai Pemangkat yang bermuara langsung dengan laut lepas (Solihuddin *et al.*, 2011). Muara sungai Sambas terdapat pelabuhan aktif yaitu Pelabuhan Penangkapan Nasional Pemangkat (PPN). Pelabuhan ini merupakan salah satu sentra kegiatan perikanan tangkap yang berfungsi sebagai tempat labuh kapal perikanan serta tempat pendaratan ikan.



Gambar 2.1 Peta wilayah Kabupaten Sambas dan muara sungai Sambas

Kondisi perairan pada lokasi ini sangat beragam seperti arus laut yang tidak hanya dipengaruhi oleh energi pasut tetapi dipengaruhi juga dari debit sungai sambas, serta tipe pasang surut yang selalu sama pada penelitian sebelumnya. Hal ini sesuai dengan kajian dari Saputra *et al.*, (2022), Warsidah *et al.*, (2021) pada

perairan muara sungai sambas. Kondisi arus di perairan ini dikategorikan kecepatan arus lemah hal ini tentunya terjadi karena ada pengaruh debit sungai sambas yang bermuara langsung dengan laut lepas serta memiliki perpaduan antara dua arus yaitu arus dari laut lepas dan arus yang dibangkitkan oleh pasang surut, untuk pasut di perairan muara sungai Sambas memiliki tipe yaitu pasang surut campuran condong ke harian ganda hal ini dibuktikan dengan mencari nilai bilangan *Formzhal* (F).

## **2.2. Arus Laut**

Arus laut merupakan perpindahan massa air dari satu tempat menuju tempat lain, ada beberapa faktor yang mempengaruhi arus laut seperti densitas, salinitas, suhu, dan pengaruh angin. Tidak hanya itu, pada tempat tertentu terjadi karena ketinggian permukaan yang berbeda (Welly *et al.*, 2012). Arus laut diklasifikasikan dalam empat tipe yaitu arus yang dipengaruhi oleh pasang surut, arus yang dipengaruhi angin, arus yang berhubungan terhadap distribusi densitas, dan arus yang ditimbulkan oleh gelombang laut (Ippen, 1966). Secara umum pada lokasi penelitian di muara sungai Sambas didominasi oleh arus laut yang dipengaruhi oleh pasang surut dan juga angin.

Arus pasut merupakan gerak turun naiknya permukaan air laut karena pasang surut pada wilayah perairan dan interaksinya dengan batas-batas perairan (pantai, kedangkalan, dan dasar perairan). Tempat pasut tersebut menimbulkan gerak badan air ke arah horizontal. Fenomena ini sangat dominan pada wilayah perairan semi tertutup (teluk), perairan dangkal, muara sungai (delta dan estuari). Kecepatan arus pasut minimum atau efektif nol terjadi saat air tertinggi atau air terendah (*slack waters*). Hal ini yang menyebabkan terjadi perubahan arah arus pasut. Kecepatan arus pasut maksimum terjadi pada saat kedudukan muka air rendah atau air tinggi *Mean Sea Level* (MSL). Sebaran vektor pengamatan arus pada suatu kawasan pesisir merupakan informasi penting untuk mengetahui pola pergerakan arus dari waktu ke waktu (Poerbandono dan Djunarsjah, 2005).

Arus laut di perairan dangkal (kawasan pantai) dipengaruhi langsung oleh gelombang laut dan pasang surut sampai tinggai tertentu. Kondisi arus laut akan berubah apabila sirkulasi massa air diperairan sempit dan semi tertutup. Hal ini akan

dipengaruhi langsung oleh masa airnya. Arus yang disebabkan oleh angin pada umumnya bersifat musiman, dimana pada satu musim arus mengalir ke satu arah dengan tetap dan pada musim berikutnya akan berubah arah sesuai dengan perubahan arah angin yang terjadi (Pariwono, 1999).

### 2.3 Gerakan Arus Pasut

Gerakan arus pasut memiliki tiga tipe, yaitu gerakan rotasi, gerakan berubah arah, dan gerak hidrolik. Pada laut lepas, gerakan arus pasut merupakan gerakan yang berbentuk elips dengan rotasi searah jarum jam pada Belahan Bumi Utara (BBU) dan berlawanan arah jarum jam pada Belahan Bumi Selatan (BBS). Arus pasut bergerak secara kontinu dengan arah yang selalu berubah mengikuti arah jarum jam atau berlawanan dengan arah jarum jam dalam satu periode pasut. Pada lepas pantai, rotasi arus pantai untuk tipe semi diurnal melingkapi dalam satu sirkulasi pada waktu 12 jam 25 menit. Pengaruh terjadinya deklinasi bulan, maka mengakibatkan ketidaksamaan hari pada pasut dan arusnya. Apabila ketidaksamaan ini cukup besar maka vektor arus akan menampilkan dua elips dengan ukuran berbeda selama periode 24 jam 50 menit. Ketidaksamaan harian terjadi pada *tropic tide* dimana deklinasi bulan merupakan maksimal yaitu  $28^\circ$  terhadap ekuator sedangkan pada *equatorial tide* dimana bulan tepat berada diatas ekuator bumi. Hal ini mengakibatkan ketidak samaan harian dari arus tidak terjadi. Gerak arus pasut di sungai, estuary dan teluk adalah bolak balik, dimana pada masing-masing kondisi pasut pola arus pasutnya sebagai berikut:

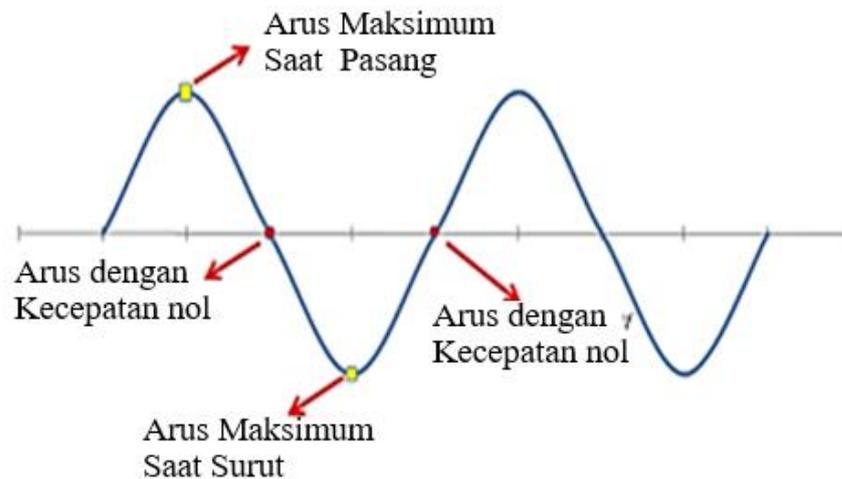
a. Pada saat pasang

Muka air di laut lebih tinggi dari pada di estuari, akibatnya arus pasut bergerak memasuki estuari, kondisi ini disebut dengan *flood*.

b. Pada saat surut

Muka air laut lebih rendah dari pada di estuari, sehingga arus pasut keluar estuari menuju laut, kondisi ini disebut dengan *ebb*. Kondisi kecepatan arus pada Gambar 2.2, menunjukkan bahwa saat akan terjadi perubahan arah arus terdapat suatu periode yang pendek ketika kecepatan arus kecil atau nol kondisi ini disebut dengan *slack water*. Kecepatan arus maksimum pada saat pasang disebut dengan

*flood strength* dan kecepatan maksimum pada saat surut disebut *ebb strength*. *Flood strength* dan *ebb strength* ini terjadi di antara dua *slack water*.



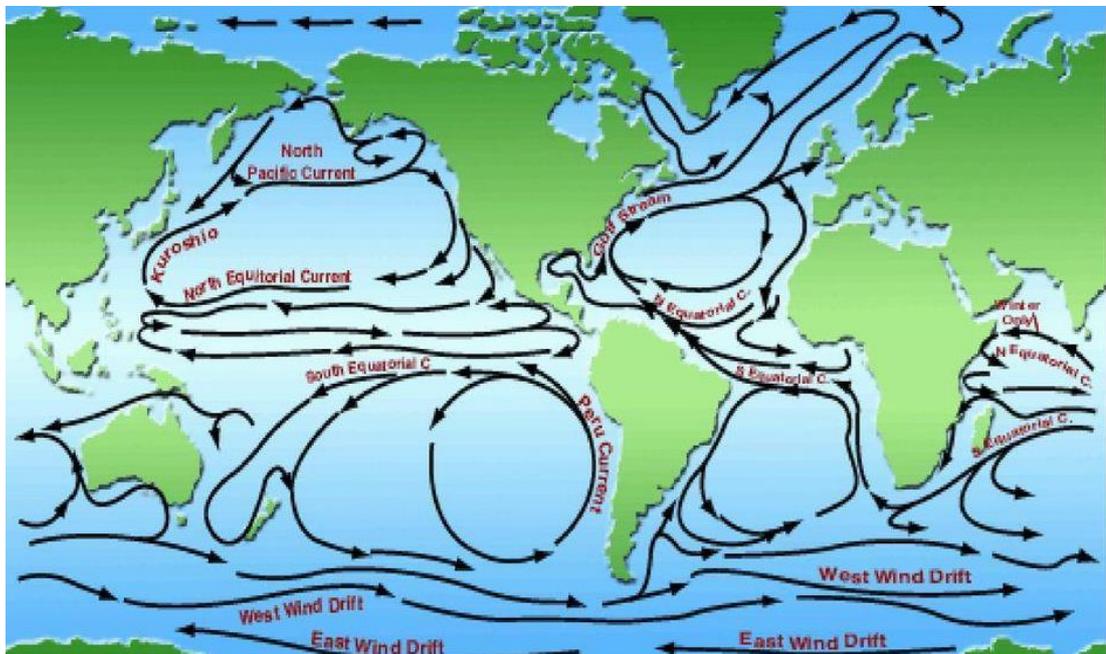
Gambar 2.2 Kondisi kecepatan arus (Hadi dan Radjawane, 2009)

#### 2.4 Arus yang Dipengaruhi oleh Angin

Arus permukaan laut umumnya dipengaruhi oleh gerakan *stress* angin yang bekerja pada permukaan laut. Angin cenderung mendorong lapisan air di permukaan laut dalam arah gerakan angin, tetapi karena pengaruh rotasi bumi atau pengaruh gaya Coriolis. Arus tidak bergerak searah dengan arah angin tetapi dibelokkan ke arah kanan dari arah angin di belahan bumi utara dan arah kiri di belahan bumi selatan. Hal ini menyebabkan angin dari selatan (di belahan bumi utara) akan membangkitkan arus yang bergerak ke arah timur laut. Arus yang dibangkitkan angin ini kecepatannya berkurang dengan bertambahnya kedalaman dan arahnya berlawanan dengan arah arus di permukaan (Azis, 2006).

Pariwono (1999) mengatakan bahwa di sebagian besar perairan, faktor utama sirkulasi arus permukaan yang menimbulkan arus relatif kuat adalah angin. Arus yang disebabkan oleh angin pada umumnya bersifat musiman, dimana pada satu musim arus mengalir ke satu arah dengan tetap pada musim berikutnya akan berubah arah sesuai dengan perubahan arah angin yang terjadi. Letak geografis perairan Indonesia yang berada pada sistem Angin Muson menyebabkan kondisi

oseanografi di perairan tersebut dipengaruhi oleh sistem Angin Muson. Sirkulasi dalam laut didominasi oleh perbedaan densitas (Oktavia *et al.*, 2011).



Gambar 2.3 Sirkulasi arus global akibat pengaruh angin  
(Sumber: Hadi dan Radjawane, 2009)

## 2.5 Pasang surut

Kejadian pasang surut yang sering juga disebut dengan pasut merupakan kejadian proses naik dan turunnya air laut secara periodik yang ditimbulkan oleh adanya gaya tarik menarik dari benda-benda angkasa, yang terutama sekali disebabkan oleh gaya tarik matahari dan gaya tarik bulan terhadap massa air di bumi. Proses kejadian pasang surut dapat dilihat secara langsung kalau kita berada di pantai. Gerakan naik turunnya permukaan air yang secara periodik juga mempengaruhi aktivitas kehidupan manusia yang tinggal di daerah pantai. Seperti pelayaran, pembangunan dermaga di daerah pantai, aktivitas para nelayan, dan sebagainya (Zakaria, 2009).

Posisi bulan dan matahari terhadap bumi selalu berubah secara hampir teratur, maka besarnya kisaran pasut juga berubah mengikuti perubahan posisi-posisi tersebut. Selain itu, pasut terdiri dari berbagai komponen yang dapat dikelompokkan menurut siklusnya, seperti komponen pasut harian (diurnal), tengah-harian (semi-diurnal), atau komponen perempat harian (kuaternal).

Komponen-komponen pasut tersebut (terutama dua komponen yang disebut pertama) menentukan tipe pasut di suatu perairan (Pariwono, 1999). Jika perairan tersebut mengalami satu kali pasang dan surut per hari, maka kawasan tersebut dikatakan bertipe pasut tunggal. Jika terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam satu hari, maka pasutnya dikatakan bertipe pasut ganda. Tipe pasut lainnya merupakan peralihan antara tipe tunggal dan ganda, dan dikenal sebagai pasut campuran (Pariwono, 1999).

Beberapa wilayah sekitar estuaria (muara sungai) yang lebar dan panjang, pasang surut mendapatkan pengaruh dari aliran sungai tersebut. Walaupun energi pasang yang dari laut akan menjadi berkurang sebanding dengan berkurangnya kedalaman, namun ketika memasuki estuari air sungai didesak ke atas sehingga alirannya menjadi relatif terhenti saat puncak pasang tertinggi selama beberapa saat. Ini berarti permukaan air sungai sama tinggi dengan permukaan air laut dimana kecepatan aliran air dari kedua belah pihak menjadi nol. Sebaliknya kecepatan air sama dengan nol juga terjadi pada saat air rendah. Suatu titik berada di tengah antara air tinggi dan air rendah mempunyai kecepatan alir terbesar. Aliran (arus) yang terjadi saat berlangsungnya proses pasang surut disebut sebagai arus pasang (*flood currents*) dan arus surut (*ebb currents*) (Danial, 2008).

## 2.6 Tipe pasang surut

Pasang surut dibagi atas empat tipe atau macam yang dinyatakan dalam bilangan *formzahl* (f), yaitu pasang surut diurnal, semidiurnal, campuran condong diurnal, dan campuran condong semidiurnal seperti dalam Tabel 2.1. Bilangan *formzahl* (f) dinyatakan sebagai (Budiman, 2015).

$$F = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2} \quad (2.1)$$

Keterangan:

F = bilangan *formzahl*

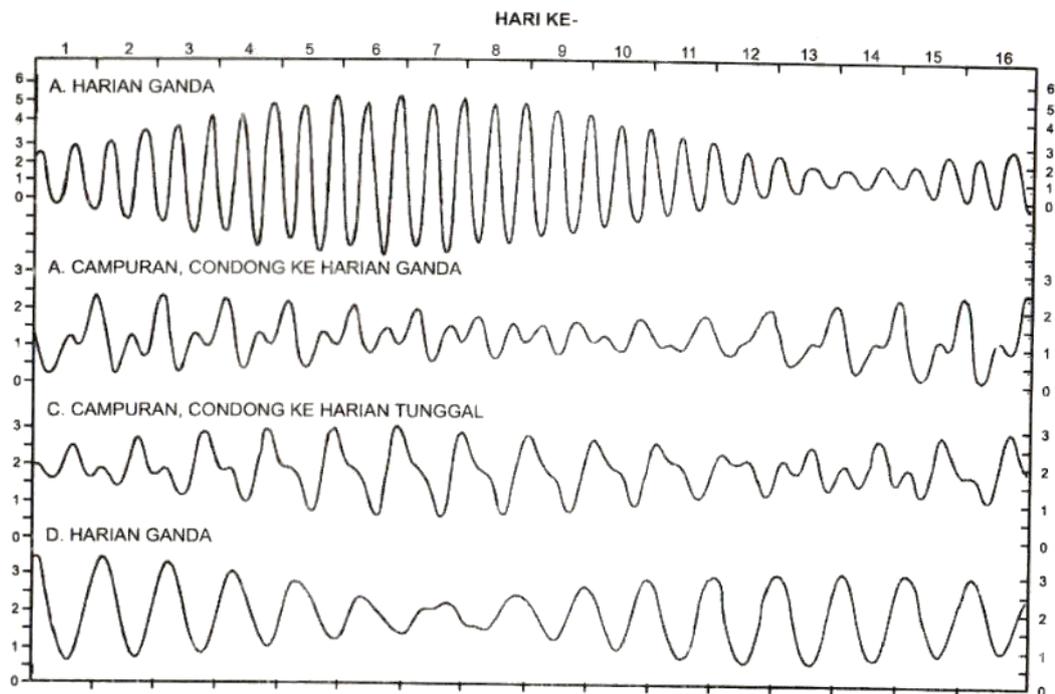
K<sub>1</sub>, O<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, S<sub>2</sub> = amplitudo dari komponen-komponen harmonik pasang surut K<sub>1</sub>, O<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> dan S<sub>2</sub>

Bilangan Formzahl memiliki range tertentu untuk menentukan tipe pasang surut suatu perairan laut. Adapun kriteria untuk menentukan tipe pasang surut dapat dilihat pada Tabel 2.1 (Budiman, 2015).

**Tabel 2.1 Tipe pasang surut berdasarkan bilangan *formzahl***

Bilangan <i>formzahl</i>	Jenis Pasang Surut	Fenomena
0-0,25	Semidiurnal	2x pasang dan surut dalam satu hari dengan tinggi sama
0,25- 1,5	Campuran berganda	2x pasang dalam satu hari dengan tinggi berbeda
1,5- 3	Campuran Tunggal	1x atau 2x pasang dan surut dalam satu hari dengan tinggi berbeda
>3	Diurnal	1x pasang dan surut

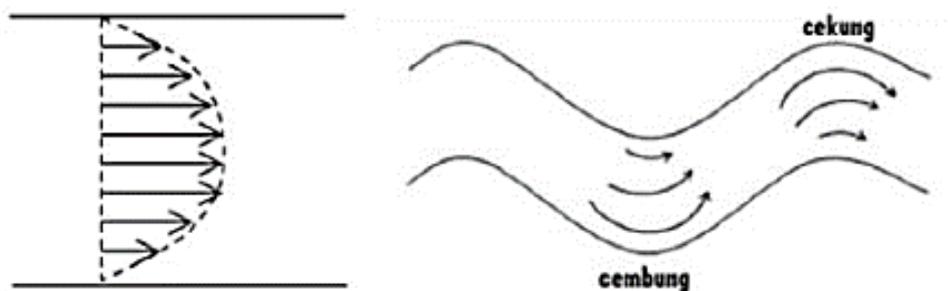
Tipe-tipe pasang surut tersebut dapat diketahui melalui plot grafik elevasi muka laut perairan selama periode tertentu seperti yang terlihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Tipe pasang surut: a) semidiurnal, b) campuran condong, c) campuran condong ke harian tunggal, d) harian ganda

## 2.7 Variasi Arus Pasang Surut di Estuari

Arus pasang surut di estuari terdiri dua variasi yaitu variasi dalam arah melintang dengan variasi dalam arah vertikal. Variasi pertama yaitu variasi dalam arah melintang yang dimana kecepatan arus pasang surut umumnya lebih besar dibagian tengah daripada bagian tepi tetapi untuk estuari yang berbelok-belok maka arus kuat terjadi dekat tepi yang cembung dan tepi yang cekung (Gambar 2.5). Secara rata-rata arus pasang surut berubah arah lebih cepat di daerah tepi estuari daripada dibagian tengahnya, dengan kecepatan arus lebih besar. Perbedaan  $\frac{1}{2}$  jam sampai dengan satu jam umum dijumpai. Perbedaan waktu ini bisa berubah oleh efek arus non pasang surut. Sedangkan variasi dalam arah vertikal secara umum kecepatan arus dekat dasar lebih kecil daripada kecepatan arus dekat permukaan dan flood biasanya terjadi lebih awal di dekat dasar dibandingkan di dekat permukaan. Perbedaannya bisa mencapai 1–2 jam atau lebih kecil lagi, hal ini tergantung pada estuari, lokasi di estuari, dan debit sungai (Kisnarti dan Prasita, 2019)



Gambar 2.5 Variasi kecepatan arus pasang surut dalam arah melintang (Kisnarti dan Prasita, 2019)

## 2.8 Debit Aliran

Debit aliran merupakan satuan yang digunakan untuk mendekati nilai-nilai hidrologis yang terjadi di lapangan. Kemampuan pengukuran debit aliran dapat digunakan untuk mengetahui potensi sumber daya air di suatu wilayah Daerah Aliran Sungai. Debit aliran dapat dijadikan sebuah alat untuk memonitor air di suatu kawasan melalui pendekatan potensi sumber daya air permukaan yang ada. Debit adalah volume per satuan waktu (Neno, *et al.*, 2016).

Analisis debit aliran adalah suatu kajian data debit yang menuju pada suatu basil perumusan atau pendekatan potensi sumber daya air. Ketersediaan data debit aliran yang panjang dan lengkap sangat mendukung dalam program perencanaan, penanggulangan dan pengelolaan sumber daya air di suatu wilayah. Faktor-faktor yang mempengaruhi debit aliran pada suatu daerah aliran sungai terdiri dari faktor meteorologi yaitu berupa intensitas curah hujan dan karakteristik daerah aliran sungai atau topografi yaitu berupa kemiringan lahan (Staddal *et al.*, 2016).

Pengukuran debit aliran sungai didasarkan pada pengukuran kecepatan arus aliran sungai dan luas penampang basah dengan menggunakan rumus yang dibuat oleh Bernoulli (Asdak, 1995)

$$Q = V.A \quad (2.2)$$

Keterangan:

Q = debit aliran sungai (m<sup>3</sup>/det)

V = kecepatan aliran sungai (putaran/det)

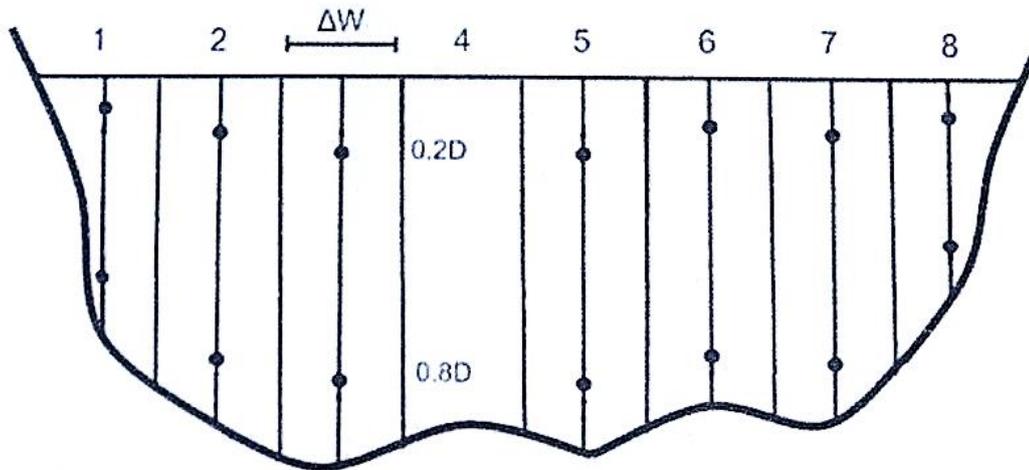
A = luas penampang (m<sup>2</sup>)

Penampang dibagi menjadi beberapa bagian yang kecil. Kecepatan rata-rata untuk setiap bagian diukur dan dikali dengan lebar ( $\Delta w_i$ ) dan rata-rata kedalaman bagian ( $D_i$ ), menghasilkan arus disuatu stasiun (Q) (Bedient, et al., 1992). Aliran setiap stasiun dihitung menggunakan persamaan:

$$Q = \sum_{i=1}^n (V_i \cdot \Delta w_i D_i) \quad (2.3)$$

dimana Q merupakan total debit (m<sup>3</sup>/s), V1 merupakan kecepatan rata-rata pada dua titik pengukuran (m/s),  $\Delta w_i$  merupakan lebar penampang perbagian (m) dan  $D_i$  merupakan kedalaman (m) yang diambil dengan 2 pengukuran kecepatan pada satu segmen yaitu pengukuran dua titik pada kedalaman 0,2 D dan 0,8 D dari permukaan perairan. Kecepatan rata-rata pada dua titik pengukuran dapat dilihat dari persamaan:

$$V_i = \frac{1}{2} (0,2 D + 0,8 D) \quad (2.4)$$



Gambar 2.6 Sketsa penampang sungai untuk perhitungan debit sungai (Hallerth dan Byden, 2013)

## 2.9 Persamaan Hidrodinamika 2D

Kondisi pergerakan massa air (hidrodinamika) pada suatu perairan dapat dilakukan dengan pendekatan secara numerik. *Resources Management Associates-2* (RMA-2). Model numerik merupakan elemen hingga dua dimensi yang digunakan dalam penyelesaian permasalahan hidrodinamika pada suatu lokasi perairan dengan asumsi rata-rata. Menurut pernyataan dari Fitriani *et al.* (2021) Model numerik RMA-2 dapat menyelesaikan persamaan kekekalan massa (kontinuitas) dan momentum air yang diintegrasikan terhadap kedalaman (*depth-averaged*) pada dua dimensi horizontal. Percepatan arah vertikal diabaikan sehingga vektor kecepatan memiliki besar dan arah yang sama sepanjang kolom air.

Persamaan kontinuitas dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (2.5)$$

Persamaan momentum:

Arah x:

$$h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left[ E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] + gh \left[ \frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{g u n^2}{(1,486^{1/6})^2} (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} - \zeta v_a^2 \cos \phi - 2hv\omega \sin \phi = 0 \quad (2.6)$$

Arah y:

$$h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left[ E_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] + gh \left[ \frac{\partial a}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \frac{g v n^2}{(1,486^{1/6})^2} (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} - \zeta v_a^2 \sin \phi - 2hu\omega \sin \phi = 0 \quad (2.7)$$

Keterangan:

h	= kedalaman air (m)
u, v	= kecepatan aliran dalam arah x, y (m/s)
x, y, t	= koordinat kartesius dan waktu (s)
$\Delta\Delta$	= densitas fluida
E	= koefisien kekentalan Eddy
xx	= untuk arah x
yy	= untuk arah y
$E_{xy}$ dan $E_{yx}$	= untuk xy dan yx (arah geser pada setiap permukaan)
g	= percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )
a	= elevasi dasar perairan (m)
n	= <i>Manning's roughness n-value</i> (koefisien kekasaran)
$\zeta$	= koefisien tegangan geser angin
$V_a$	= kecepatan angin
$\phi$	= arah angin
$\omega$	= kecepatan rotasi bumi
$\phi$	= posisi lintang geografis

Persamaan momentum air yang digunakan hanya menghitung elevasi air akibat pasang surut. Elevasi muka air akibat pengaruh gelombang sama sekali tidak tercakup disini (Mustain, 2009).

### **2.10 *Surface Modeling System (SMS)***

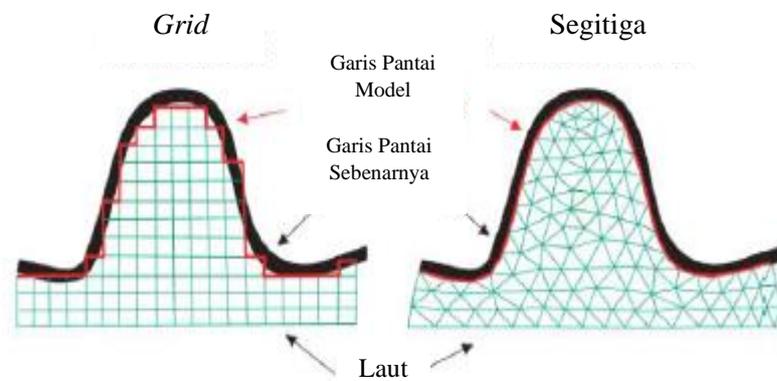
*Surface Modeling System (SMS)* merupakan salah satu *software* dalam pemodelan lingkungan dengan model satu, dua atau tiga dimensi yang dikembangkan oleh *Environmental Modeling Research Laboratory (EMRL)* di *Brigham Young University* (lebih dikenal dengan *Engineering Computer Graphics Laboratory*) bekerjasama dengan *the U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station (USACE-WES)*, dan *the U.S. Federal Highway Administration (FHWA)* (Sahalessy *et al.*, 2018). Menurut penelitian dari Zulkifli *et al.*, (2017) SMS adalah sebuah alat bantu grafis berupa *software* yang sesuai digunakan untuk pembuatan model dan visualisasi hasil untuk pemodelan permukaan air. Model dapat dibuat dengan menggunakan peta digital dan model elevasi untuk data referensi atau sumber pengukuran.

### **2.11 *Mesh***

*Mesh* pada pemodelan hidrodinamika merupakan jaring dasar pembentuk domain model. *Mesh* ada yang berbentuk *grid (Structured Grid)* dan ada yang berbentuk *Triangulated Irregular Network (TIN)* atau segitiga (*Unstructured Grid*). Pada penelitian ini menggunakan *mesh* dengan bentuk TIN atau segitiga (*Unstructured Grid*).

Bentuk *mesh* juga memiliki penyelesaian dengan masing-masing keuntungan tersendiri, penggunaan *unstructured triangular mesh* akan memberikan representasi garis pantai yang lebih akurat, namun sering terjadi *error* dengan timbulnya bias aliran yang tidak rial. Hasilnya bias menjadi aplikasi batas yang tidak slip, dan masalah dengan cairan sepanjang lereng pantai. Daerah spasial didiskritasi menjadi beberapa bagian yang kontinyu dan tidak tumpang tindih dari masing-masing elemen. Bidang horizontal *unstructured triangular mesh* terdiri dari elemen segitiga untuk integrasi waktu pada skema eksplisit. Penggunaan *grid*

teratur tidak dapat merepresentasikan bentuk garis pantai secara akurat, namun kemudahan dalam kalkulasi perhitungan. (Kamal, 2017).



Gambar 2.7 Ilustrasi perbedaan bentuk *mesh* pada penyelesaian numerik 2D, konfigurasi *Unstructured triangular mesh* dapat mempresentasikan garis pantai (Sumber: Kamal, 2017)