

BAB II

LANDASAN TEORI

II.1 Sungai Musi

Sungai Musi ialah sungai yang memiliki muara puluhan sungai besar dan kecil lainnya, dari Bengkulu sampai Sumatera Selatan. Panjang Sungai Musi sekitar 750 km dan lebar dengan lebar 540 m dan melintasi Kota Palembang. Mata airnya bersumber di Kabupaten Kepahiang Provinsi Bengkulu. Administrasi daerah aliran Sungai Musi terdapat di empat provinsi diantaranya adalah Sumatera Selatan, Bengkulu, Jambi serta Lampung. Kabupaten/Kota di Provinsi Sumatera Selatan yang masuk ke wilayah aliran Sungai Musi meliputi 17 Kota di Provinsi Sumatera Selatan (Pramono dan Putra, 2017).

Daerah aliran Sungai Musi mengalir dari pegunungan Provinsi Bengkulu di bagian barat pulau sebagai mata air pertama sungai yang mengalir ke arah muara yang mencapai lautan di bagian timur Pulau Sumatera sampai Provinsi Sumatera Selatan. Berdasarkan karakteristik fisiknya, sungai dapat terbagi tiga zona, adalah hulu, tengah serta hilir. Daerah hulu Musi dimulai di Taberena, desa dataran tinggi di perbukitan dengan ketinggian 700 m di atas permukaan laut serta dikelilingi dengan hutan konservasi. Zona tengah Sungai Musi berkisar antara Muara Kelingi hingga Tebing Abang dengan panjang sekitar 177 km dan ketinggian antara 15 m hingga 40 m di atas permukaan laut. Itu di dataran rendah di kaki gunung di mana beberapa aliran bergabung dengan Sungai Musi pada kecepatan sedang yang mengurangi erosi. Zona hilir yang mengalir dari Tebing Abang ke muara Bangka di Sungsang, merupakan bagian dari sungai yang mencapai laut. Panjangnya sekitar 146 km dan sangat datar dengan ketinggian antara 15 sampai 0 m di atas permukaan laut. Sungai menyimpan sedimen di sepanjang aliran sungai seperti lumpur, pasir dan tanah liat (Fitri, 2019).

Sungai Musi merupakan sarana dan prasarana yang banyak dimanfaatkan oleh masyarakat untuk air minum serta mandi dan salah satu media transportasi perdagangan serta pengiriman pertambangan dan juga menjadi sumber mata pencaharian yang mempunyai profesi nelayan dan menjadi salah satu pintu gerbang transportasi perairan (Emilia, Suheryanto, dan Hanafiah, 2013).

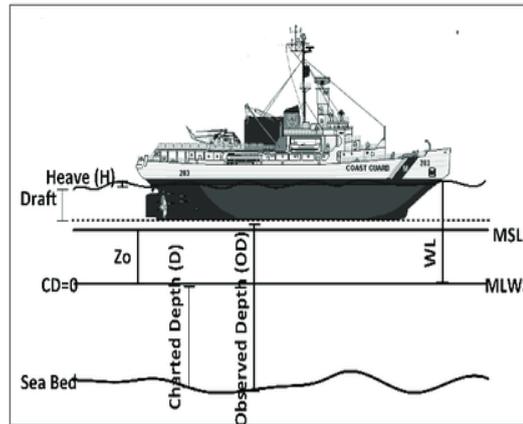
II.2 Datum Peta Sungai

Datum peta ialah hasil perhitungan tinggi muka air dari pengamatan tinggi muka air. Datum peta dapat juga disebut sebagai titik kedalaman nol pada survei hidrografi, untuk menentuka titik nol wajib dilaksanakan melalui merata-ratakan data tinggi muka air yang teramati selama beberapa waktu (Poerbandono dan Djunarsjah, 2005).

Datum peta yang ditetapkan oleh IHO (*International Hydrographic Organization*) adalah muka air terendah astronomis disebut LAT (*Lowest Astronomical Tide*), yaitu muka air terendah dari tinggi muka air pada lokasi pengamatan selama 19 tahun. Informasi tinggi muka air pada rentang waktu tertentu juga bermanfaat buat keperluan prediksi tinggi muka air. Penentuan datum peta di sungai lebih sulit dibandingkan di laut, karena sungai memiliki karakteristik yang berbeda, maksud karakteristik yang berbeda adalah sungai mengalir dari hulu ke hilir dikarenakan adanya perbedaan ketinggian sehingga ketinggian di sepanjang perairan sungai tidaklah sama (Martumbur, 2019).

Datum peta digunakan buat keperluan navigasi untuk keamanan pada saat melakukan navigasi kapal. Diperlukan titik kedalaman paling dangkal untuk dapat dicapai di perairannya. Hal ini membuat navigator dari kapalnya dapat memberitahui perairan yang dilewati aman (Hapsari, 2019). Visualisasi kedudukan datum peta disajikan pada gambar II.1

Penentuan LAT berdasarkan perhitungan amplitudo dari komponen-komponen harmonik tinggi muka air dan nilai duduk tengah, nilai komponen harmonik tinggi muka air didapatkan dari perhitungan metode *admiralty* atau metode kuadrat terkecil. Penentuan datum peta berada pada jarak sebesar Z_0 terhadap duduk tengah (DT), Z_0 merupakan penjumlahan amplitudo komponen-komponen harmonik tinggi muka air dapat dilakukan dari analisis tinggi muka air sesuai dengan panjang data pengamatan (Poerbandono dan Djunarsjah, 2005).



Gambar II.1 Penentuan lokasi datum (Carlos Z, dkk, 2019)

Keterangan simbol dari pada gambar II.1 dilampirkan di tabel II.1

Tabel II.1 Penjelasan simbol

Simbol	Keterangan
OD	Observasi kedalaman
D	Observasi yang dipetakan
WL	Ketinggian air
MSL	Muka air laut rata-rata
CD	Datum peta

Sumber: (Carlos Z, dkk, 2019)

II.3 Pengertian Tinggi Muka Air

Datum peta sangat erat kaitannya dengan fenomena tinggi muka air, karena datum peta didapatkan melalui pengamatan tinggi muka air. Menurut IHO (*International Hydrography Organization*) mengklarifikasikan tinggi muka air sebagai periode pasang serta surut dari laut atau sungai, ialah konsep dari energi tarik gravitasi dari bulan serta matahari pada rotasi bumi (*International Hydrographic Organization, 2012*).

Teori tersebut bisa disimpulkan kalau tinggi muka air ialah gerakan naik turunnya permukaan air yang terjalin secara periodik yang utamanya disebabkan oleh gravitasi benda-benda astronomis tidak hanya menyebabkan tinggi muka air tetapi pula menyebabkan terjadinya perubahan bentuk bumi serta atmosfer.

Pada pengamatan tinggi muka air terdapat dua metode, ialah pengamatan langsung dan pengamatan tidak langsung (Cahyono dan Pratomo, 2008):

a. Metode Pengamatan Langsung

Metode ini dilakukan dengan membaca nilai pada rambu tinggi muka air yang bertepatan dengan muka air pada waktu tertentu. Untuk pengamatan kurun waktu pendek, metode ini digunakan karena pembiayaannya terjangkau.

b. Metode Pengamatan Tidak Langsung

Metode ini dilakukan menggunakan alat ukur *Automatic Tide Gauge* di lokasi tertentu yang disebut stasiun tinggi muka air. Metode ini digunakan untuk observasi pengamatan lama. Hasilnya diperoleh tidak mewakili angka yang langsung memberikan kedudukan permukaan air. Melakukan perubahan dari grafik yang didapatkan diubah menjadi sesuatu nilai yang berdasarkan dari pembacaan rambu tinggi muka air yang dipasang sebagai skala pembanding (standar).

II.3.1 Konstanta Tinggi Muka Air

Konstanta harmonik tinggi muka air ialah pengertian dari resultan gaya penggerak tinggi muka air. Resultan gaya tinggi muka air ialah resultan dari gaya tarik menarik antara bumi, bulan serta matahari. Komponen harmonik ini selanjutnya dibedakan ke dalam beberapa bagian sesuai dengan karakteristik tersebut, yaitu *semidiurnal*, *diurnal* serta periode panjang.

Dikarena letak bulan serta matahari terhadap bumi selalu berubah oleh sebab itu, resultan gaya tinggi muka air yang didapatkan dari gaya tarik tersebut tidak klasifikasi yang dihasilkan.

Konstanta harmonik tinggi muka air pada setiap observasi berbeda, namun untuk garis besar konstanta dapat dibedakan menjadi empat anggota (Triatmodjo, 1999) adalah:

- a. Konstanta harmonik periodik panjang (*long period tide*), terdiri dari M_f dan M_m .
- b. Konstanta harmonik periodik setengah harian (*semidiurnal period tide*), terdiri dari M_2 , S_2 , N_2 dan K_2 .

- c. Konstanta harmonik periodik harian (*diurnal period tide*), terdiri dari K_1 , O_1 dan P_1 .
- d. Konstanta harmonik perairan dangkal (*shallow water tide*), terdiri dari M_4 dan MS_4 .

Konstanta tinggi muka air memiliki nilai periode dan kecepatan yang berbeda pada tiap komponen konstanta tinggi muka air serta nama-nama komponen konstanta tinggi muka air disajikan pada tabel II.2

Tabel II.2 Konstanta harmonik utama tinggi muka air

Nama Konstanta	Simbol	Periode (jam)	Kecepatan ($^{\circ}$ /jam)	Keterangan
<i>Lunar fortnight</i>	M_f	327,82	1,098	Periodik Panjang
<i>Lunar monthly</i>	M_m	661,30	0,544	
<i>Principal lunar</i>	M_2	12,66	28,440	<i>Semidiurnal</i>
<i>Principal solar</i>	S_2	11,98	30,082	
<i>Larger lunar elliptic</i>	N_2	12,66 2	28,440	<i>Semidiurnal</i>
<i>Luni solar semi diurnal</i>	K_2	11,98	30,082	
<i>Luni solar diurna</i>	K_1	23,93	15,041	
<i>Principal lunar diurnal</i>	O_1	25,82	13,943	<i>Diurnal</i>
<i>Principal solar diurnal</i>	P_1	24,07	14,959	
<i>Main lunar</i>	M_4	6,21	57,968	Perairan Dangkal
<i>Main luni-solar</i>	MS_4	6,20	58,084	

Sumber: (Triatmodjo, 1999)

Tabel II.3 Penjelasan konstanta harmonik utama tinggi muka air

Simbol	Fenomena	Perbandingan Relatif
M_2	Gravitasi bulan terhadap orbit lingkaran serta sejajar ekuator bumi	100
S_2	Gravitasi matahari dengan orbit lingkaran dan sejajar ekuator bumi	47
N_2	Perubahan jarak bulan terhadap bumi diakibatkan lintasan elips	19

Simbol	Fenomena	Perbandingan Relatif
K ₂	Perubahan jarak bumi terhadap matahari diakibatkan lintasan elips	13
K ₁	Deklinasi sistem bulan dan matahari	58
O ₁	Deklinasi bulan	42
P ₁	Deklinasi matahari	19
M ₄	Dua kali kecepatan sudut M ₂ akibat pengaruh bulan di perairan dangkal	-
MS ₄ .	Interaksi M ₂ dan S ₂ di perairan dangkal	-

Sumber: (Poerbandono dan Djunarsjah, 2005)

Fenomena naik serta turunnya muka air yang dipengaruhi oleh gaya tarik benda luar angkasa terutama bulan serta matahari, dimana fenomena naik dan turunnya muka air bergerak secara periodik (Poerbandono dan Djunarsjah, 2005). Penjelasan fenomena kontantan harmonik tinggi muka air disajikan pada tabel II.3

II.3.2 Tipe Tinggi Muka Air

Tinggi muka air disebabkan oleh frekuensi air pasang dan surut setiap waktunya yang mana ada perbedaan tersendiri setiap lokasi disebabkan gaya pembangkit tinggi muka air. Pada umumnya sifat tinggi muka air pada suatu perairan dihitung dengan perhitungan antara amplitudo (tinggi gelombang) unsur-unsur tinggi muka air tunggal utama terhadap bagian-bagian tinggi muka air ganda utama melalui nilai *Formzahl* (F) menggunakan empat nilai konstanta (M₂, S₂, K₁ dan O₁) perhitungannya didapatkan melalui persamaan dibawah ini (Yoganda et al., 2019):

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

Keterangan,

F : bilangan *formzahl*.

O₁ : amplitudo komponen tinggi muka air tunggal utama dipengaruhi oleh gaya tarik bulan.

K₁ : amplitudo komponen tinggi muka air tunggal utama yang dipengaruhi oleh gaya tarik matahari.

S_2 : amplitudo komponen tinggi muka air ganda utama yang dipengaruhi oleh gaya tarik matahari.

M_2 : amplitudo komponen tinggi muka air ganda utama yang dipengaruhi oleh gaya tarik bulan.

Berdasarkan nilai *Formzahl*, dapat dibedakan tipe tinggi muka air yang terjadi di suatu perairan menjadi empat kelas adalah:

1. $0 < F \leq 0,25$, Tinggi muka air harian ganda (*semi diurnal tide*).

Dua kali pasang serta dua kali surut pada satu hari terhadap tinggi yang sama (secara pendekatan). Periodik tinggi muka air rata-rata adalah 12 jam 24 menit.

2. $0,25 < F \leq 1,5$, Tinggi muka air campuran harian ganda (*mixed tide, prevailing semi diurnal*).

Terdapat dua kali pasang serta dua kali surut pada satu hari juga terjadi satu kali pasang serta satu kali surut dengan memiliki ketinggian dan waktu beda.

3. $1,5 < F \leq 3$, Tinggi muka air campuran harian tunggal (*mixed tide, prevailing diurnal*).

Tinggi muka air pada setiap harinya terjadi satu kali pasang dan satu kali surut juga terkadang terjadi dua kali pasang serta dua kali surut dengan memiliki ketinggian dan waktu beda.

4. $F > 3$, Tinggi muka air harian tunggal (*diurnal tide*).

Satu kali pasang serta satu kali surut pada satu hari.

II.3.3 Ketinggian Muka Air

Ketinggian muka air dapat dijadikan sumber ketinggian muka air serta referensi ketinggian pada lokasi. Maka dari itu dijadikan sumber ketinggian yang didasarkan pada informasi tinggi muka air, yang dapat digunakan sebagai sumber pada perencanaan suatu lokasi di daerah pesisir pantai dan pesisir sungai. Berikut ketinggian muka air yang diperlukan antara lain (Suprayogi, 2019):

- a *Lowest Astronomical Tide* (LAT) adalah tinggi muka air terendah yang terjadi disebabkan kondisi meteorologis rata-rata serta hasil dari kombinasi pengaruh luar angkasa.

- b *Highest Astronomical Tide* (HAT) adalah kedudukan muka air tertinggi yang terjadi di bawah kondisi meteorologis rata-rata serta hasil dari kombinasi pengaruh luar angkasa.
- c *Mean High Water Level* (MHWL) atau muka air rerata ialah rerata dari muka air tinggi selama 19 tahun.
- d *Mean Low Water Level* (MLWL) atau muka air rerata ialah rerata dari muka air rendah selama 19 tahun.
- e Duduk tengah (DT) atau muka air rata-rata ialah muka air rata-rata dari rata-rata muka air tinggi serta rata-rata muka air rendah.
- f *Lowest Low water level* (LLWL) atau muka air rendah terendah ialah kedudukan muka air terendah terjadi ketika surut pada satu siklus tinggi muka air.
- g *Highest High water level* (HHWL) atau muka air tinggi tertinggi ialah kedudukan muka air tertinggi terjadi ketika tinggi muka air pada satu siklus tinggi muka air.

II.4 Metode Kuadrat terkecil

Metode kuadrat terkecil ialah metode yang digunakan untuk bertujuan untuk menghitung komponen harmonik tinggi muka air serta akan mendapatkan nilai amplitudo dan fase dari setiap komponen dan menganalisa komponen tinggi muka air sehingga ketinggiannya dapat diprediksi. Metode kuadrat terkecil prinsipnya saat menghitung tinggi muka air pengamatan saat minimum. Metode ini konsepnya melakukan garis yang mempunyai nilai selisih (jarak vertikal) antara data dengan regresi yang terkecil. Pada konsepnya metode kuadrat terkecil meminimalisirkan persamaan ketinggian tinggi muka air, kemudia didapatkan persamaan simultan. Selanjutnya, persamaan simultan tersebut diselesaikan dengan metode numerik akhirnya didapatkan konstanta tinggi muak air. Persamaan numerik tinggi muka air secara umum adalah sebagai berikut:

$$y(t) = S_0 + \sum_{i=1}^n A_i \cos [\omega_n t - \phi_i] \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan,

- $y(t)$: tinggi muka air sesaat
- A_i : amplitudo komponen
- ω_n : kecepatan sudut ($2\pi/T_n$)

- ϕ_i : fase komponen ke-i (satuan meter)
- t : waktu
- S_0 : tinggi muka air rata-rata (satuan meter)

Pada perhitungan tinggi muka air dengan cara melakukan analisis harmonik metode kuadrat terkecil menggunakan program perangkat lunak *t_tide*. *T_tide* adalah perangkat lunak untuk menganalisis data tinggi muka air dengan metode kuadrat terkecil, untuk menjalankan program *t_tide* haruslah menggunakan perangkat lunak *matlab*. Hasil pengolahan data menggunakan program *t_tide* akan berupa komponen tinggi muka air dan hasil prediksi 19 tahun. Pada rancangan *t_tide* ada beberapa paket program antara lain:

- a. Paket rancangan analisis tinggi muka air:
 - 1) *t_tide.m* ialah untuk menganalisis tinggi muka air diperoleh melalui perhitungan nilai amplitudo dan fase konstanta harmonik dari rangkaian waktu yang nyata.
 - 2) *t_vuf.m* ialah untuk melakukan perhitungan koreksi nodal.
 - 3) *t_predict.m* ialah untuk melakukan prediksi tinggi muka air dari konstanta harmonik yang dihasilkan dari *t_tide.m*.
 - 4) *t_getconsts.m* ialah untuk memasukkan semua jenis data konstanta harmonik (konstituen) berdasarkan file data dari paket program fortran.
- b. Paket rancangan untuk publikasi:
 - 1) *t_readme.m* ialah berkas memberikan penjelasan paket perangkat lunak *t_tide*
 - 2) *t_errors.m* ialah berkas memberikan pengertian tentang *interval* kepercayaan serta mengembangkannya.
- c. Paket rancangan untuk latihan:
 - 1) *t_synth.m* ialah berkas yang berfungsi menyintesis data *noise* untuk mengestimasi ketidakpercayaan terhadap data.
 - 2) *t_demo.m* ialah mengenai contoh demo *user t_tide* dengan menggunakan data ketinggian yang ada.
- d. Paket rancangan *for fun*, *t_equilib* ialah berkas menjelaskan bagaimana memperoleh amplitudo yang sama dari konstanta harmonik utama pada koordinat tersedia.

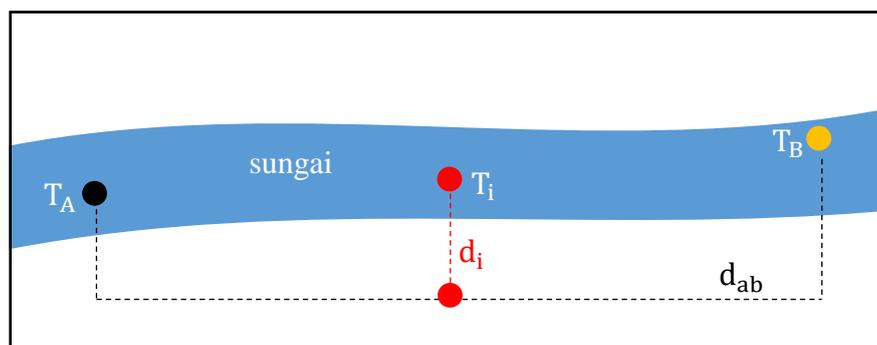
e. Paket rancangan lainnya:

- 1) *tide3.dat* ialah berkas berisikan data konstituen standar dari paket analisis IOS.
- 2) *t_equilib.dat* ialah berkas berisikan faktor amplitudo.
- 3) *t_constituents.mat* ialah berkas berisikan struktur konstituen data.
- 4) *t_example.mat* ialah berkas contoh penggunaan ketinggian stasiun tinggi muka air.

II.5 Interpolasi Linier Pada Sungai

Interpolasi linier ialah metode diperlukan untuk mendapatkan nilai dari sesuatu yang berada di dalam sebuah *interval* atau pada dua buah titik yang satu garis. Misalkan penentuan di antara titik pada dua titik dengan menggunakan garis lurus (Triatmodjo, 1999).

Dalam kajian penentuan tinggi muka air daerah sungai menggunakan cara interpolasi linier ada beberapa variabel yang harus diketahui yaitu tinggi muka air pengamatan di dua stasiun (T) dan jarak sepanjang sungai (d). Pada daerah sungai interpolasi linier dapat digunakan jika kemiringan sungai diasumsika relatif sama di sepanjang sungai dan aliran dianggap seragam atau tidak ada percepatan air (Taryono, 2015). Disajikan pada gambar II.2



Gambar II.2 Penentuan tinggi muka air cara interpolasi linier

Dari gambar di atas menggunakan persamaan rumus sebagai berikut:

$$T_i = (T_A - T_B) \times \left(\frac{d_i}{d_{ab}} \right) + T_A \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan,

T_i : ketinggian muka air hasil interpolasi

T_A : ketinggian muka air pada stasiun A

T_B : ketinggian muka air pada stasiun B

d_{ab} : jarak stasiun A ke B

d_i : jarak interpolasi