

TIPE PASANG SURUT DI PELABUHAN BENOA BALI DENGAN METODE *ADMIRALTY* BERDASARKAN DATA *AUTOMATIC WEATHER STATION* (AWS)

Diana Hikmah^{1*)}, Luh Eka Arisanti², Decky Irmawan³

^{1, 2, 3)} *Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah III Denpasar*

Email: pjasa.bbmk3@bmk.go.id

ABSTRACT

Benoa Port is the main port in Bali which is actively used for water transportation activities and domestic and international cruise, container loading and unloading, the fishing industry, and water sports activities. To support the development of activities in the area, continuous maritime observation data is needed. BMKG as a national meteorological agency installed an automatic weather station (AWS) around the Benoa Port area, so that maritime observation data can be collected and processed further. The maritime AWS at the Benoa Port is also equipped with sensors that can measure water level. This study uses water level data to determine the type of tides at the Benoa port by using the Admiralty method. The results of this study indicate that the tidal type at Benoa port is a mixed tide prevailing semidiurnal. It is hoped that the results of this study can be useful and become a reference for further research.

Keywords: *AWS, admiralty method, sea tides*

ABSTRAK

Pelabuhan Benoa merupakan pelabuhan utama di Bali yang aktif digunakan untuk kegiatan transportasi perairan dan pelayaran internasional, bongkar muat peti kemas, industri perikanan hingga kegiatan *water sport*. Guna mendukung perkembangan kegiatan-kegiatan di area tersebut maka diperlukan adanya data observasi kemaritiman yang berkelanjutan. BMKG sebagai badan meteorologi nasional memasang alat pemantau cuaca otomatis AWS (*Automatic Weather Station*) di sekitar area pelabuhan Benoa sehingga data observasi kemaritiman dapat dikumpulkan dan diolah lebih lanjut. AWS maritim pelabuhan Benoa ini juga dilengkapi dengan sensor yang dapat mengukur tinggi muka air laut. Penelitian ini menggunakan data tinggi muka air laut tersebut untuk menentukan tipe pasang surut di pelabuhan Benoa dengan menggunakan metode Admiralty. Hasil dari penelitian ini menunjukkan tipe pasang surut di pelabuhan Benoa adalah tipe pasang surut campuran condong ke harian ganda. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat bermanfaat dan menjadi sebuah rujukan bagi penelitian lanjutan mengenai pasang surut di kemudian hari.

Kata kunci: *AWS, metode admiralty, pasang surut*

PENDAHULUAN

Pelabuhan Benoa merupakan jalur utama pintu masuk dan keluar Bali melalui jalur laut. Berbagai aktivitas dilakukan di Pelabuhan Benoa yang berkaitan dengan kegiatan bongkar muat penumpang dan barang. Untuk mendukung kegiatan ini Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) berperan dalam menyediakan informasi dan melakukan observasi yang berkaitan dengan kondisi cuaca dan iklim guna menjamin keselamatan masyarakat yang menggunakan transportasi laut menuju dan meninggalkan Pelabuhan

Benoa. Untuk mewujudkan hal tersebut BMKG telah bekerjasama dengan Kantor Syahbandar dan Otoritas Pelabuhan Benoa yang diwujudkan dalam pertukaran informasi dan pemasangan alat observasi berupa *Automatic Weather Station* (AWS) Maritim di Pelabuhan Benoa, Bali.

Jika dikaitkan dengan peran BMKG dalam dunia internasional dalam bidang cuaca dan iklim, pemasangan alat observasi di laut sangat bermanfaat guna mendukung penelitian tentang tinggi muka laut. Penelitian tentang tinggi muka air laut (*sea level*) merupakan hal yang sangat

kompleks. Data mengenai tinggi muka air laut yang dimiliki oleh masing-masing institusi perlu disimpan dengan baik, dikalibrasi dan dievaluasi agar dapat dipergunakan dalam skala luas untuk semua keperluan. Data-data yang ada harus tersimpan dengan baik, karena data ini sangat bermanfaat untuk berbagai penelitian mulai dari penelitian tentang proyek-proyek dalam skala lokal sampai dengan penelitian tentang isu perubahan iklim di masa yang akan datang (*Manual on Sea Level Measurement and Interpretation*, 2006). Konsep dasar tentang *sea level* adalah bahwa *sea level* terdiri dari tiga unsur utama yaitu :

Observed level = mean sea level + tide + meteorological residuals. Masing-masing komponen memiliki proses fisis yang berbeda dan seringkali tidak saling berkaitan antara satu unsur dengan unsur lainnya (*Manual on Sea Level Measurement and Interpretation*, 1985) .

Pengertian Pasang Surut/Tide

Pasang surut merupakan salah satu fenomena yang terjadi di laut termasuk teluk, dimana pasang surut ini merupakan naik turunnya permukaan air laut disebabkan oleh gaya tarik dari benda langit yaitu gaya gravitasi matahari bumi, dan bulan Pasang surut mudah diidentifikasi karena periodenya yang teratur (*Manual on Sea Level Measurement and Interpretation*, 2006), (Nontji, 2007). Tipe pasang surut ditentukan oleh frekuensi air pasang dengan surut setiap harinya. Suatu kawasan dikatakan bertipe pasang surut harian tunggal (*diurnal tides*) jika perairan mengalami satu kali pasang dan satu kali surut dalam satu hari, jika terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam sehari, maka tipe pasang surutnya disebut tipe harian ganda (*semidiurnal tides*). Tipe pasang surut lainnya merupakan peralihan antara tipe tunggal dan ganda disebut dengan tipe campuran (*mixed tides*) dan tipe pasang surut ini digolongkan menjadi dua bagian yaitu tipe campuran dominasi ganda dan tipe campuran dominasi tunggal. Untuk menentukan tipe pasang surut dapat menggunakan metode *Admiralty* yang dapat menghasilkan nilai-nilai dari komponen pasang surut yang digunakan dalam menghitung formula *Formzhall* (F).

Metode Admiralty

Metode *Admiralty* adalah satu dari beberapa metode analisis pasang surut yang

banyak digunakan dalam perencanaan bangunan pantai maupun dalam hal lain, dikarenakan kelebihan yang dimiliki metode ini ialah dapat menganalisis data pendek pasang surut selama 15 hari dan 29 hari serta dapat memberikan konstanta-konstanta pasang surut untuk selanjutnya digunakan dalam penentuan tipe pasang surut serta elevasi muka air laut yang terjadi.

Keunggulan metode *Admiralty* yaitu dapat digunakan untuk menganalisis data-data pendek, tetapi dibutuhkan ketelitian lebih dalam pengolahannya, tidak dapat digunakan untuk data-data panjang (lebih dari 29 hari), hanya menghasilkan sembilan komponen pasang surut, tetapi tidak dapat menganalisis data yang memiliki kekosongan data.

Penelitian sebelumnya mengenai tipe pasang surut di Pelabuhan Benoa telah dilakukan oleh beberapa pihak, hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa tipe pasang surut di Pelabuhan Benoa termasuk tipe Pasang Surut Tipe Campuran Condong Harian Ganda (Widyantoro, 2014; dan Wijayanto dkk, 2017).

Formula *Formzhall* (F) adalah nilai yang dihasilkan dari hasil perhitungan dengan metode *Admiralty*.

$$F = \frac{O_1 + K_1}{M_2 + S_2} \dots \dots (1)$$

Berikut ini adalah rentang F yang digunakan dalam menentukan tipe pasang surut:

Tabel 1. Bilangan *Formzhall* (F)

Bilangan Form	Jenis Pasut
F ≤ 0,25	Pasang surut tipe ganda (<i>semidiurnal tides</i>)
0,25 < F ≤ 1,5	Pasang surut tipe campuran condong harian ganda/ <i>semidiurnal (mixed mainly semidiurnal tides)</i>
1,5 < F ≤ 3,0	Pasang surut tipe campuran condong harian tunggal/ <i>diurnal (mixed mainly diurnal tides)</i>

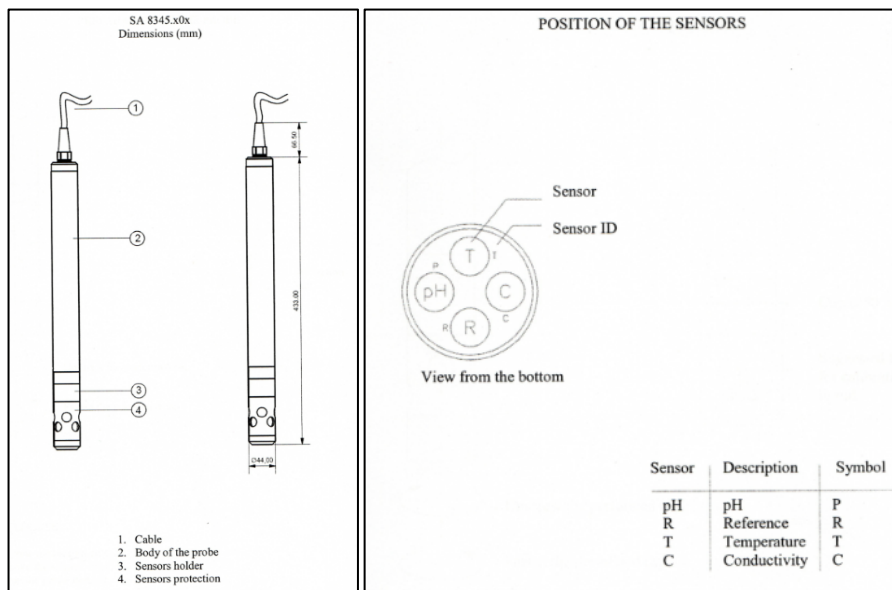
F > 3,0 Pasang surut tipe tunggal (diurnal tides)

Automatic Weather Station (AWS)

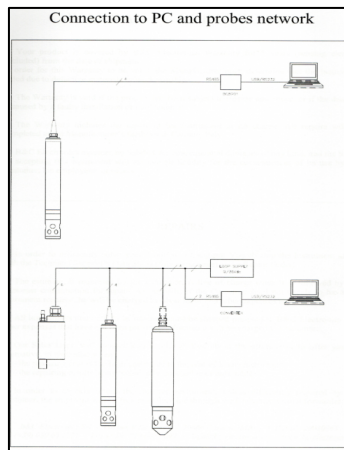
Automatic Weather Station (AWS) merupakan suatu peralatan atau sistem terpadu yang di didesain untuk mengumpulkan data parameter cuaca atau iklim secara *realtime* dan prosesnya akan tersimpan secara otomatis sehingga lebih mudah diolah. AWS ini umumnya dilengkapi dengan sensor, RTU (*Remote Terminal Unit*), komputer, LED *display*, tiang untuk dudukan sensor dan *data logger* serta penangkal petir [7]. Jumlah AWS milik BMKG yang dipasang di seluruh Indonesia berjumlah lebih dari 100 unit, sementara jumlah AWS yang terpasang di pulau Bali sebanyak 5 unit. Adapun AWS milik

BMKG yang berada di pulau Bali masing-masing berlokasi di area Bandara Ngurah Rai, Pelabuhan Benoa, Kuta, Stasiun Klimatologi Jembrana, dan Prancak (tidak aktif).

Khusus untuk AWS maritim yang terpasang di Pelabuhan Benoa memiliki sensor yang dapat mencatat parameter-parameter cuaca maritim seperti suhu, derajat keasaman (pH), konduktivitas dan juga data tinggi muka air laut. Sensor-sensor tersebut terdapat di dalam sebuah alat bernama *multiparameter water quality probe*. Adapun gambaran alat dan letak sensor dapat dilihat pada gambar 1, sementara alur penyimpanan data dari sensor ke PC dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 1. Gambaran Alat Multiparameter *Water Quality Probe* (Kiri) Dan Letak Sensor-Sensor Maritim (Kanan) (Sumber: *Instruction Manual Book SA 8345.106 Multiparameter Water Quality Probe*).



Gambar 2. Alur Koneksi Penyimpanan Data Dari Sensor *Probe* Ke PC
(Sumber: *Instruction Manual Book SA 8345.106 Multiparameter Water Quality Probe*).

DATA DAN METODE

Data Penelitian

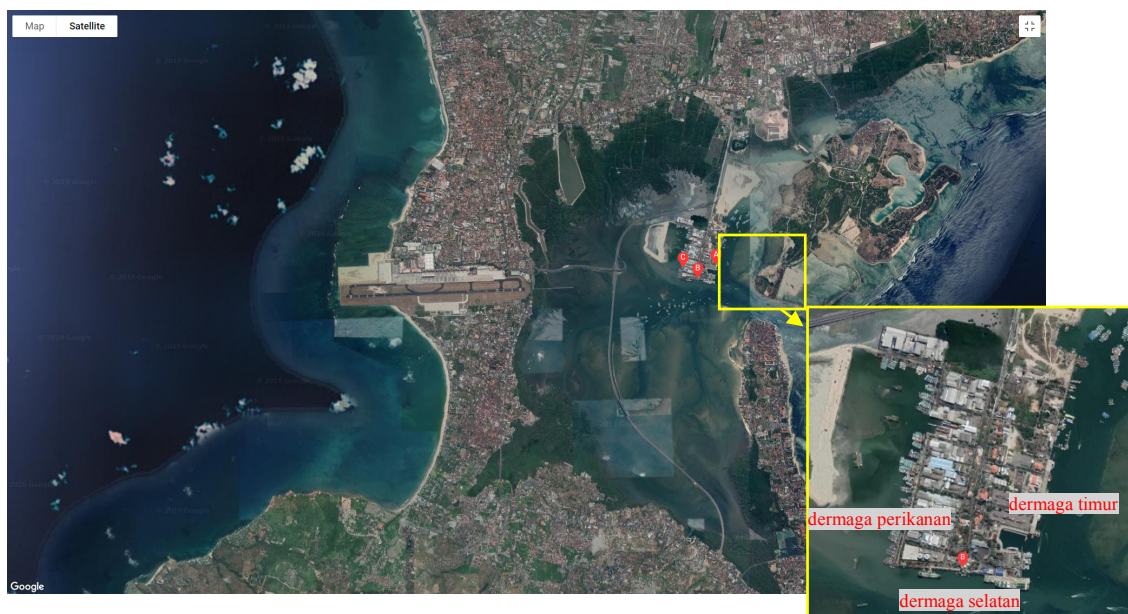
Data yang digunakan adalah data tinggi muka air laut (*water level*) pada AWS Maritim Benoa. Data yang tersedia adalah data tinggi muka air laut per 10 menit, namun untuk keperluan pengolahan dengan metode *Admiralty* pada penelitian ini hanya mengambil data per 1 jam. Semua data disajikan dalam waktu lokal di wilayah Bali yaitu Waktu Indonesia Bagian Tengah (WITA) selama 29 hari dari tanggal 01 Oktober 2018 jam 00.00 WITA sampai dengan tanggal 29 Oktober 2018 pukul 23.00 WITA.

Lokasi Penelitian

Automatic Weather Station (AWS) Maritim Benoa merupakan alat pemantau cuaca secara otomatis milik BMKG yang terletak di sisi timur dermaga Selatan pelabuhan Benoa. Tepatnya yaitu berada di koordinat 8.746 LS – 115.211 BT (gambar 3 dan gambar 4). Alat AWS Maritim Benoa ini memiliki sensor parameter cuaca yang disebut dengan *multiparameter water quality probe*. Sensor ini berguna untuk mencatat beberapa parameter cuaca maritim seperti suhu, konduktifitas, derajat keasaman (pH), dan juga tinggi muka air laut (gambar 2).



Gambar 3. AWS Maritim Benoa.



Gambar 4. Peta Lokasi Penelitian (Sumber: <https://www.pelindo.co.id/id/port-terminal/benoa>).

Metode Penelitian

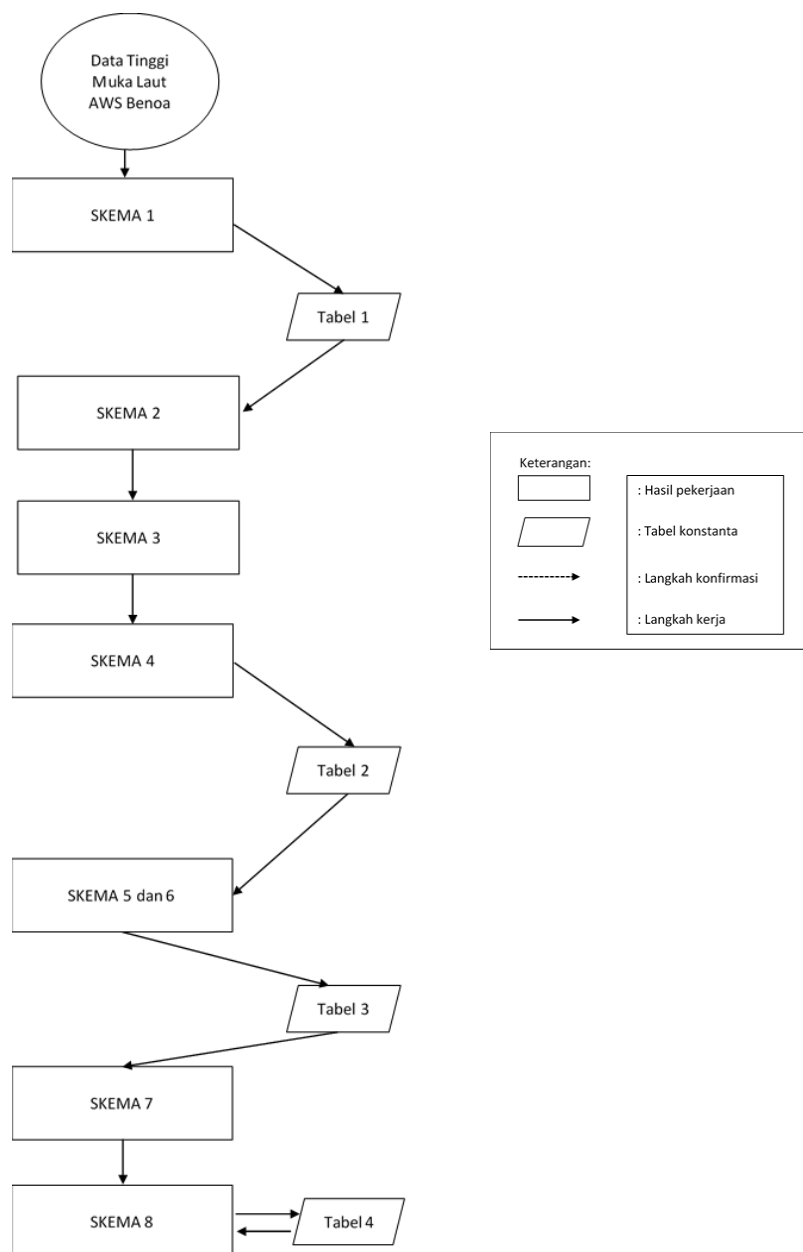
Uraian diagram alir pengerjaan metode *Admiralty* dijelaskan pada gambar 5. Metode ini menggunakan tiga tabel konstanta dan delapan buah skema. Dimana masing-masing skema merupakan bentuk hasil akhir dari olahan skema sebelumnya dan atau olahan dengan tabel konstanta tertentu. Seluruh proses perhitungan menggunakan program *Microsoft Excel*.

Berikut deskripsi skema dan tabel yang digunakan pada Gambar 5 (detail dapat dilihat pada pembahasan):

- Skema 1 : Matriks data tinggi pasang surut yang terdiri dari jam pengamatan dan tanggal pengamatan dalam hal ini skema 1 menggunakan data AWS Maritim Benoa tanggal 1 - 29 Oktober 2018.
- Tabel 1 : Tabel konstanta pengali untuk menyusun skema 2.
- Skema 2 : Matriks penyesuaian skema 1 dengan kolom sebagai X1, Y1, X2, Y2, X4, dan Y4 dan baris sebagai tanggal pengamatan.
- Skema 3 : Matriks penyesuaian skema 2 dengan kolom sebagai X0,

X1, Y1, X2, Y2, X4, dan Y4 dan baris sebagai jam pengamatan.

- Tabel 2 : Tabel pengali untuk skema 4.
- Skema 4 : Matriks penyesuaian skema 3 dengan kolom sebagai kombinasi X dan Y dengan 0, 2, b, 3, c, 4, dan d dan baris sebagai tanggal pengamatan.
- Tabel 3 : Tabel faktor analisa untuk pengamatan 29 hari (29 piantan). Tabel ini digunakan untuk menyusun skema 5 dan 6.
- Skema 5 dan 6 : Matriks penyesuaian skema 4 dengan kolom sebagai S0, M2, S2, N2, K1, O1, M4, dan MS4 dengan tabel faktor analisa untuk pengamatan 29 hari (tabel 3).
- Tabel 4 : Tabel parameter w/f dan W/f.
- Skema 7 : Mencari nilai tiap-tiap komponen pasang surut utama.
- Skema 8 : Penyusunan hasil komponen pasang surut utama menggunakan bantuan tabel 4.



Gambar 5. Diagram Alir Pengolahan Data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode *Admiralty* dikembangkan oleh *A.T. Doodson* pada tahun 1921. Metode ini tepat digunakan untuk perhitungan pasut dengan rentang data yang pendek seperti 15 piantan dan 29 piantan. Dalam penelitian ini dilakukan pengolahan data dengan 29 piantan. Data AWS Maritim Benoa sangat komprehensif sebagai salah satu data pengamatan *insitu* untuk mendukung pengamatan cuaca laut yang dilakukan oleh BMKG. Penentuan tipe pasang surut dengan Metode *Admiralty* harus dilakukan dengan beberapa langkah yaitu sebagai berikut:

Skema 1. Data AWS Maritim Benoa disusun dalam Skema 1, dimana bagian kolom merupakan data pengamatan per jam dari jam 00.00 WITA sampai dengan 23.00 WITA. Dan bagian baris merupakan tanggal pengamatan dari tanggal 01 sampai dengan 29 Oktober 2018. Semua data pasang surut dan hasil perhitungan disajikan dalam satuan centimeter (cm). Dari Skema 1, terlihat bahwa nilai minimum data pengamatan pasang surut yaitu sebesar 180 cm dan nilai maksimum sebesar 370 cm.

Skema 2. Merupakan tabel yang terdiri dari masing-masing parameter yaitu X1, Y1, X2, Y2, X4 dan Y4. Pada masing-masing tabel parameter, bagian kolom merupakan deretan

angka yang diperoleh dari Tabel Pengali atau disebut Tabel 1 pada metode Admiralty, dan bagian baris merupakan tanggal pengamatan. Pada skema 2 terdapat 6 buah tabel untuk masing-masing parameter yaitu yaitu X1, Y1,

X2, Y2, X4 dan Y4, satu Tabel Pengali dan satu tabel hasil Skema 2. Tabel hasil Skema 2 berisikan penjumlahan nilai positif dan nilai negatif pada cell yang bersesuaian.

Tabel 1. Konstanta Pengali untuk Menyusun Skema 2.

Komponen	waktu (WITA)																							
	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00
x1	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
y1	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
x2	1.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	1.00
y2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
x4	1.00	0.00	-1.00	-1.00	0.00	1.00	1.00	0.00	-1.00	-1.00	0.00	1.00	1.00	0.00	-1.00	-1.00	0.00	1.00	1.00	0.00	-1.00	-1.00	0.00	1.00
y4	1.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-1.00

Skema 3. Skema 3 terdiri dari bagian kolom masing-masing berisi X0, X1, Y1, X2, Y2, X4, dan Y4. Sedangkan bagian baris merupakan jam pengamatan. Skema 3 diisi menggunakan 3 langkah berikut ini:

- Kolom X0 merupakan penjumlahan dari masing-masing data per baris (per tanggal) pada Skema 1;
- Kolom X1, Y1, X2, dan Y2 merupakan penjumlahan pada baris Skema 2, dimana hasil penjumlahan harus disesuaikan dengan parameter yang sama, yaitu hasil penjumlahan X1 pada tanggal yang sama di Skema 3 harus sesuai dengan penjumlahan X1 pada tanggal yang sama juga pada Skema 2. Agar didapatkan nilai positif hasil penjumlahan ini selanjutnya ditambahkan dengan 2000;
- Kolom X4 dan Y4 memiliki langkah yang sama dengan langkah ke dua di atas hanya saja agar nilainya positif, hasil penjumlahan ini ditambah 500.

Skema 4. Untuk menghasilkan Skema 4 dibantu dengan menggunakan Tabel Pengali Konstanta untuk Skema 4 (atau disebut Tabel 2 pada metode Admiralty). Pada Tabel 2 metode admiralty, bagian kolom merupakan 7 indeks bantu yaitu 0, 2, B, 3, C, 4 dan D. Sementara baris adalah urutan tanggal. Tahapan selanjutnya adalah menghubungkan skema 3 dengan Tabel 2 metode admiralty maka diperoleh kombinasi 29 kolom hasil perkalian tersebut, mulai dari X00 sampai dengan Y4D. Langkah selanjutnya adalah menjumlahkan total nilai positif dan negatif pada setiap hasil perkalian antar parameter tersebut. Setelah didapatkan jumlah total nilai positif dan negatif antar parameter tersebut, kemudian dicari nilai total antar parameter tersebut dengan cara menjumlahkan total nilai positif dan total nilai negatif tersebut.

Tabel 2. Tabel Pengali untuk Skema 4.

0	2	b	3	c	4	d
-29.00	-1.00	0.00	-1.00	0.00	-1.00	0.00
1.00	1.00	0.00	-1.00	1.00	1.00	0.00
1.00	1.00	-1.00	-1.00	1.00	1.00	-1.00
1.00	1.00	-1.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00
1.00	1.00	-1.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00
1.00	-1.00	-1.00	1.00	1.00	-1.00	1.00
1.00	-1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	1.00
1.00	-1.00	0.00	-1.00	-1.00	1.00	0.00
1.00	-1.00	1.00	-1.00	-1.00	1.00	-1.00
1.00	-1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
1.00	-1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	-1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00
1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00
1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.00
1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00
1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	1.00	0.00
1.00	-1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-1.00
1.00	-1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-1.00
1.00	-1.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	0.00	-1.00	-1.00	1.00	0.00

Skema 5 dan Skema 6. Komponen yang ada dalam skema 5 yaitu komponen nilai X00, X10, X12-Y1B, X13-Y1C, X20, X22-Y2B, X23-Y2C, X42-Y4B, X44-Y4D. Komponen yang terdapat dalam skema 6 yaitu Y10, Y12+X1B, Y13+X1C, Y20, Y22+X2B, Y23+X2C, Y42+X4B, Y44+X4D. Nilai masing-masing

komponen tersebut didapatkan dengan merujuk pada hasil skema 4.

Skema 5 dan 6 bertujuan mencari nilai $S_0, M_2, S_2, N_2, K_1, O_1, M_4$ dan MS_4 pada masing-masing komponen dengan cara mengalikan nilai tiap komponen dengan faktor analisa untuk pengamatan 29 hari (tabel 3 pada metode admiralty).

Tabel 3. Faktor Analisa untuk Pengamatan 29 Hari (29 Piantan).

komponen	s0	m2	s2	n2	k1	o1	m4	ms4
X00	1.000							
X10					1.000	-0.080		
X12-Y1B		0.070			-0.020	1.000		0.020
X13-Y1C								
X20		-0.030	1.000	-0.030				
X22-Y2B		1.000	0.015	0.038	0.002	-0.058		-0.035
X23-Y2C		-0.060		1.000				
X42-Y4B		0.030						1.000
X44-Y4D							1.000	0.080

komponen	s0	m2	s2	n2	k1	o1	m4	ms4
Y10					1.000	-0.080		
Y12-X1B		0.070			-0.020	1.000		0.030
Y13-X1C								
Y20		-0.030	1.000	-0.030				
Y22-X2B		1.000	0.015	0.038	0.002	-0.058		-0.035
Y23-X2C		-0.060		1.000				
Y42-X4B		0.030					0.010	1.000
Y44-X4D							1.000	0.080
utk SKEMA VII Deler P	696.0	559.0	448.0	566.0	439.0	565.0	507.0	535.0
utk SKEMA VII Konstanta p		333.0	345.0	327.0	173.0	160.0	307.0	318.0

Skema 7. Adapun langkah – langkah perhitungan pada skema 7 yaitu sebagai berikut:

- Baris 1 untuk V : $PR \cos r$, merupakan penjumlahan bilangan pada masing-masing kolom Skema 5.
- Baris 2 untuk VI : $PR \sin r$, merupakan penjumlahan bilangan pada masing-masing kolom Skema 6.
- Baris 3 PR dihitung dengan rumus:

$$PR = \sqrt{(PR \sin r)^2 + (PR \cos r)^2} \dots\dots (2)$$
- Baris 4 untuk mencari nilai P untuk masing-masing $S_0, M_2, S_2, N_2, K_1, O_1, M_4$ dan MS_4 diisi menggunakan ketetapan deler P pada tabel faktor analisa untuk pengamatan 29 piantan (tabel 3).
- Baris 5 untuk nilai f diperoleh dengan menggunakan perhitungan nilai s, h, p dan N terlebih dahulu sampai dengan mendapatkan nilai f untuk masing-masing komponen konstanta $S_0, M_2, S_2, N_2, K_1, O_1, M_4$ dan MS_4 .
- Baris 6 untuk nilai $1+W$ merupakan hasil dari kolom pada skema 8 (harus menyelesaikan skema 8 terlebih dahulu).

- Baris 7 diperoleh dengan menggunakan perhitungan nilai s, h, p dan N terlebih dahulu sampai dengan mendapatkan nilai V.
- Baris 8 diperoleh dengan menggunakan perhitungan nilai s, h, p dan N terlebih dahulu sampai dengan mendapatkan nilai u.
- Baris 9 untuk w diperoleh dari hasil perhitungan pada skema 8.
- Baris 10 untuk p untuk masing-masing $S_0, M_2, S_2, N_2, K_1, O_1, M_4$ dan MS_4 diisi menggunakan ketetapan konstanta p pada tabel faktor analisa untuk pengamatan 29 piantan (tabel 3).
- Baris 11 untuk r ditentukan dari rumus:

$$r = \arctan \frac{PR \sin r}{PR \cos r}$$
 sedangkan harganya dilihat berdasarkan tanda pada masing-masing kuadran.
- Baris 12 untuk g adalah ditentukan dari rumus:

$$g = V + u + w + p + r \dots\dots (3)$$
- Baris 13 untuk $n \cdot 360$ merupakan kelipatan 360 yang terdekat yang lebih kecil dari g, sebagai contoh jika harga g adalah 400

maka $n \cdot 360$ adalah 360, jika harga g adalah 750 maka $n \cdot 360$ adalah 720.

- Baris 14 adalah nilai A yang diperoleh dengan rumus:

$$A = \frac{PR}{pf(1+w)} \dots\dots (4)$$

Nilai A inilah yang nantinya akan digunakan untuk menghitung bilangan Formzhall (F), sehingga mendapatkan tipe pasang surut di Pelabuhan Benoa.

- Baris 15 merupakan nilai g^o ditentukan dari:

$$g^o = g - (nx360) \dots\dots (5)$$

Tabel 5. Penentuan Nilai r Berdasarkan Kuadran.

PR cos r	PR sin r	r
+	+	$0 < r < 90$
-	+	$90 < r < 180$
-	-	$180 < r < 270$
+	-	$270 < r < 360$

Skema 8, Skema ini diperlukan untuk mendapatkan nilai w pada baris 9 di skema 7. Dan nilai-nilai yang dihitung pada skema 8 digunakan pula untuk menghitung nilai komponen elevasi muka air rencana. Adapun perhitungan komponen elevasi muka air rencana didapat sebagai berikut:

- $Z_0 = M_2 + S_2 + N_2 + K_2 + K_1 + O_1 + P_1 + M_4 + MS_4$
- $MSL = S_0$
- $HHWL = S_0 + Z_0$

Tabel 6. Komponen Harmonik

Wilayah	Benoa (cm)
S_0	239.44
M_2	45.56
S_2	24.96
N_2	7.18
K_1	11.80
O_1	20.86
M_4	6.43
MS_4	8.22

Dimana :

- Z_0 : Muka Surutan
- MSL : *Mean Sea Level* (tinggi permukaan air rata-rata)
- $HHWL$: *Highest High Water Level* (air tertinggi saat pasang purnama)
- $LLWL$: *Lowest Low Water Level* (air terendah saat surut purnama)

Seluruh hasil perhitungan di atas akan menghasilkan nilai komponen harmonik untuk wilayah Pelabuhan Benoa berdasarkan data AWS Maritim Benoa. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 6. Selanjutnya adalah menghitung nilai F (bilangan Formzhall) dengan menggunakan persamaan 1. Nilai F diperoleh sebesar 0.46, yaitu artinya pasang surut di Pelabuhan Benoa masuk dalam kategori pasang surut tipe campuran condong harian ganda/semidiurnal (*mixed mainly semidiurnal tides*). Untuk perhitungan komponen elevasi muka air rencana dengan menggunakan data AWS Pelabuhan Benoa diperoleh nilai Z_0 yaitu 144 cm, MSL 239 cm, $HHWL$ 383 cm dan $LLWL$ 103 cm.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan metode Admiralty dengan menggunakan data tinggi muka laut AWS Benoa maka dapat disimpulkan bahwa wilayah pelabuhan Benoa memiliki tipe pasang surut campuran condong harian ganda (*mixed mainly semidiurnal tides*).

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada Bapak Mahmud Yusuf dan Pak Pande Gede Wipradnyana atas dukungan referensi mengenai alat yang kami gunakan, dan seluruh rekan-rekan forecaster BBMKG Wilayah III yang telah membantu terlaksananya kegiatan penelitian ini hingga selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- Diani, F., Permana, H., Ibrahim, N., Sarah, P. (2012). Kajian Sistem Informasi Prakiraan Cuaca BMKG pada BMKG Bandung, Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2012, ISSN :1907-

5022. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Intergovernmental Oceanographic Commission Manual and Guides 14. (2006) Manual on Sea Level Measurement and Interpretation
- Laporan Tahunan Hasil Penelitian Puslitbang 2014. Jakarta: BMKG.
- Nontji, Anugerah (2007). Laut Nusantara. Penerbit Djambatan-Jakarta.
- Ratna Satyaningsih, M. Si, dkk. Perbandingan Data Pengamatan Parameter Meteorologi Antara Metode Manual dan Otomatis Melalui Otomasi Instrumen Cuaca Dan Iklim Menggunakan Agroclimate Automatic Weather Station
- Supriyadi, Eko dkk . Analisis Pasang Surut di Perairan Pameungpeuk, Belitung, dan Sarmi Berdasarkan Metode Admiralty. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika* vol. 19 no. 1 tahun 2018 : 29 – 38
- Widyantoro, Bayu Triyogo. 2014. Karakteristik Pasang Surut Laut di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Geomatika* Volume 20 No. 1 Agustus 2014: 65-72.
- Wijayanto, Agustinus Wahyu ; dkk Pemetaan Batimetri Untuk Perencanaan Pengerukan Kolam Pelabuhan Benoa, Bali. *JURNAL OSEANOGRAFI UNDIP. Volume 6, Nomor 1, Tahun 2017, Halaman 313 – 321*<https://bc-electronics.it/> diakses pada tanggal 22 Oktober 2019