

KAJIAN HIDRO-OSEANOGRAFI PASANG SURUT DAN ARUS PASANG SURUT DALAM PENGEMBANGAN INFRASTRUKTUR PELABUHAN DI TELUK LAMPUNG

Dwi Joko Winarno
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung
e-mail: djokwin1969@hotmail.com

Abstract

Tide and tidal-induced currents are important of hidro-oceanographic aspect of port planning and port design. Type of Lampung Bay tidal is mixed tide prevailing to semidiurnal, and the maximum tidal range is in order of magnitude of 1.5 meter. Meanwhile, the tidal-induced current of 1.5 meter tidal range is in order of magnitude of 0.11 cm/sec. This tidal-induced current is relatively small compare to the actual current. From the 6 days current measurement shown that maximum of 10.83 cm/sec could be found. The actual current predominantly coming from South East direction, namely 50,88% on ADCP1 and 63,11% on ADCP-2. Although the tidal-induced current is relative small, but it should be taken into consideration on port planning, because of its occurrence continuously.

Keyword: *tide, tidal-induced current, port planning*

1. PENDAHULUAN

Pasang Surut adalah fluktuasi muka air laut sebagai fungsi waktu karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama Matahari dan Bulan terhadap massa air laut di Bumi (Triatmodjo, 2009). Meskipun massa Bulan jauh lebih kecil dari massa Matahari, tetapi karena jaraknya terhadap Bumi jauh lebih dekat maka pengaruh gaya tarik Bulan terhadap Bumi lebih besar daripada pengaruh gaya tarik Matahari.

Pengetahuan tentang pasang surut adalah penting di dalam perencanaan pelabuhan. Elevasi muka air tertinggi (pasang) dan terendah (surut) sangat penting untuk merencanakan bangunan-bangunan pelabuhan. Sebagai contoh, elevasi puncak bangunan pemecah gelombang (*breakwater*), dermaga, ditentukan oleh elevasi muka air pasang, sementara kedalaman alur pelayaran/pelabuhan ditentukan oleh muka air surut.

1.1 Pembangkitan Pasang surut

Gaya-gaya pembangkit pasang surut ditimbulkan oleh gaya tarik menarik antara Bumi, Bulan dan Matahari. Penjelasan terjadinya pasang surut dilakukan hanya dengan memandang suatu sistem Bumi-Bulan; sedang untuk sistem Bumi-Matahari penjelasannya adalah identik. Dianggap bahwa permukaan Bumi, yang apabila tanpa pengaruh gaya tarik Bulan, tertutup secara merata oleh air laut.

Rotasi Bumi menyebabkan elevasi muka air laut di khatulistiwa lebih tinggi daripada di garis lintang yang lebih tinggi. Tetapi karena pengaruhnya yang seragam di sepanjang garis lintang yang sama, sehingga tidak bisa diamati sebagai suatu variasi pasang surut. Oleh karena itu rotasi Bumi tidak menimbulkan pasang surut. Di dalam penjelasan pasang surut, dianggap bahwa Bumi tidak berotasi.

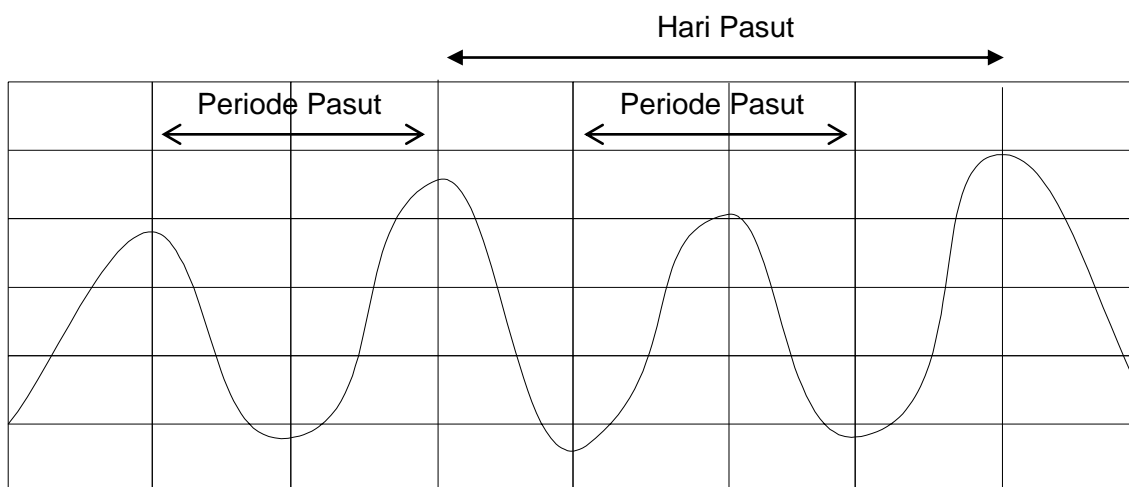
Gaya tarik menarik antara Bumi dan Bulan tersebut menyebabkan sistem Bumi-Bulan menjadi satu sistem kesatuan yang beredar bersama-sama sekeliling sumbu perputaran bersama (*common axis of revolution*). Sumbu perputaran bersama ini adalah pusat berat dari

sistem Bumi-Bulan, yang berada di Bumi dengan jarak 1718 km di bawah permukaan bumi. Selama peredaran tersebut, setiap titik di bumi beredar sekeliling pusatnya dalam orbit berbentuk lingkaran dengan jari-jari sama dengan jari-jari dari revolusi pusat massa Bumi sekeliling sumbu perputaran bersama. Jari-jari tersebut adalah sama dengan jarak antara pusat massa Bumi dan sumbu perputaran bersama.

Dengan adanya perputaran tersebut maka pada setiap titik di bumi bekerja gaya sentrifugal (F_c) yang sama besar dan arahnya. Arah gaya tersebut adalah berlawanan dengan posisi Bulan. Selain itu karena pengaruh gravitasi Bulan, setiap titik di bumi mengalami gaya tarik (F_g) dengan arah menuju pusat massa Bulan, sedang besar gaya tergantung pada jarak antara titik yang ditinjau dan pusat massa Bulan. gaya pembangkit pasang surut adalah resultan dari kedua gaya tersebut. Pada sumbu Bumi gaya gravitasi dan gaya sentrifugal adalah seimbang. Suatu elemen air yang berada pada sisi Bumi yang terjauh dari Bulan, gaya sentrifugal lebih besar dari gaya gravitasi ($F_c > F_g$), sehingga resultannya keluar dan akibatnya permukaan air tertarik keluar. Sedangkan pada belahan Bumi yang terdekat dengan bulan $F_g > F_c$, sehingga resultannya juga keluar (ke arah Bulan) dan permukaan air tertarik ke arah Bulan.

Penjelasan tentang pembangkitan pasang surut yang diberikan di depan adalah dengan anggapan bahwa Bumi dikelilingi oleh laut secara merata. Pada kenyataannya di permukaan Bumi terdapat pulau-pulau dan benua-benua. Selain itu dasar laut juga tidak rata, karena adanya palung yang dalam, perairan dangkal, selat, teluk, gunung bawah laut, dan sebagainya. Keadaan ini menyebabkan terjadinya penyimpangan-penyimpangan dari kondisi yang ideal, dan dapat menimbulkan ciri-ciri pasang surut yang berbeda dari satu lokasi ke lokasi lainnya.

Gambar 1. menunjukkan tipikal hasil pencatatan muka air laut sebagai fungsi waktu (kurva pasang surut). Tinggi pasang surut adalah jarak vertikal antara air tertinggi (puncak air pasang) dan air terendah (lembah air surut) yang berturutan. Periode pasang surut adalah waktu yang diperlukan dari posisi muka air pada muka air rerata ke posisi yang sama berikutnya. Periode pasang surut bisa 12 jam 25 menit ataupun 24 jam 50 menit, yang tergantung pada tipe pasang surut. Variasi muka air menimbulkan arus yang disebut dengan arus pasang surut, yang mengangkut massa air dalam jumlah sangat besar. Arus pasang terjadi pada waktu periode pasang dan arus surut terjadi pada periode air surut. Titik balik (*slack*) adalah saat dimana arus berbalik antara arus pasang dan arus surut. Titik balik ini bisa terjadi pada saat muka air tertinggi dan muka air terendah. Pada saat tersebut kecepatan arus adalah nol.



Gambar 1. Kurva Pasang Surut

1.2 Beberapa Tipe Pasang Surut

Bentuk pasang surut di beberapa daerah tidak sama. Di suatu daerah dalam sehari dapat terjadi satu kali ataupun dua kali pasang surut. Secara umum pasang surut di berbagai daerah dapat dibedakan dalam empat tipe, yaitu pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*), harian ganda (*semidiurnal tide*), dan dua jenis campuran. (1) Pasang Surut harian tunggal (*diurnal tide*): dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut. Periode pasang surut adalah 24 jam 50 menit. Pasang surut tipe ini terjadi di perairan selat Karimata; (2) Pasang surut harian ganda (*semi diurnal tide*): dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dengan tinggi yang hampir sama dan pasang surut terjadi secara berurutan secara teratur. Periode pasang surut rata-rata adalah 2 jam 24 menit. Pasang surut jenis ini terdapat di selat Malaka sampai laut Andaman; (3) Pasang surut campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*): dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut tetapi tinggi dan periodenya berbeda. Pasang surut jenis ini banyak terdapat di perairan Indonesia Timur. (4) Pasang surut campuran condong ke harian tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*): pada tipe ini dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda. Pasang surut jenis ini terdapat di Selat Kalimantan dan pantai Utara Jawa Barat.

Fenomena yang lain adalah proses terjadinya pasang surut purnama dan perbani. Seperti diketahui bahwa dengan adanya gaya tarik menarik Bulan dan Matahari maka lapisan air yang semula berbentuk bola berubah menjadi elips. Karena peredaran Bumi dan Bulan pada orbitnya, maka posisi Bumi, Bulan, Matahari selalu berubah setiap saat. Revolusi Bulan terhadap Bumi ditempuh dalam waktu 29,5 hari (jumlah hari dalam satu bulan menurut kalender tahun kamariah, yaitu tahun yang didasarkan pada peredaran bulan). Pada setiap sekitar tanggal 1 dan 15 (Bulan muda dan Bulan purnama) posisi Bumi-Bulan-Matahari kira-kira berada pada satu garis lurus, sehingga gaya tarik Bulan dan Matahari terhadap Bumi saling memperkuat. Dalam keadaan ini terjadi pasang surut purnama (pasang besar, *spring tide*), di mana tinggi pasang surut sangat besar dibanding pada hari-hari yang lain. Sedang pada sekitar tanggal 7 dan 21 (seperempat dan tiga perempat revolusi Bulan terhadap Bumi) di mana Bulan dan Matahari membentuk sudut siku-siku terhadap Bumi maka gaya tarik Bulan terhadap Bumi saling mengurangi. Dalam keadaan ini terjadi pasang surut perbani (pasang kecil, *neap tide*) dimana tinggi pasang surut kecil dibanding hari-hari yang lain (CERC, 2002).

2. BEBERAPA DEFINISI ELEVASI MUKA AIR

Mengingat elevasi muka air laut selalu berubah setiap saat, maka diperlukan suatu elevasi yang ditetapkan berdasarkan data pasang surut, yang dapat digunakan sebagai pedoman di dalam perencanaan suatu pelabuhan. Beberapa elevasi tersebut adalah sebagai berikut (Triatmodjo, 1999) :

1. Muka air tinggi (*high water level*); muka air tertinggi yang dicapai pada saat air pasang dalam satu siklus pasang surut.
2. Muka air rendah (*low water level*); kedudukan air terendah yang dicapai pada saat air surut dalam satu siklus pasang surut.
3. Muka air tinggi rerata (*mean high water level, MHWL*); adalah rerata dari muka air tinggi selama periode 19 tahun.

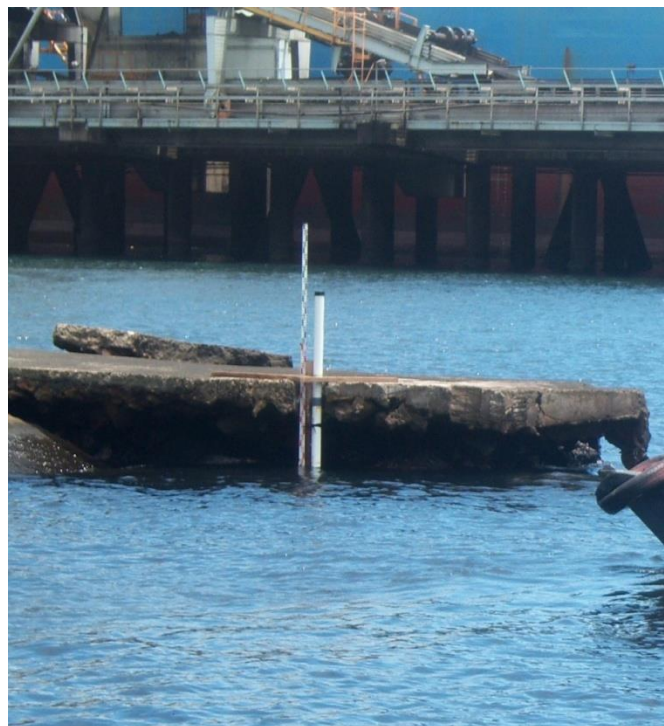
4. Muka air rendah rerata (*mean low water level, MLWL*); adalah rerata dari muka air rendah selama periode 19 tahun.
5. Muka air laut rerata (*means sea Level, MSL*); adalah muka air rerata antara muka air tinggi rerata dan muka air rendah rerata. Elevasi ini digunakan sebagai referensi untuk elevasi di daratan.
6. Muka air tinggi tertinggi (*highest high water level, HHWL*); adalah air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.
7. Air rendah terendah (*lowest low water level, LLWL*); adalah air terendah pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.
8. *Higher High Water Level*; adalah air tertinggi dari dua air tinggi dalam satu hari, seperti dalam pasang surut tipe campuran.
9. *Lower low water level*; adalah air terendah dari dua air rendah dalam satu hari.

Beberapa definisi muka air tersebut banyak digunakan dalam perencanaan bangunan-bangunan pelabuhan, misalnya MHWL ataupun HHWL digunakan untuk menentukan elevasi puncak pemecah gelombang, dermaga, panjang rantai pelampung penambat, dan sebagainya. Sedang MLWL ataupun LLWL diperlukan untuk menentukan kedalaman alur pelayaran dan kolam pelabuhan.

3. HASIL SURVEY DAN PEMBAHASAN

3.1 Pasang Surut di Perairan Panjang

Pemasangan papan duga dan AWLR (*Automatic Water Level Recorder*) dilakukan pada kolam pelabuhan PT Bukit Asam Unit Pelabuhan Tarahan pada koordinat UTM (N 9390467; E 537944), seperti tampak pada Gambar 2.



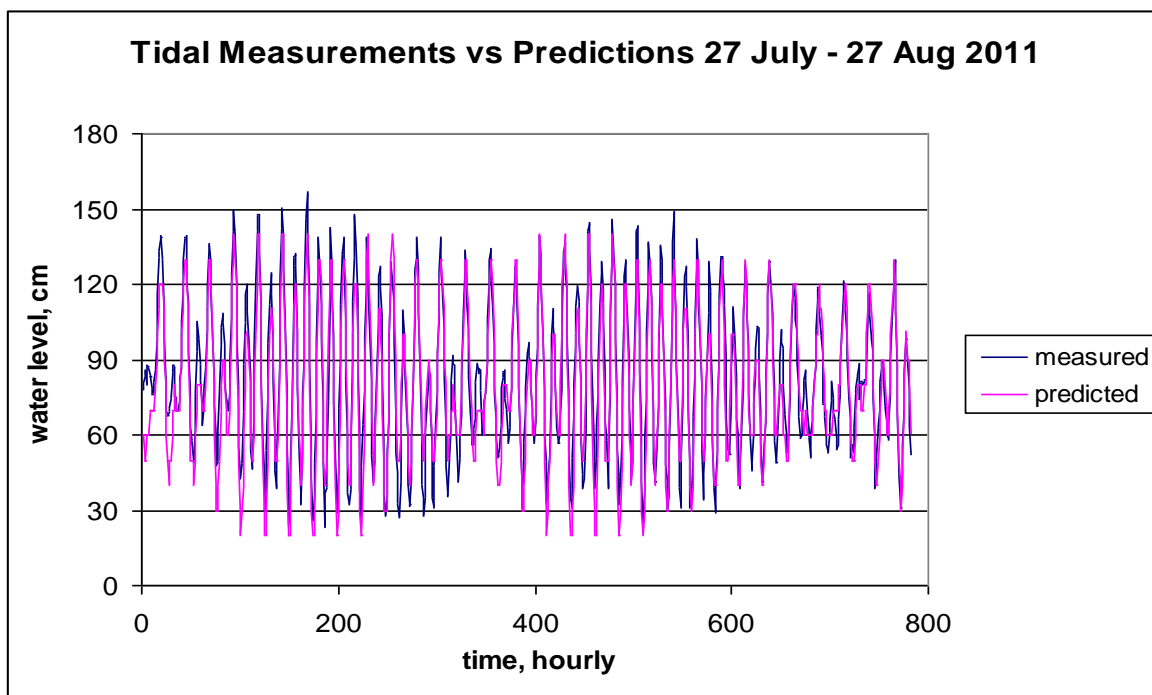
Gambar 2. Papan duga dan AWLR untuk mengukur fluktuasi muka air laut.

Sedangkan pemasangan ADCP-1 di PT Bukit Asam dengan koordinat UTM pada (N 9390034; E 538068) dan pemasangan ADCP-2 di PT Bukit Asam dengan koordinat UTM pada (N 9390225; E 537989).

Data pasang surut pada Perairan Panjang terdiri dari dua tipe, yaitu: (1) Data sekunder yang berisi prediksi data oleh Jawatan Hidro-oseanografi, Republik Indonesia. Data ini terdiri dari 22 tahun data (Tahun 1989 sampai dengan 2011, kecuali Tahun 1995). Mengacu pada konstanta yang ada pada buku Daftar Pasang Surut, maka pasang surut tahun 1995 juga bisa juga diprediksi; (2) Data Primer yang dihasilkan dari pengukuran pasang surut pada Perairan Panjang yang terdiri dari 5 kali pengukuran, yaitu:

- a. Pengukuran pasang surut dari 10 – 05 – 2001 hingga 11 – 06 – 2001.
- b. Pengukuran pasang surut dari 01 – 05 – 2007 hingga 29 – 05 – 2007.
- c. Pengukuran pasang surut dari 12 – 12 – 2007 hingga 28 – 12 – 2007.
- d. Pengukuran pasang surut dari 27 – 07 – 2011 hingga 28 – 08 – 2011.
- e. Pengukuran pasang surut dari 22 – 09 – 2011 hingga 23 – 10 – 2011.

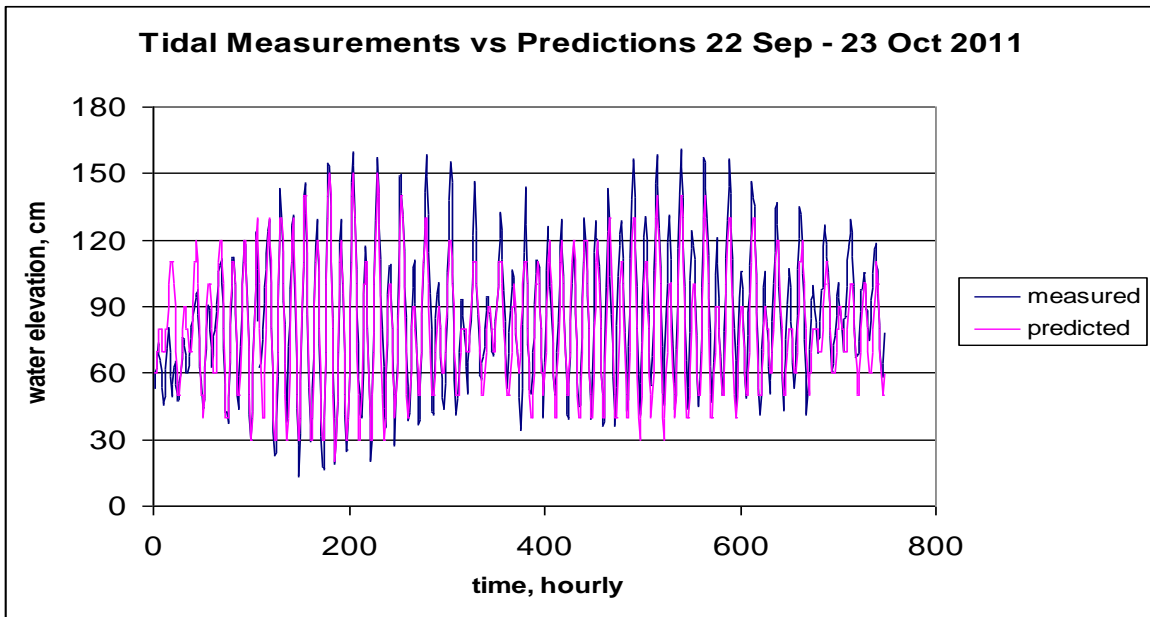
Beberapa perbandingan antara elevasi muka air prediksi dengan elevasi muka air hasil pengukuran disajikan pada Gambar berikut ini.



Gambar 3. Pengukuran pasang surut versus prediksi 27 Juli – 27 Agustus 2011

Keterangan:

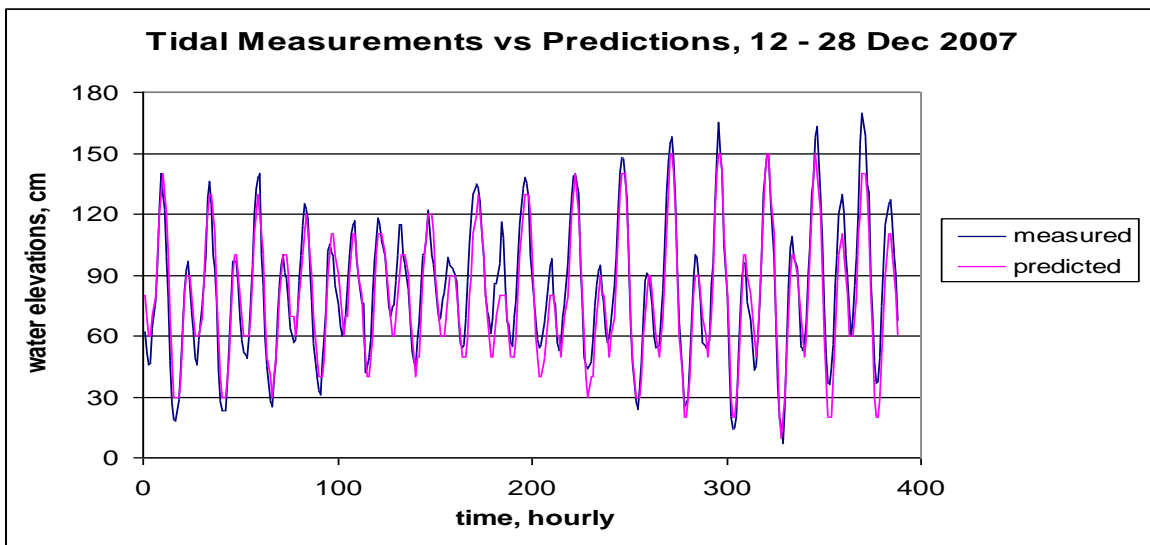
HHWL = 159.00; MSL = 83.10; LLWL = 21.00; Kisaran Pasut = $(159 - 21)\text{cm} = 138\text{cm}$



Gambar 4. Pengukuran pasang surut versus prediksi 22 Sept – 23 Okt 2011

Keterangan:

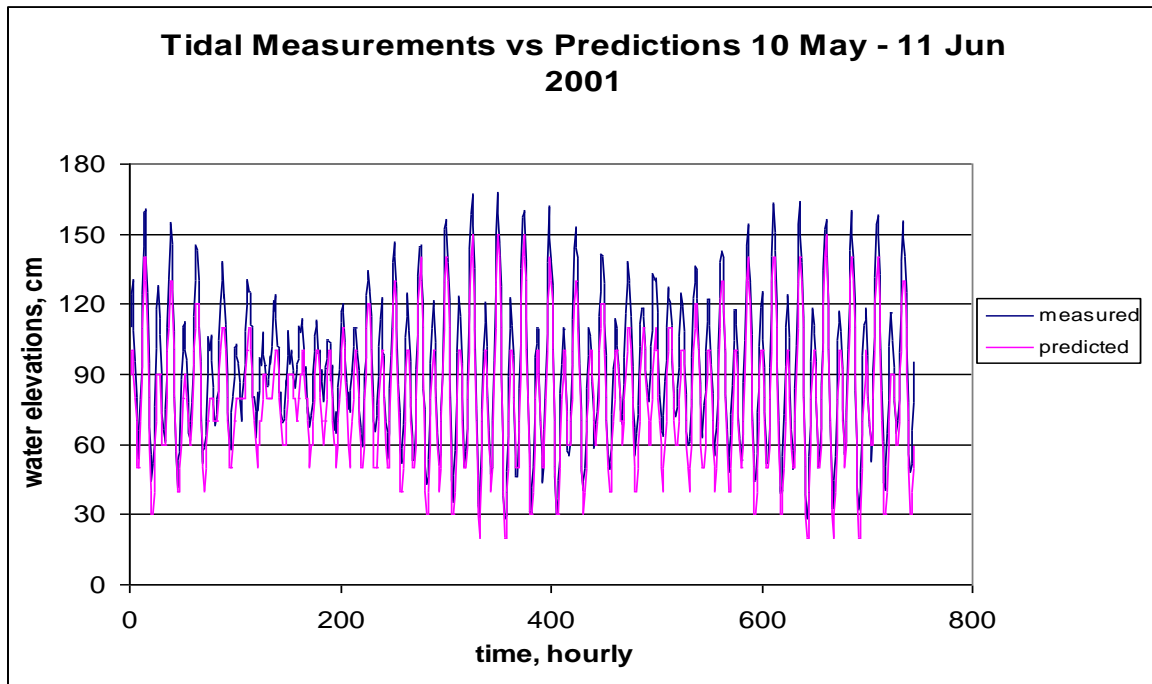
HHWL = 164.00; MSL = 85.30; LLWL = 12.50; Kisaran Pasut = $(164-12,50)\text{cm} = 151.50\text{cm}$



Gambar 5. Pengukuran pasang surut versus prediksi 12-28 Des 2007

Keterangan:

MSL = 83.6 cm; HHWL = 170 cm; LLWL = 3 cm; Kisaran Pasut = $(170 - 3)\text{cm} = 167\text{cm}$



Gambar 6. Pengukuran pasang surut versus prediksi 10 Mei – 11 Juni 2001

Keterangan:

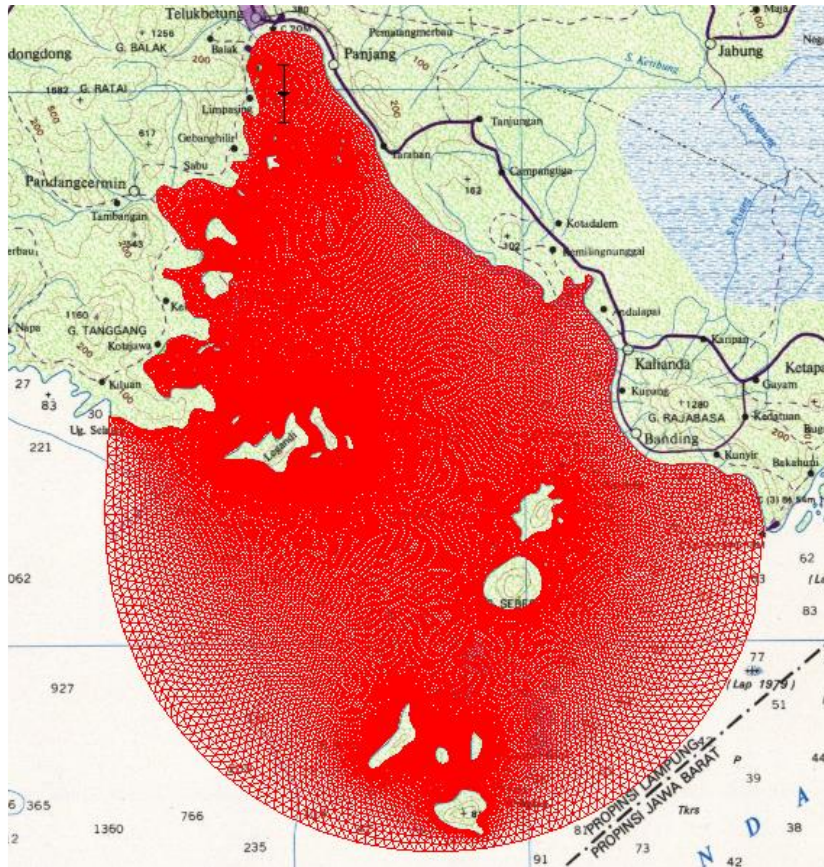
MSL = 92.3cm; HHWL = 167.8cm; LLWL = 24cm; Kisaran Pasut = $(167.8-24)\text{cm} = 143.8\text{cm}$

3.2 Arus Pasang Surut

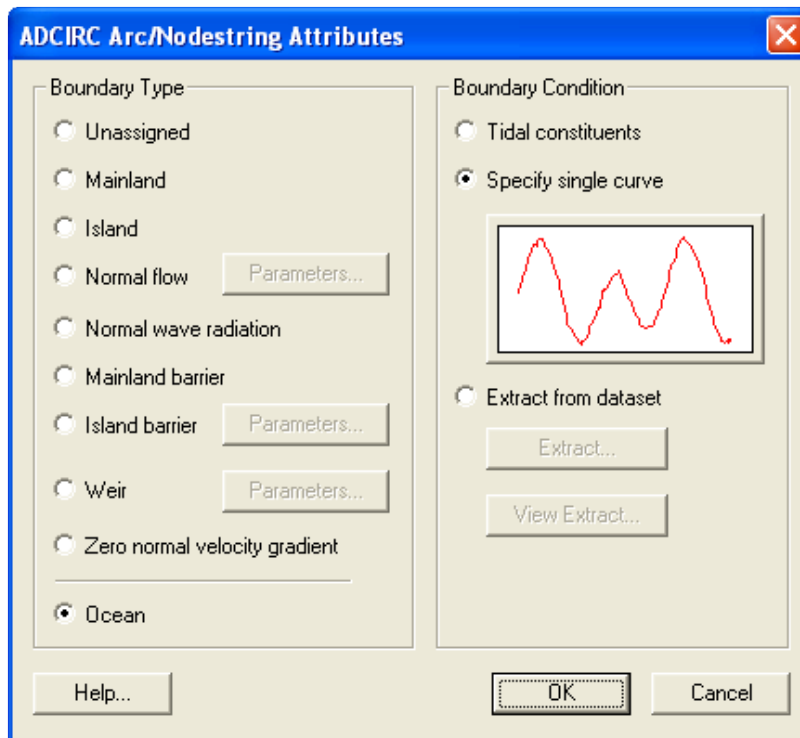
Pasang surut menyebabkan elevasi muka air pada suatu titik bervariasi dari waktu ke waktu (fungsi waktu); Pasang surut juga menyebabkan elevasi muka air bervariasi dari titik yang satu dengan titik yang lain pada saat yang bersamaan (fungsi spasial). Variasi muka air pada titik yang satu dengan titik yang lain tersebut akan menimbulkan arus (perpindahan massa air) yang disebut dengan arus pasang surut, yang mengangkut massa air dalam jumlah sangat besar. Arus pasang terjadi pada waktu periode pasang dan arus surut terjadi pada periode air surut. Titik balik (*slack*) adalah saat dimana arus berbalik antara arus pasang dan arus surut. Titik balik ini bisa terjadi pada saat muka air tertinggi dan muka air terendah. Pada saat tersebut kecepatan arus adalah nol.

Arus pasang surut biasanya mempunyai besaran yang relatif kecil. Namun demikian, karena proses pasang surut terjadi terus-menerus sepanjang waktu, maka arus yang ditimbulkan juga akan terjadi terus-menerus. Dengan demikian, efek yang ditimbulkan juga akan menjadi signifikan. Efek yang perlu mendapat perhatian tersebut antara lain adalah sedimentasi atau pendangkalan pada kolam pelabuhan (Kramadibrata, 2008). Sedimentasi tersebut terjadi karena pada saat air pasang, maka akan terdapat volume air yang berasal dari volume yang hampir tak terhingga ke kolam pelabuhan, sedemikian rupa sehingga arus yang masuk ke kolam pelabuhan tersebut mempunyai kecepatan yang relatif tinggi. Sedangkan pada saat periode surut, maka air yang keluar dari kolam pelabuhan ke laut bebas akan mempunyai kecepatan yang relatif rendah. Sedimen yang teraduk-aduk oleh kecepatan arus yang relatif tinggi dan masuk ke kolam pelabuhan tersebut akan tertinggal karena kecepatan endap material sedimen tersebut adalah lebih tinggi dibanding kecepatan geser (arus periode surut).

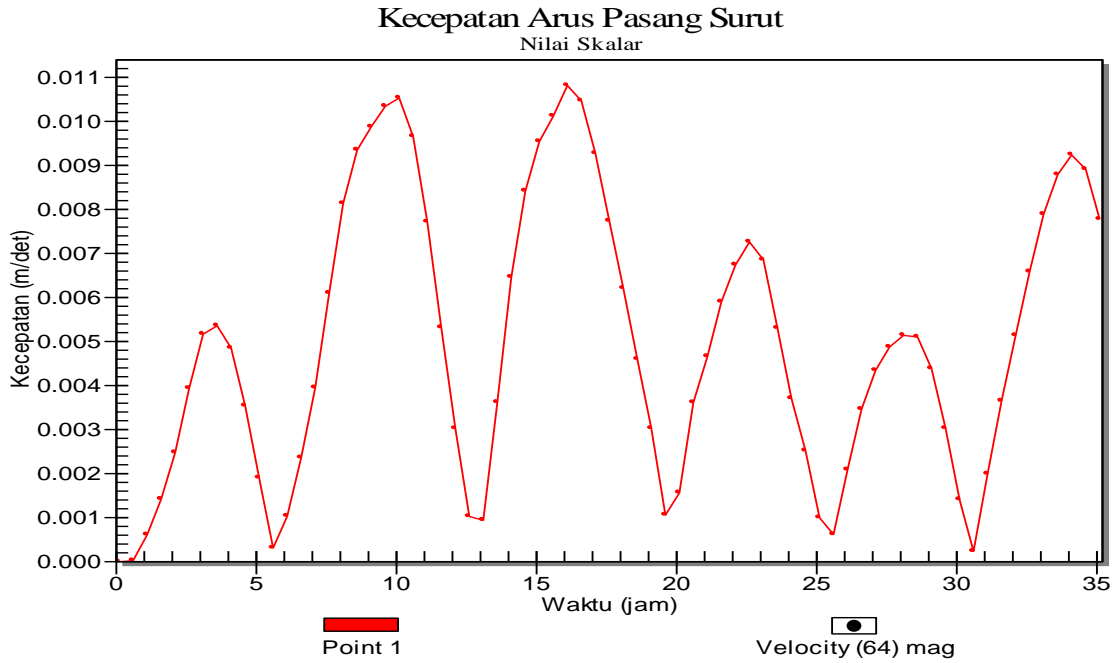
Pemodelan arus pasang surut dimulai dengan pembuatan mesh model pada lokasi penelitian dengan kondisi batas berupa pasang surut sebesar 1,5m.



Gambar 7. Mesh modul



Gambar 8. Pasang surut sebagai kondisi batas



Gambar 9. Arus karena Pasang Surut

Arus pasang surut yang ditimbulkan oleh pasang surut sebesar 1,5 meter adalah relatif kecil, yaitu sebesar 0.011m/det atau 1.1cm/det, dibandingkan dengan arus aktual yang diukur dengan ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*), pada dua lokasi yaitu ADCP1 dan ADCP2 selama 6 hari. Beberapa informasi mengenai pengukuran arus di lokasi yang berdekatan dengan lokasi penelitian juga dikemukakan di sini. ADCP diletakkan pada dasar laut dengan kedalaman sekitar 15 meter. ADCP ini mampu melakukan pengukuran *temperature*, *significant wave height*, terutama arah arus dan kecepatan arus, baik pada kedalaman keseluruhan maupun kedalaman *cell by cell*. Pada studi ini, nilai 1.5m diambil sebagai kedalaman pada masing-masing sel. Hasil pengukuran pada ADCP 1 dan ADCP 2 di depan lokasi dermaga ekstensi PT Bukit Asam Unit pelabuhan Tarahan adalah: (1) Rerata kecepatan = 2.257531 cm/det dan maksimum kecepatan = 10.83 cm/det; dan (2) Rerata kecepatan = 2.695355 cm/det dan maksimum kecepatan = 8.64 cm/det. Sedangkan dari data yang terekam tiap 10 menit selama 6 hari, dapat disarikan frekuensi kejadian arus pada masing-masing ADCP seperti tertera pada Tabel di bawah ini.

Tabel 1. Frekuensi kejadian arus pada masing-masing arah dan kecepatan pada ADCP-1

KECEPATAN ARUS	ARAH ARUS								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
0	0.54								0.54
0.01-1.5	7.19	4.21	7.33	8.41	4.88	1.36	3.12	3.80	40.30
1.51-3	1.09	0.68	8.28	17.50	1.22	0.27	0.27	1.63	30.94
3.01-4.5	0.00	0.00	1.63	14.93	0.27	0.14	0.00	0.14	17.10
4.51-6.0	0.00	0.00	0.81	8.82	0.00	0.00	0.00	0.00	9.63
6.01-7.5	0.00	0.00	0.27	0.81	0.00	0.00	0.00	0.00	1.09
7.51-9.0	0.00	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27
9.01-10.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10.5-10.83	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14
	8.28	4.88	18.32	50.88	6.38	1.76	3.39	5.56	100

Tabel 2. Frekuensi kejadian arus pada masing-masing arah dan kecepatan pada ADCP-2

KECEPATAN ARUS	ARAH ARUS								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
0	0.27								0.27
0-1.5	3.28	1.09	5.19	7.92	5.46	0.82	1.64	1.37	26.78
1.5-3	3.55	1.37	1.91	13.39	2.73	0.00	0.27	2.46	25.68
3.01-4.5	0.55	0.00	0.27	15.03	3.01	0.00	0.00	0.27	19.13
4.51-6.0	0.00	0.00	0.00	15.57	1.09	0.00	0.00	0.00	16.67
6.01-7.5	0.00	0.00	0.27	6.28	0.00	0.00	0.00	0.00	6.56
7.51-9.0	0.00	0.00	0.00	3.83	0.00	0.00	0.00	0.00	3.83
9.01-10.5	0.00	0.00	0.00	1.09	0.00	0.00	0.00	0.00	1.09
10.5-10.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	7.38	2.46	7.65	63.11	12.30	0.82	1.91	4.10	100

Sedangkan pengukuran pada 9 hari berikutnya yaitu pada tanggal 15 – 23 Sept 2011 memberikan hasil yang tidak jauh berbeda, yaitu: (1) Kecepatan rerata: 2.426733 cm/det dan kecepatan maksimum : 12.93 cm/det; serta (2) Kecepatan rerata: 2.298645 cm/det dan kecepatan maksimum: 9.25 cm/det.

Pengukuran kecepatan arus pada lokasi di dekat lokasi penelitian yaitu pada depan PT ANDATU memberikan hasil: (1) Rerata kecepatan = 2.353488 cm/det dan kecepatan maksimum = 9.68 cm/det; serta (2) Rerata kecepatan = 3.480887 cm/sec dan kecepatan maksimum = 8.9 cm/det.

4. KESIMPULAN

1. Tipe pasang surut di Perairan Panjang adalah Semi Diurnal Tipe Campuran yang berarti dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut, dan dalam satu hari terjadi ketidak-samaan harian (*daily inequality*) antara pasang pertama dengan pasang berikutnya, maupun surut pertama dengan surut berikutnya.
2. Kisaran pasang surut tertinggi sebesar 167cm, sedangkan rerata kisaran pasang surut adalah sebesar 150.075. Dengan demikian amplitude (misal selisih antara MSL dengan LWS sebesar 0.75m atau 75cm.
3. Arus pasang surut 1,5m adalah sebesar 0,11cm/det yang relatif kecil dibanding arus aktual.
4. Arus aktual dominan adalah dari arah Tenggara, yaitu 50,88 persen pada ADCP1 dan 63,11 persen pada ADCP-2, sedangkan kecepatan arus yang dominan adalah 0-1.5cm/det yaitu 40,30% pada ADCP-1 dan 26,78% pada ADCP-2. Namun demikian, untuk kebutuhan perancangan, maka arus maksimum yang harus menjadi pertimbangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Triatmodjo, B., 1999, Teknik Pantai, Beta Offset, Yogyakarta.
 Triatmodjo, B., 2009, Perencanaan Pelabuhan, Beta Offset, Yogyakarta.
 CERC,1992, Automated Coastal Engineering System, Buku 1 : Technical Reference; Buku II : User's Guide, Department of the Army Water-way Experiment Station, Corps of Engineers, Mississippi.
 Kramadibrata, S., 2008, Perencanaan Pelabuhan, Ganesha Exact, Bandung