PENTINGNYA PASANG SURUT AIR LAUT PADA KONSTRUKSI TEKNIK SIPIL

Oleh: Eddy Eko Susilo

ABSTRAK

Data tentang Pasang Surut air laut di Indonesia masih kurang karena belum banyaknya penelitian maupun penyelidikan yang dilakukan. Sedangkan proses Pasang Surut merupakan suatu proses alami akibat adanya gejala alam dan sudah terjadi sejak bumi ini diciptakan oleh Yang Maha Kuasa. Karena keterbatasan itu maka dasar teori masih diperlukan dalam menunjang pekerjaan konstruksi teknik sipil yang berkaitan keadaan Pasang Surut. Sebagian negara Indonesia merupakan lautan sehingga banyak sekali bangunan teknik sipil yang didirikan di laut antara lain dermaga, bangunan penahan ombak serta bangunan lainnya. Diharapkan dengan adanya pengetahuan tentang adanya Pasang Surut air laut maka besarnya gaya yang bekerja akibat tersebut dapat diperhitungkan dengan tepat sehingga bangunan aman terhadap adanya gaya pasang surut yang terjadi.

I. PENDAHULUAN

Kalau diperhatikan dengan seksama pada bola bumi ini maka akan diketahui bahwa luas laut jauh lebih besar dari pada daratan. Menurut Anugerah Nontji (1987) bahwa luas bumi yang kita huni 510 juta km2, dengan komposisi antara laut dan daratan adalah 70,8% : 29,2%, berarti luas laut di bumi ini kurang lebih 361 juta km2.

Daratan yang berada di bumi ini terpisah-pisah dan seolah-olah tersebar di atas laut sedangkan seluruh laut merupakan suatu kumpulan air yang bergerak dinamis, saling berhubungan satu dengan yang lainnya dan merupakan satu kesatuan. Sehingga iklim serta cuaca planet ini sangat ditentukan oleh perkembangan kondisi laut dan udara di atasnya.

Sedangkan letak geografis Indonesia yang terletak antara benua Asia dan benua Australia serta Samudra Pasifik dan Samudra Hindia, dengan sendirinya iklim serta cuaca sangat dipengaruhi oleh sebagian besar benua serta samudra yang mengapitnya.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-undang No. 4 tahun 1960 bahwa batas wilayah laut Republik Indonesia adalah jalur laut sampai 12 mil dari garis dasar atau garis yang menghubungkan titik-titik terluar dari pulau-pulau

---

Drs.Ir. Eddy Eko Susilo, dosen PTB FPTK IKIP Malang

Indonesia pada saat surut rendah. Luas seluruh wilayah Indonesia dengan jalur laut 12 mil adalah 5 juta km2 yang terdiri dari luas daratan 1,9 juta km2, luas teritorial 0,3 juta km2, perairan pedalaman atau perairan kepulauan seluas 2,8 juta km2. Jadi luas laut seluruhnya berjumlah 3,1 juta km2 atau kurang lebih 62% luas seluruh wilayah Indonesia. Indonesia terdiri dari 13.667 pulau dengan garis pantainya sekitar 81.290 km (Bakosurtanal, 1985).

Untuk itu kita perlu mengetahui lebih lanjut tentang pasang surut atau disebut PASUT. Biasanya pasang surut dikaitkan dengan proses naik turunnya paras laut (sea level) secara berkala yang ditimbulkan oleh adanya gaya tarik dari benda-benda angkasa, terutama matahari dan bulan terhadap massa air di bumi. Proses pasut ini terjadi secara jelas di daerah pantai sehingga mempengaruhi kegiatan manusia yang hidup di daerah pantai, seperti pelayaran, penangkapan ikan dan lain sebagainya.

Pengamatan mengenai pasut telah lama dilakukan sejak Aristotle (350 BC) dan teori pasut yang sekarang dikenal adalah dari teori gravitasi Newton (1642-1727), persamaan gerak yang dikembangkan oleh Euler dan dari kedua teori tersebut dikembangkan oleh Laplace (1974-1822).

II. PASANG SURUT

Menurut Nur Yuwono (1986), fluktuasi muka air laut meliputi antara lain:

1. Gelombang pasang surut (astronomical tide), yaitu gelombang yang ditimbulkan oleh gaya tarik-menarik antara bumi dengan planet-planet lain terutama bulan dan matahari. Gelombang ini mempunyai periode 12,4 jam dan 24 jam.
2. Gelombang Tsunami, yaitu gelombang yang ditimbulkan oleh gempa bumi di bawah laut. Gelombang ini mempunyai periode antara 5 - 60 menit.
3. Gelombang Oskilasi (basin oscillation), yaitu gelombang yang terjadi pada suatu kolam (kolam pelabuhan, teluk, danau, dan sebagainya) yang disebabkan adanya gangguan keseimbangan muka air. Gangguan keseimbangan tersebut dapat berupa gempa bumi, hembusan angin, dan sebagainya. Gelombang ini mempunyai periode yang besarnya tergantung pada penyebabnya yaitu bervariasi antara beberapa menit sampai beberapa jam.
4. Gelombang badai (strom surge), yaitu gelombang yang disebabkan karena badai (strom surge).

5. Gelombang pengaruh klimatodologi (climatologic effects), gelombang ini biasanya tidak begitu berpengaruh pada perencanaan bangunan-bangunan pantai.
6. Gelombang pengaruh geologi (geologi effects), gelombang ini sukar dipisahkan dengan gelombang pengaruh klimatodologi.

Untuk selanjutnya yang akan diuraikan secara singkat adalah gelombang pasang surut atau naik turunnya permukaan air laut.

Matahari mempunyai massa 27 juta kali lebih besar dari massa bulan dan jarak rata-rata 149,6 juta km dari bumi. Sedangkan jarak rata-rata bulan dengan bumi adalah 381.160 km (Anugerah Nontji, 1987).

Menurut hukum gravitasi Newton, jarak lebih menentukan daripada massa, dalam hal ini dapat dilihat rumusnya yaitu F = (G X M1.M2) / (r2 + R2), dimana F = gaya tarik bulan, G = konstanta gravitasi, M1 dan M2 = massa benda, r = jarak antara pusat bumi dan pusat bulan sedangkan R = jari-jari bumi. Karena nilai R2/r2 = 1/60 maka r (jarak bulan ke bumi) lebih kecil dibandingkan dengan r (jarak matahari ke bumi) maka F yang dihasilkan menjadi lebih besar jika dibandingkan dengan m kecil tetapi r nya besar.

Oleh karena itu bulan mempunyai peranan yang lebih besar dari pada matahari dalam menentukan pasut. Dari perhitungan di atas maka didapat bahwa gaya tarik bulan yang mempengaruhi pasut besarnya kurang lebih 2,2 kali lebih kuat daripada gaya tarik matahari. Sebenarnya pasut juga dipengaruhi oleh badan astronomis lainnya tetapi pengaruh itu kecil dan biasanya diabaikan.

Selanjutnya John I. Pariwono (1989) mengatakan bahwa ada tiga gerakan utama yang menentukan denyut paras laut di bumi ini yaitu:

1. Revolusi bulan terhadap bumi, di mana orbitnya berbentuk ellips dan memerlukan waktu 29,5 hari untuk menyelesaikan revolusinya.
2. Revolusi bumi terhadap matahari, dengan orbitnya berbentuk ellips juga dan periode yang diperlukan untuk ini adalah 365,25 hari.
3. Perputaran bumi terhadap sumbunya sendiri dan waktu yang diperlukan adalah 24 jam (one solar day).

Jika semua gerakan ini berada pada satu bidang datar yang berimpit dengan bidang katulistiwa bumi, maka prediksi pasut akan menjadi sangat sederhana. Pada kenyataannya sumbu bumi membentuk sudut 66,5o dengan bidang orbit bumi terhadap matahari (ecliptic planet) dan bidang orbit bulan membentuk sudut sebesar 5o9' terhadap ekliptik tersebut (Richard Silvester, 1974).

Keadaan ini menyebabkan sudut deklinasi bulan terhadap bumi dapat mencapai 28 1/20 Lintang Utara atau Selatan setiap 18,6 tahun sekali. Fenomena ini menghasilkan konstanta pasut periode panjang yang disebut NODAL TIDE.

Sehubungan dengan adanya gaya tarik bulan yang kuat, maka bagian bumi yang terdekat dengan bulan akan tertarik dan membengkak hingga perairan samudra di situ akan naik dan menimbulkan pasang. Dan pada saat yang sama, bagian bola bumi yang di baliknya juga akan mengalami keadaan pasang pula. Sedangkan pada sisi lainnya yang tegak lurus terhadap poros bumi-bulan, air samudra akan bergerak ke samping hingga menyebabkan terjadinya keadaan surut di situ.

Apabila bulan dan matahari berada pada satu garis lurus dengan bumi seperti pada saat bulan muda atau pada saat bulan purnama maka gaya tarik keduanya akan saling memperkuat sehingga terjadi PASANG-SURUT PURNAMA (SPRING TIDE) dengan tinggi air melebihi tinggi pasang biasanya, demikian pula surutnya sangat rendah sekali. Tetapi jika bulan dan matahari membentuk sudut siku-siku dengan bumi maka gaya tarik keduanya saling meniadakan, yang mengakibatkan perbedaan tinggi air pasang dan surut sangat kecil yang biasanya disebut PASANG-SURUT PERBANI (NEAP TIDE).

Menurut periodenya pasut dibagi menjadi 2 (dua) macam yaitu:

1. Semi Diurnal Tide, yaitu pasut yang mempunyai periode kurang lebih 24 jam. Dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dan keadaan ini terjadi apabila poros perputaran bumi tegak lurus pada garis yang menghubungkan pusat bumi dan bulan.
2. Diurnal tide, yaitu pasut yang mempunyai periode kurang lebih 24 jam. Dalam satu hari terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dan keadaan ini terjadi apabila poros perputaran bumi tidak tegak lurus pada garis yang menghubungkan pusat bumi dan bulan.

III. PASANG-SURUT DI INDONESIA

Indonesia mempunyai garis pantai sepanjang 81.290 km sangat penting untuk berbagai kegiatan antara lain: pelayaran, pencemaran laut, pengelolaan sumberdaya hayati laut, pertahanan nasional dan kegiatan lainnya.

Karena adanya pengaruh Samudra Pasifik dan Samudra Indonesia maka variabilitas pusat di perairan Indonesia sangat besar. Maka untuk membuat garis-garis pasut yang biasanya disebut CO-TIDAL dan CO-RANGE adalah dengan mencocokkan harga-harga konstanta pasut yang terdapat di daerah pantai dan diinterpolasikan ke arah lepas pantai. Pengertian garis-garis CO-TIDAL adalah

garis-garis yang menghubungkan tempat di laut yang mempunyai fase pasut yang sama, sedangkan garis CO-RANGE adalah garis yang menghubungkan tempat di laut yang memiliki amplitudo pasut yang sama.

Biasanya sifat pasut ditentukan dengan menggunakan rumus FORMZAHL sebagai berikut:

$$F = \frac{K1 + 01}{M2 + S2}$$

dimana: F = nilai Formzahl
K1 dan 01 = konstanta pasut harian utama
N2 dan S2 = konstanta pasut ganda utama

Berdasarkan harga F maka sifat pasut dapat di klasifikasikan menjadi:

1. Pasang ganda	jika	$F < 1/4$
2. Pasang campuran (ganda dominan)	jika	$1/4 < F\ 1\ 1/2$
3. Pasang campuran (tunggal dominan)	jika	$1\ 1/2 < F < 3$
4. Pasang tunggal	jika	$F > 3$

Menurut penelitian J. Pariwono (1985), perairan Indonesia dikelompokkan menjadi dua yaitu:

1. Pasut tunggal mendominasi perairan Indonesia sebelah Barat.
2. Pasut ganda mendominasi perairan Indonesia sebelah Timur.

IV. PENERAPAN DATA PASANG-SURUT PADA KONSTRUKSI TEKNIK SIPIL

Setiap konstruksi teknik sipil yang dibangun di perairan laut lepas dan dekat pantai, serta di tepi pantai dan daratan pantai pasti memerlukan data pasut dalam perencanaannya maupun dalam pelaksanaannya. Kegiatan teknik sipil tersebut mencakup kegiatan pembangunan dan peletakan berbagai konstruksi pemboran minyak lepas pantai dan dataran pantai, pembangkit energi laut, rambu- rambu lalu lintas perairan laut, bangunan tengah laut, jembatan atas laut, pelabuhan laut dan sungai, bendungan laut, serta struktur teknik sipil bawah laut, pengurugan laut atau reklamasi laut serta penanggulangan pantai (shore protection atau coastal defence), selain tiu pemasangan kabel bawah laut di pesisir juga memerlukan pengetahuan pasut dalam pelaksanaannya.

Untuk perencanaan dan pelaksanaan pada konstruksi pemboran minyak lepas pantai sangat penting data pasut karena pengaruh pada struktur yang terapung maupun pada saat drilling dilaksanakan di mana drilling rig maupun stang bor akan selalu mempengaruhi. Sedangkan pada bendungan laut seperti yang dilaksanakan di Belanda, dimana daratan berada di bawah muka laut karena Belanda sangat memerlukan lahan sehingga pekerjaan yang cukup mahal tetapi tetap dilaksanakan.

Pembangunan jembatan di atas laut yang diharapkan di Indonesia akan segera terealisir dengan ditandatangani MOU (Memorandum of Understanding) yang kedua pada bulan Desember 1992 yang lalu di Jepang oleh B.J. Habibi sebagai Menristek bersama dengan Moh. Nur selaku direktur Proyek Jembatan Surabaya-Madura dengan pihak OECF juga memerlukan survey investigation tentang pasut.

Demikian pula dengan pekerjaan reklamasi laut seperti yang dilakukan oleh PT. PAL Surabaya, dimana diadakan pengurugan laut dilakukan dengan menggunakan pasir laut yang terjadi pada daerah yang mempunyai sedimen yang cukup tinggi sehingga berfungsi sebagai pengerukan dan pengurugan, juga perlu adanya data pasut.

Pemasangan kabel laut yang dilakukan oleh PT. TELKOM pada tahun 1991 yang lalu dimana kebel tersebut digelar mulai dari Takisung (Kalimantan) ke Bumianyar (Madura) perlu dilakukan pengamanan kabel pada daerah pantai karena kabel tersebut rawan terhadap lalu lintas laut juga untuk keamanan dari pencurian perlu adanya data pasut sehingga dari pantai kabel tidak akan terlihat oleh penglihatan secara langsung dan perlu adanya timbunan dengan kedalaman tertentu.

Dampak negatip hempasan gelombang besar (strom surges) terhadap struktur yang pada waktu tersebut perlu diperhitungkan, terutama pada saat air pasang tinggi dan air surut rendah, untuk struktur di perairan pesisir yang sangat dangkal. Berdasarkan letaknya sistem penanggulangan pantai dikelompokkan sebagai berikut:

1. Struktur di sepanjang garis pantai; Sea wall (dinding pantai), Revetment (tameng pantai), Bulkhead (sekat pantai).
2. Struktur menyudut dengan garis pantai; Groine (groin), Jetty (jeti), Shore-connected breakwater.
3. Struktur lepas pantai; offshore breakwater.

Dalam perencanaan pembangunan struktur teknik sipil, data pasut merupakan salah satu faktor penting karena menentukan segi desain karena adanya dampak positip maupun dampak negatip yang diakibatkan oleh bangunan itu. Kenyataannya

pembangunan struktur penanggulangan pantai hampir selalu memberikan pengaruh terhadap keadaan pantai atau struktur lainnya yang berada di sebelahnya atau di dekatnya. Karena struktur bangunannya sendiri bila berada di bawah permukaan air, di atas permukaan air maupun yang dipasang di daerah kisaran pasang surut akan menimbulkan dampak yang berbeda-beda pula meskipun bentuk, dimensi serta letaknya sama.

Untuk penanggulangan pantai yang tidak digunakan untuk berlabuh kapal, tanggul pantai yang diterapkan, khususnya yang bersifat lepas pantai dan yang terletak di pantai, seringkali digunakan dengan sistem armor, yakni batu-batu lepas atau beton-beton buatan dengan bentuk tertentu, yang diletakkan di depan struktur bangunan tanggul pantai yang dibangun. Peletakan armor tersebut antara lain adalah sebagai pemecah energi gelombang sehingga perairan kolan pelabuhan menjadi tenang dan aman untuk kapal berlabuh dan menjaga bangunan pantai agar terhindar dari pengaruh energi dinamik yang merusak, khususnya gelombang, angin dan arus. Sedangkan ukuran dan berat armor berbeda-beda, tergantung dari kekuatan gelombang atau angin yang bertiup di daerah setempat, yang akan menimbulkan gelombang yang dapat merusak, serta, macam bangunan atau keadaan di tepi pantai yang akan dilindungi. Sebagai contoh di PLTU Suralaya menggunakan beton armor yang berbentuk kubus dan ada yang berukuran sampai 2 m, disamping armor lain dalam bentuk bongkahan batu. Sedangkan di Tanjung Periok dipakai armor berbentuk bongkahan batu, beton berbentuk kubus, tetrapod dan akmon. Untuk kubus berukuran kurang 1 m sedangkan tetrapod dan armon mencapai 1,2 m. Untuk mengamankan pura Tanah Lot di tepi pantai Selat Bali dipakai armor jenis tetrapod sebanyak 1490 buah dengan berat masing-masing 2 ton.

Selain itu tenaga pasut juga dapat dipergunakan sebagai sumberdaya energi yang diperlukan oleh manusia, dewasa ini telah dimanfaatkan secara cukup menonjol dibandingkan dengan sumber daya energi lainnya yang mungkin diperoleh dari air laut, baik secara langsung maupun tidak langsung. Sebagai contoh di salah satu negara Eropa telah membangun bendungan yang berfungsi sebagai pengatur keluar masuknya air laut sesuai dengan siklus pasang surut. Tenaga pasut itu dapat menghasilkan sampai 500 juta KWH per tahun.

Indonesia mempunyai pasut yang cukup tinggi yaitu 6 m yang terdapat di daerah muara sungai Digul, Irian Jaya. Namun belum dikelola karena letaknya kurang menunjang. Namun perlu dipertimbangkan bahwa sumberdaya energi pasut merupakan cadangan energi yang tidak akan habis selama tidak terjadi perubahan lingkungan daerah tersebut.

Untuk itu perlu dipertimbangkan pada masa mendatang tentang pemanfaatan tenaga pasut sebagai salah satu sumberdaya energi.

V. KESIMPULAN

Dari uraian di atas maka dapatlah ditarik suatu kesimpulan sebagai berikut:

1. Pasut merupakan kejadian alam yang diakibatkan adanya pengaruh gaya tarik menarik bumi dengan planet-planet, khususnya bulan dan matahari.
2. Pengetahuan tentang pasut sangat diperlukan dalam perencanaan maupun pelaksanaan konstruksi bangunan teknik sipil terutama bangunan di pantai, laut serta kegiatan lainnya yang berkaitan dengan teknologi dan rekayasa kelautan lainnya.
3. Pasut merupakan salah satu cadangan sumberdaya yang siap untuk dimanfaatkan.
4. Perlu adanya penelitian yang lebih mendalam tentang pasut sehingga dapat membantu prediksi kemungkinan adanya dampak positip maupun dampak negatip yang akan terjadi pada suatu bangunan di daerah pantai atau di laut.

DAFTAR PUSTAKA

Bakosurtanal & ITB (1985). *Pendidikan Survai Laut Rekayasa*, Bandung: Kelompok Bidang Keahlian Kelautan dan Survai Elektronik, Jurusan Teknik Geodesi ITB.

Haryono, YB. dkk. (1988). *Model Refraksi Gelombang Laut sebagai pendahuluan perencanaan bangunan pantai*, Yogyakarta: Seminar Hidraulika dan Hidrologi Wilayah Pantai, PAU Ilmu Teknik Universitas Gajah Mada.

Hutabarat, S & Evans S.M. (1985). *Pengantar Oseanografi*, Jakarta: UI Press.

Nontji, A. (1987). *Laut Nusantara*, Jakarta: Penerbit Djambatan,

Pariwono, J.I. (1989). *Gaya Penggerak Pasang-Surut*, Jakarta: LIPI.

Pariwono, J.I. (1989). *Kondisi Pasang-Surut di Indonesia*, Jakarta: LIPI.

Ongkosongo, O.S.R. (1989). *Penerapan Pengetahuan dan Data Pasang-Surut*, Jakarta: LIPI.

Silvester, R. (1974). *Coastal Engineering I*, Amsterdam: Elsevier scientific publishing company.

Yuwono, N. (1986). *Teknik Pantai volume I*, Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.