

PASANG SURUT AIR LAUT DI PANTAI KOTA TEGAL

Soebyakto, Hj. Zulfah dan Mustaqim

ABSTRAK

Penelitian dilakukan untuk menjawab keingintahuan peneliti untuk mengungkapkan suatu gejala alam atau fenomena alam yaitu terjadinya pasang surut laut yang diakibatkan oleh gaya tarik-menarik antara Bumi-Bulan dan Bumi-Matahari. Kampus Universitas Pancasakti Tegal berada di dekat pantai, pada saat air pasang, beberapa halaman dan jalan yang menuju ke kampus UPS tergenang air laut, kadang-kadang cukup tinggi dan kadang-kadang hanya banjir kecil saja. Hal itulah yang mendorong peneliti ingin mengetahui seberapa besar ketinggian air laut pasang pada saat bulan mati atau bulan baru dan bulan purnama.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode gaya gravitasi dari hukum Newton tentang gravitasi yaitu gaya tarik-menarik antara dua benda yang bermassa, dalam hal ini antara massa Bumi dan massa Bulan serta massa Bumi dan massa Matahari. Dari pengembangan metode ini, akan didapat ketinggian pasut fungsi dari lintang tempat. Untuk membuktikan kebenaran teori ini, dilakukan pengamatan pasut secara langsung di pantai Kota Tegal.

Ketinggian pasut rata-rata, berdasarkan pengamatan selama empat bulan adalah 37,9 cm. Ketinggian rata-rata hasil perhitungan pasang surut air laut secara teori adalah 33,9 cm untuk sistem Bumi-Bulan dan 15,6 cm untuk sistem Bumi-Matahari. Hasil yang diperoleh dari hasil perhitungan pasut dimana gaya pembangkit pasut matahari menggunakan jarak rata-rata bumi-bulan dan jarak rata-rata bumi-matahari. Hasil pengamatan pada bulan Maret, April, Mei dan Juni 2009, ketinggian pasutnya memiliki interval dari 2 cm pada tanggal 23 Maret 2009 sampai dengan 87 cm pada tanggal 1 Juni 2009. Nilai tersebut adalah nilai minimum dan maksimum selama empat bulan pengamatan.

Kata Kunci : *Pasut, Pasang Surut Air Laut*

PENDAHULUAN

Pasang surut adalah perubahan gerak relatif dari materi suatu planet, bintang dan benda angkasa lainnya yang diakibatkan aksi gravitasi benda-benda angkasa di luar materi itu berada. Pasang surut laut adalah naik turunnya permukaan air laut disertai gerakan horizontal massa air, dan gejala ini mudah dilihat secara visual. Naik turunnya muka air laut biasanya disebut vertical tide dan gerakan horizontal disebut tidal current (arus pasang surut). Turun-naiknya permukaan air laut ini karena pengaruh gravitasi dari bulan dan matahari. Bila permukaan air laut mengalami kenaikan disebut pasang naik dan sebaliknya bila terjadi penurunan disebut pasang surut. Gaya gravitasi bulan lebih dominan pengaruhnya dibandingkan gaya gravitasi matahari terhadap terjadinya pasang air laut ini, karena posisi bulan lebih dekat ke bumi dibandingkan jarak bumi ke matahari. Pasang besar akan terjadi bila tempat-tempat di bumi mengalami bulan mati dan bulan purnama.

Pasang terbesar dapat terjadi bila bulan mati atau bulan purnama tepat tegak lurus di atas permukaan bumi. Sedangkan surut terjadi pada tempat-tempat sebaliknya, yaitu pada permukaan bumi dibalik terjadinya bulan mati atau bulan purnama.

Dalam sebulan, variasi harian dari rentang pasang surut berubah secara sistematis terhadap siklus bulan. Rentang pasang surut juga bergantung pada bentuk perairan dan konfigurasi lantai samudera. Pasang surut laut merupakan hasil dari gaya tarik gravitasi dan efek sentrifugal. Efek sentrifugal adalah dorongan ke arah luar pusat rotasi. Gravitasi bervariasi secara langsung dengan massa tetapi berbanding terbalik terhadap jarak. Meskipun ukuran bulan lebih kecil dari matahari, namun gaya tarik gravitasi bulan dua kali lebih besar daripada gaya tarik matahari dalam membangkitkan pasang surut laut karena jarak bulan lebih dekat daripada jarak matahari ke bumi. Gaya tarik gravitasi menarik air laut ke arah bulan dan matahari dan menghasilkan dua tonjolan pasang surut gravitasional di laut. Lintang dari tonjolan pasang surut ditentukan oleh deklinasi, sudut antara sumbu rotasi bumi dan bidang orbital bulan dan matahari.

Pasang surut purnama (*spring tide*) terjadi ketika bumi, bulan dan matahari berada dalam suatu garis lurus. Pada saat itu akan dihasilkan pasang tinggi yang sangat tinggi dan pasang rendah yang sangat rendah. Pasang surut purnama ini terjadi pada saat bulan baru dan bulan purnama.

Pasang surut perbani (*neap tide*) terjadi ketika bumi, bulan dan matahari membentuk sudut tegak lurus. Pada saat itu akan dihasilkan pasang tinggi yang rendah dan pasang rendah yang tinggi. Pasang surut perbani ini terjadi pada saat bulan seperempat dan tigaperempat.

Untuk mempelajari kondisi pasang surut bagi keperluan bangunan dan operasi-operasi di pantai atau di lepas pantai. Sifat pasang surut periodic dan dapat diramalkan. Untuk dapat meramalkan pasang surut, diperlukan data amplitudo dan beda fasa dari masing-masing komponen pembangkit pasang surut. Seperti telah disebutkan di atas, komponen-komponen utama pasang surut terdiri dari komponen tengah harian dan harian. Namun demikian, karena interaksinya dengan bentuk (morfologi) pantai, superposisi antar komponen pasang surut utama, dan faktor-faktor lainnya akan mengakibatkan terbentuknya komponen-komponen pasang surut yang baru.

Pengetahuan tentang pasang surut sangat diperlukan dalam transportasi laut, kegiatan di pelabuhan. Karena sifat pasang surut yang periodik, maka ia dapat diramalkan untuk memperkirakan tinggi muka air dan kekuatan serta arah arusnya.

Pasang surut menggerakkan air dalam jumlah besar setiap harinya; dan pemanfaatannya dapat menghasilkan energi dalam jumlah yang cukup besar. Dalam sehari

bisa terjadi hingga dua kali siklus pasang surut. Oleh karena waktu siklus bisa diperkirakan (kurang lebih setiap 12,5 jam sekali), suplai listriknya pun relatif lebih dapat diandalkan daripada pembangkit listrik bertenaga ombak. seperti pembangkitan listrik secara hidro-elektrik yang terdapat di dam/waduk penampungan air sungai. Hanya saja, dam yang dibangun untuk memanfaatkan siklus pasang surut jauh lebih besar daripada dam air sungai pada umumnya. Dam ini biasanya dibangun di muara sungai dimana terjadi pertemuan antara air sungai dengan air laut. Ketika ombak masuk atau keluar (terjadi pasang atau surut), air mengalir melalui terowongan yang terdapat di dam. Aliran masuk atau keluarnya ombak dapat dimanfaatkan untuk memutar turbin



Gambar 1 *PLTPs La Rance, Brittany, Perancis.*

Gambar atas menampilkan aliran air dari kiri ke kanan. Gambar sebelah kiri bawah menampilkan proyek dam ketika masih dalam masa konstruksi. Gambar kanan menampilkan proses perakitan turbin dan baling-balingnya. *Photo credit: Popular Mechanics, December 1997.*

Pembangkit listrik tenaga pasang surut (PLTPs) terbesar di dunia terdapat di muara sungai Rance di sebelah utara Perancis. Pembangkit listrik ini dibangun pada tahun 1966 dan berkapasitas 240 MW. PLTPs La Rance didesain dengan teknologi canggih dan beroperasi secara otomatis, sehingga hanya membutuhkan dua orang saja untuk pengoperasian pada akhir pekan dan malam hari. PLTPs terbesar kedua di dunia terletak di Annapolis, Nova Scotia, Kanada dengan kapasitas “hanya” 16 MW. Kekurangan terbesar dari pembangkit listrik tenaga pasang surut adalah mereka hanya dapat menghasilkan listrik selama ombak mengalir masuk (pasang) ataupun mengalir keluar (surut), yang terjadi hanya selama kurang lebih 10 jam per harinya. Namun, karena waktu operasinya dapat diperkirakan,

maka ketika PLTPs tidak aktif, dapat digunakan pembangkit listrik lainnya untuk sementara waktu hingga terjadi pasang surut lagi.

TINJAUAN PUSTAKA

Dadang Kurniadi Mihadja, 1982, Oseanografi, ITB : Pasang surut (pasut) yang ditimbulkan oleh matahari lebih kecil $\frac{1}{2}$ bila dibandingkan dengan pasut yang diakibatkan oleh Bulan. Walaupun massa Matahari lebih besar, tetapi karena jaraknya relatif jauh, sehingga efeknya agak kecil. Hal yang sama, gaya pembangkit pasut oleh planet lain atau bintang relatif kecil. Dengan demikian gaya pembangkit pasut yang utama adalah Bulan dan Matahari.

Christian Tobing, Sinar Harapan, Senin, 16 Juli 2001 : Dengan luas perairan hampir 60% dari total luas wilayah sebesar 1.929.317 km², Indonesia harusnya bisa merapkan teknologi alternatif pasang surut air laut. Apalagi dengan bentangan Timur ke Barat sepanjang 5.150 km dan bentangan Utara ke Selatan 1.930 km telah mendudukkan Indonesia sebagai negara dengan garis pantai terpanjang di dunia. Pada musim hujan, angin umumnya bergerak dari Utara Barat Laut dengan kandungan uap air dari Laut Cina Selatan dan Teluk Benggala. Di musim Barat, gelombang air laut naik dari biasanya di sekitar Pulau Jawa. Fenomena alamiah ini mempermudah pembuatan teknik pasang surut tersebut.

Untung Sumotarto, Jurnal Saint dan Teknologi BPPT, 2007 : Pasang surut adalah perubahan atau perbedaan permukaan air laut sepanjang waktu yang diakibatkan karena gaya gravitasi (gaya tarik) bulan dan matahari serta karena gerakan revolusi bumi. Bulan dan matahari keduanya memberikan gaya gravitasi tarikan terhadap bumi yang besarnya tergantung kepada besarnya masa benda yang saling tarik menarik tersebut. Bulan memberikan gaya tarik (gravitasi) yang lebih besar dibanding matahari. Hal ini disebabkan karena walaupun masa bulan lebih kecil dari matahari, tetapi posisinya lebih dekat ke bumi. Gaya-gaya ini mengakibatkan air laut, yang menyusun 71% permukaan bumi, menggelembung pada sumbu yang menghadap ke bulan. Pasang surut terbentuk karena rotasi bumi yang berada di bawah muka air yang menggelembung ini, yang mengakibatkan kenaikan dan penurunan permukaan laut di wilayah pesisir secara periodik. Gaya tarik gravitasi matahari juga memiliki efek yang sama namun dengan derajat yang lebih kecil. Daerah-daerah pesisir mengalami dua kali pasang dan dua kali surut selama periode sedikit di atas 24 jam.

Perubahan pasang surut permukaan air laut dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. Sumber energi pasang surut bersifat bukan saja dapat diperbaharui (renewable) tetapi juga tidak menghasilkan polusi (environmentally friendly) sebagaimana energi air (hydro). Mengingat sumberdaya energi hidrokarbon Indonesia akan terus menyusut dan bahkan habis di suatu saat, perlu sejak dini dilakukan eksplorasi dan pengkajian pemanfaatan energi pasang surut mengingat posisi negara Indonesia yang dikelilingi lautan dengan potensi energi pasang surut cukup besar.

Thicon Gunawan, Majari Magazine, 17 Januari 2008 : Pasang surut menggerakkan air dalam jumlah besar setiap harinya; dan pemanfaatannya dapat menghasilkan energi dalam jumlah yang cukup besar. Dalam sehari bisa terjadi hingga dua kali siklus pasang surut. Oleh karena waktu siklus bisa diperkirakan (kurang lebih setiap 12,5 jam sekali), suplai listriknya pun relatif lebih dapat diandalkan daripada pembangkit listrik bertenaga ombak.

Departemen Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia, Jakarta, 22/5/2007 (Kominfo-Newsroom) : Kepala Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) Sri Woro B Harjiono mengemukakan, naiknya tinggi muka laut yang terjadi pada 17 dan 18 Mei 2007 lalu adalah akibat tiga fenomena alam yang memberi pengaruh secara bersamaan.

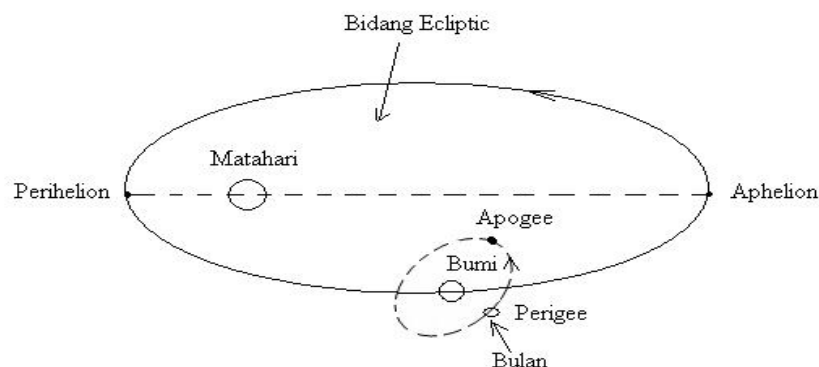
Ketiga fenomena alam itu meliputi adanya Swell (alun) yang berasal dari Samudera Hindia sebelah barat Australia, fenomena astronomi yaitu adanya gaya tarik antara matahari dan bulan terhadap bumi, serta pengaruh gelombang Kelvin.

Heron Surbakti, 2007, blog at wordpress.com : Pasang surut laut merupakan suatu fenomena pergerakan naik turunnya permukaan air laut secara berkala yang diakibatkan oleh kombinasi gaya gravitasi dan gaya tarik menarik dari benda-benda astronomi terutama oleh matahari, bumi dan bulan. Pengaruh benda angkasa lainnya dapat diabaikan karena jaraknya lebih jauh atau ukurannya lebih kecil. Faktor non astronomi yang mempengaruhi pasut terutama di perairan semi tertutup seperti teluk adalah bentuk garis pantai dan topografi dasar perairan. Puncak gelombang disebut **pasang tinggi** dan lembah gelombang disebut **pasang rendah**. Perbedaan vertikal antara pasang tinggi dan pasang rendah disebut rentang pasang surut (*tidal range*). Periode pasang surut adalah waktu antara puncak atau lembah gelombang ke puncak atau lembah gelombang berikutnya. Harga periode pasang surut bervariasi antara 12 jam 25 menit hingga 24 jam 50 menit. **Pasang purnama** (*spring tide*) terjadi ketika bumi, bulan dan matahari berada dalam suatu garis lurus. Pada saat itu akan dihasilkan pasang tinggi yang sangat tinggi dan pasang rendah yang sangat rendah. Pasang surut purnama ini terjadi pada saat bulan baru dan bulan purnama. **Pasang perbani** (*neap tide*) terjadi ketika bumi, bulan dan matahari membentuk sudut tegak lurus. Pada saat

itu akan dihasilkan pasang tinggi yang rendah dan pasang rendah yang tinggi. Pasang surut perbani ini terjadi pada saat bulan 1/4 dan 3/4.

Karakteristik Sistem Bumi-Bulan-Matahari

Pasang surut terjadi disebabkan gaya tarik menarik antara matahari dan bumi, bumi dan bulan, serta matahari-bulan dan bumi. Gaya tarik menarik antara bumi dan planet lainnya kecil, sehingga bisa diabaikan. Gerakan-gerakan yang penting dalam sistem matahari-bumi-bulan adalah revolusi dari bumi mengitari matahari dan revolusi bulan mengelilingi bumi. Bidang dimana bumi mengitari matahari disebut *bidang "ecliptic"*, sumbu roasi bumi membuat sudut dengan bidang Ecliptic ini sebesar $66\frac{1}{2}^{\circ}$. Orbit sistem bumi-bulan mengelilingi matahari adalah berbentuk Ellipse dengan eksentrisitasnya 0,017, dan matahari terletak pada salah satu fokus dari Ellipse tersebut. Posisi bulan yang terdekat dengan bumi disebut *Perigee*, dan terjauh disebut *Apogee*. Jarak terdekat antara bumi-matahari disebut *Perihelion* dan terjauh disebut *Aphelion*.

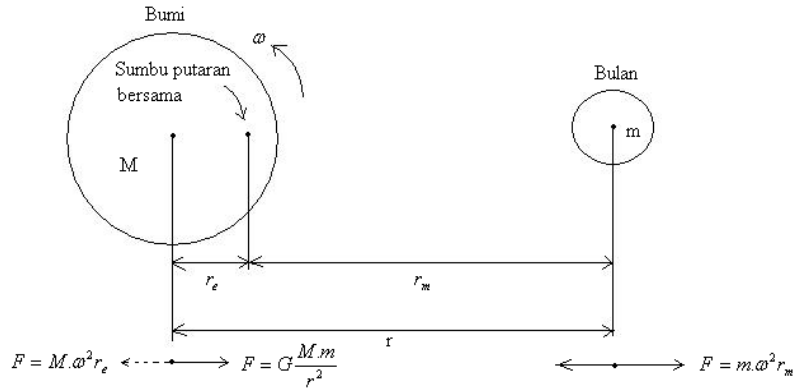


Gambar 2 Lintasan Edar Planet-planet

Kecepatan gerak planet dalam menempuh lintasan revolusinya tidak selalu tetap. Pada saat dekat titik perihelium (Perihelion) mempunyai kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan pada saat planet tersebut di dekat titik aphelium (Aphelion).

Untuk menerapkannya dalam sistem Bumi-Bulan-Matahari, kita akan meninjau sistem itu menjadi dua sistem, yaitu sistem Bumi-Bulan dan sistem Bumi-Matahari.

Sistem Bumi-Bulan



Gambar 3 Sistem Bumi-Bulan

Pada sistem Bumi-Bulan, dimana Bumi dianggap tidak berotasi pada sumbunya, tetapi mengadakan putaran (revolusi) pada sumbu putaran bersama Bumi-Bulan. Sistem Bumi-Bulan dalam keadaan setimbang, gaya-gaya yang bekerja pada sistem itu adalah gaya tarik menarik dan gaya sentrifugal pada sumbu bersama. Keseimbangan gaya yang terjadi di Bumi adalah :

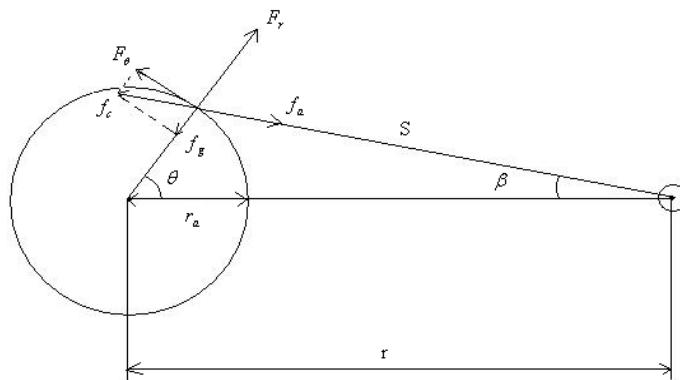
$$M \cdot \omega^2 \cdot r_e = G \frac{M \cdot m}{r^2} \tag{1}$$

Keseimbangan gaya yang terjadi di Bulan adalah :

$$m \cdot \omega^2 \cdot r_m = G \frac{M \cdot m}{r^2} \tag{2}$$

(1) Gaya Pembangkit Pasang Surut

Gaya yang bekerja pada suatu massa air di permukaan Bumi adalah gaya tarik Bulan, gaya gravitasi Bumi dan gaya sentrifugal pada sumbu revolusi bersama, dilukiskan pada gambar 4.



Gambar 4 Gaya yang bekerja pada satu unit massa air di permukaan Bumi.

f_c = gaya sentrifugal, yang diakibatkan Bumi-Bulan berevolusi, yang arahnya menjauhi Bulan dan sejajar dengan garis yang menghubungkan pusat Bumi-Bulan.

$$f_c = \omega^2 \cdot r_e \quad (3)$$

Dari persamaan (1) diperoleh :

$$f_c = G \frac{m}{r^2} \quad (4)$$

f_a = gaya tarik Bulan pada satu unit massa air di permukaan Bumi.

$$f_a = G \frac{m}{S^2} \quad (5)$$

S = jarak dari partikel air ke pusat massa Bulan.

f_g = gaya tarik Bumi pada satu unit massa partikel air adalah sama dengan percepatan gravitasi g.

$$f_g = g \quad (6)$$

Gaya tarik gravitasi Bumi pada satu satuan massa air di permukaan Bumi (g) :

$$g = G \frac{M}{r_a^2} \quad (7)$$

$$G = g \frac{r_a^2}{M} \quad (8)$$

Dari persamaan (4) dan (8) diperoleh :

$$f_c = g \frac{m}{M} \left(\frac{r_a}{r} \right)^2 \quad (9)$$

Dari persamaan (5) dan (8) didapat :

$$f_a = g \frac{m}{M} \left(\frac{r_a}{S} \right)^2 \quad (10)$$

Jumlah gaya-gaya tersebut pada persamaan (9), (10) dan (2.10) pada komponen radial (normal) dan tangensial seperti pada gambar 2.5 adalah :

Pada komponen normal :

$$F_r = -f_g - f_c \cdot \cos \theta + f_a \cdot \cos(\theta + \beta)$$

$$F_r = -g + g \left(\frac{m}{M} \right) r_a^2 \left[\frac{\cos(\theta + \beta)}{S^2} - \frac{\cos \theta}{r^2} \right] \quad (11)$$

Pada komponen tangensial :

$$F_\theta = g \left(\frac{m}{M} \right) r_a^2 \left[\frac{\sin \theta}{r^2} - \frac{\sin(\theta + \beta)}{S^2} \right] \quad (12)$$

Persamaan (11) dan (12) dapat disederhanakan bentuknya dengan menguraikan suku-suku yang terakhir dalam tanda kurung dan suku-suku yang tingkat lebih tinggi dari $\left(\frac{r_a}{r}\right)^2$ diabaikan. Pendekatan tersebut menghasilkan berikut ini :

$$F_r = -g + \frac{g}{2} \left(\frac{m}{M}\right) \left(\frac{r_a}{r}\right)^3 [1 + 3 \cos 2\theta] \quad (13)$$

Harga suku kedua dari persamaan (13) dapat diabaikan karena ordenya $\frac{1}{1000}$ dari suku pertamanya, sehingga gaya normalnya menjadi :

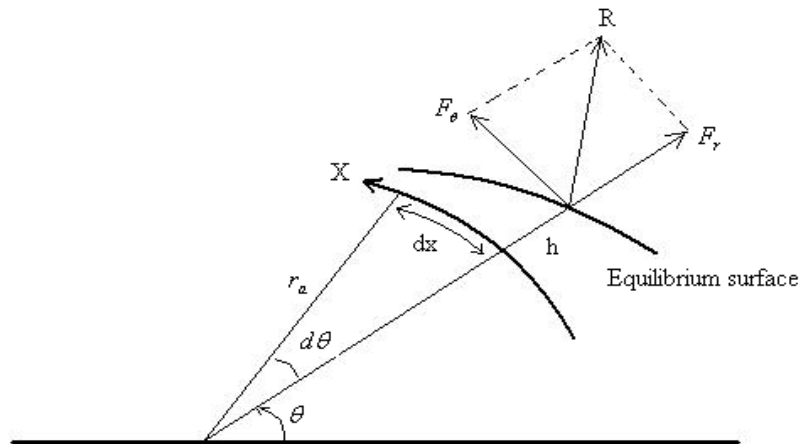
$$F_r = -g \quad (14)$$

Gaya tangensialnya :

$$F_\theta = -\frac{3}{2} g \left(\frac{m}{M}\right) \left(\frac{r_a}{r}\right)^3 \sin 2\theta \quad (15)$$

(2) Permukaan Pasang Surut Seimbang

Bentuk equilibrium dari permukaan air di bawah sistem gaya seperti dinyatakan dalam persamaan (14) dan (15) dapat dinyatakan sebagai resultante dari gaya lokal.



Gambar 5 Permukaan air equilibrium di bawah pengaruh gaya pembangkit Pasang surut.

Dari gambar 2.6 diperoleh hubungan :

$$\frac{dh}{dx} = \frac{dh}{r_a \cdot d\theta} = -\frac{F_\theta}{F_r} \quad (16)$$

Ketinggian pasut rata-rata, berdasarkan pengamatan selama empat bulan adalah 37,935 cm. Ketinggian rata-rata hasil perhitungan pasang surut air laut secara teori adalah 33,94 cm. Perbedaan hasil pengamatan ini disebabkan perhitungan teori yang dilakukan dengan tidak

memandang lintasan bumi-bulan dan bumi-matahari berupa elips, tetapi berupa lingkaran. Lintasan Bulan dalam revolusinya terhadap Matahari bukan berupa lintasan yang lurus. Sekali waktu Bulan berada lebih dekat ke Matahari, dibandingkan dengan Bumi. Dalam waktu lain Bulan mempunyai jarak lebih jauh ke Matahari dibandingkan dengan jarak Bumi ke Matahari.

DAFTAR PUSTAKA

- Dadang Kurniadi, Soenaryo, Mohammad Ali. 1982. *OSEANOGRAFI*. Jurusan Geofisika & Meteorologi – Institut Teknologi Bandung.
- Kamajaya. 1995. *FISIKA 2*. Ganeca Exact Bandung.
- Christian tobing.2001. *Menggagas Energi Alternatif, Memanfaatkan Pasang Surut Air Laut*. Surat Kabar dari Internet “Sinar Harapan, Senin, 16 Juli 2001”
- Untung Sumotarto. 2007. *Pemanfaatan Energi Pasang Surut*. Jurnal Saint dan Teknologi BPPT, Jakarta.
- Thicon Gunawan. 2008. *Pemanfaatan Energi Laut 2 : Pasang Surut*, Majari Magazine.
- Sri Woro B Harjiono. 2007. *Kenaikan Tinggi Muka Laut Akibat Fenomena Alam*. Departemen Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia, Jakarta, Kominfo-Newsroom.
- Heron Surbakti. 2007. *Pasang Surut*. Blog At WordPress.com.
- Wikipedia Indonesia, ensiklopedia. 2008. *Pasang Surut*. Wikimedia Foundation, Inc.
- Bayong Tjasyono HK. 1980. *Diktat METEOROLOGI*. Departemen Geofisika & Meteorologi – Institut Teknologi Bandung.