

**BAB III**  
**PASANG SURUT AIR LAUT**  
**PELABUHAN TANJUNG MAS SEMARANG**

**A. Konsep Umum Pasang Surut Air Laut**

Apabila kita mengamati pergerakan air laut di pantai dalam waktu yang cukup lama, maka kita akan merasakan bahwa kedalaman air dimana kita berpijak selalu berubah sepanjang waktu. Pada mulanya muka air terlihat rendah, beberapa waktu kemudian menjadi tinggi dan akhirnya mencapai maksimum. Setelah itu muka air menurun kembali sampai elevasi<sup>160</sup> terendah, meninggalkan batu karang dan pasir, serta pangkal pohon pun terbuka kemudian kering. Selanjutnya air laut naik kembali menggenangi pantai, sampai batu karang, pasir dan pangkal pohon-pohon tadi terendam sampai tinggi. Dinamika perubahan elevasi muka air laut tersebut merupakan gerakan air laut yang paling aneh diantara semua gerakannya.<sup>161</sup> Di Indonesia dinamika permukaan air laut tersebut dinamakan pasang surut (pasut) air laut.<sup>162</sup>

Pada masa lalu, manusia sangat takut melihat gerakan pasut air laut tersebut, sebab bumi ini dianggapnya bernafas seperti satu raksasa besar. Julius

---

<sup>160</sup> Dalam hal ini elevasi berarti daerah permukaan laut yang lebih tinggi dari permukaan laut lainnya. Lihat dalam: Pius Abdillah dan Danu Prasetyo, *Kamus Lengkap Bahasa Indonesia*, (Surabaya: Arkola), 2005, hal. 181.

<sup>161</sup> Mohamad Radjab, Ferdinand C. Lane, Terj. *Laut dan Kekajaannya*, (Jakarta: Bhratara), 1961, cet.2, terj. Mohamad Radjab, hal. 26

<sup>162</sup> Dalam bahasa Inggris dikenal dengan nama *Ocean Tides*. Lihat dalam: Sahala Hutabarat dan Stewart M. Evans, *Pengantar Oseanografi*, (Jakarta: Universitas Indonesia Press), 1986, cet III, hal. 99.

Caesar<sup>163</sup>, seorang kaisar Romawi, pernah menduga bahwa bulanlah yang menyebabkan adanya pasang, dan dugaannya memang benar, meskipun ia tidak tahu betul bagaimana caranya.<sup>164</sup> Baru sekitar abad ke-17, Sir Isaac Newton menemukan teori yang cukup relevan dengan fenomena ini. Newton menjelaskan pasang surut air laut sebagai fenomena alam yang berkaitan dengan hukum gravitasi universal.

### 1. Pengertian Pasang Surut Air Laut

Fenomena pasang surut air laut diartikan sebagai fenomena pergerakan naik turunnya permukaan air laut secara berkala yang diakibatkan oleh pengaruh dari kombinasi gaya gravitasi<sup>165</sup> dari benda-benda astronomis terutama matahari dan bulan serta gaya sentrifugal<sup>166</sup> bumi. Pengaruh gravitasi benda angkasa lain (selain bulan dan matahari) dapat diabaikan karena jaraknya lebih jauh atau ukurannya lebih kecil.<sup>167</sup>

---

<sup>163</sup> Gaius Julius Caesar (Latin: C·IVLIVS·C·F·C·N·CAESAR) (13 Juli 100 SM–15 Maret 44 SM) adalah seorang pemimpin militer dan politikus Romawi yang kekuasaannya terhadap Gallia Comata memperluas dunia Romawi hingga Oceanus Atlanticus, melancarkan serangan Romawi pertama ke Britania, dan memperkenalkan pengaruh Romawi terhadap Gaul (Perancis kini), sebuah pencapaian yang akibat langsungnya masih terlihat hingga kini.

[http://id.wikipedia.org/wiki/Julius\\_Caesar](http://id.wikipedia.org/wiki/Julius_Caesar), diakses pada hari kamis, 26 April 2012, jam 8:59 WIB.

<sup>164</sup> Mohamad Radjab, Ferdinand C. Lane, *op.cit.*, hal. 26

<sup>165</sup> Disebut juga gaya tarik massa, merupakan gaya terlemah di antara empat gaya-gaya fundamental yang memiliki andil dalam keteraturan alam semesta. Empat gaya fundamental tersebut adalah Gaya Nuklir Kuat, Gaya Nuklir Lemah, Gaya Elektromagnetik, dan Gaya Gravitasi. Lihat dalam: Ari Nilandary, Harun Yahya, Terj. *Keajaiban Dalam Atom*, (Bandung: Dzikro), 2003, hal. 27-31.

<sup>166</sup> Gaya Sentrifugal yaitu gaya yang menjauhi pusat, lihat dalam Pius Abdillah dan Danu Prasetyo, *Kamus Lengkap Bahasa Indonesia*, (Surabaya: Arkola), hal. 534. Lebih jelasnya lihat dalam: Francisca Petrajani, Paul Strather, Terj. *Newton dan Gravitasi*, (Jakarta: Erlangga), 2002, hal. 47.

<sup>167</sup> Hand out pelatihan Saroso, *Teori Pasang Surut*, (Jakarta: Dinas Hidro Oseanografi TNI AL), 2011.

Demikian pula pendefinisian menurut Newton, Pasang surut air laut (*Ocean tides*) diartikannya sebagai gerakan naik turunnya air laut terutama akibat pengaruh adanya gaya tarik menarik antara massa bumi dan massa benda-benda angkasa, khususnya bulan dan matahari.

Puncak elevasi<sup>168</sup> disebut pasang tinggi dan lembah elevasi disebut pasang rendah. Periode pasang surut (*Tidal Range*) adalah waktu antara puncak atau lembah gelombang ke puncak atau lembah gelombang berikutnya.<sup>169</sup> Dalam siklus bulanan, terjadi 2 kali pasang tinggi yang tertinggi dan pasang rendah yang terendah yaitu saat konjungsi dan oposisi.

Menurut teori gravitasi universal, besaran gaya gravitasi berbanding terbalik terhadap jarak. Oleh karena itu, meskipun ukuran bulan lebih kecil dari matahari, gaya tarik gravitasi bulan lebih besar daripada gaya tarik matahari dalam membangkitkan pasang surut laut karena jarak bulan ke bumi lebih dekat dari pada jarak matahari ke bumi.<sup>170</sup> Dalam hal ini sesuai dengan teori gravitasi Sir Isaac Newton yang termuat dalam buku *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, menyatakan bahwa besarnya gaya tarik menarik antara dua titik massa berbanding langsung dengan massanya dan berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya.

---

<sup>168</sup> Elevasi berarti daerah permukaan laut yang lebih tinggi dari permukaan laut lainnya. Lihat dalam: Pius Abdillah dan Danu Prasetyo, *Kamus Lengkap Bahasa Indonesia*, (Surabaya: Arkola), 2005, hal. 181.

<sup>169</sup> Soetjadi Wirjohamidjojo dan Sugarin, *Praktek Meteorologi Kelautan*, (Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika), 2008, hal 97-98.

<sup>170</sup> John Gribbin, *Fisika Modern*, (Jakarta: Erlangga), 2005, hal. 13.

Gaya tarik gravitasi menarik air laut ke arah bulan dan matahari sehingga menghasilkan beberapa tonjolan (*bulge*) pasang surut gravitasional di laut.<sup>171</sup> Dimana satu bagian terdapat pada permukaan bumi yang terletak paling dekat dengan bulan dan tonjolan yang lain terdapat pada bagian bumi yang letaknya paling jauh dari bulan. Lintang dari tonjolan pasang surut ditentukan oleh deklinasi bulan yang menghasilkan gravitasi yang relatif kuat menarik massa air yang menghadap sisi bumi yang langsung menghadap ke bulan.<sup>172</sup> Sedangkan di sisi bumi yang lain terdapat juga adanya tonjolan air karena gaya gravitasi bulan pada sisi ini berkekuatan jauh lebih lemah dari pada gaya sentrifugal bumi. Dua tonjolan massa air ini merupakan daerah-daerah yang saat itu mengalami pasang tinggi.<sup>173</sup> Dan seperti kita ketahui bahwa bumi ini berputar pada porosnya, maka pasang tinggi yang terjadi pun akan bergerak bergantian secara perlahan-lahan dari satu tempat ke tempat lain di permukaan bumi.<sup>174</sup>

Bulan sebagai objek utama penyebab terjadinya pasang surut air laut, selain mengelili bumi juga mengelilingi matahari bersama bumi. Oleh karena orbit matahari dan bulan yang berbentuk oval, maka sistem jarak bumi-bulan-

---

<sup>171</sup>Selain pasang surut air laut, gravitasi bulan juga mempengaruhi kecepatan rotasi bumi. Jadi semakin lama rotasi bumi akan semakin melambat. Hal ini juga mendorong bulan bergerak semakin menjauhi bumi. Lihat dalam: Terry Mahoney, *Astronomi*, (Jakarta: Elex media Komputindo), 2003, hal. 13.

<sup>172</sup> Sahala Hutabarat dan Stewart M. Evans, *Pengantar Oseanografi*, (Jakarta: Universitas Indonesia Press), 1986, cet III, hal. 100.

<sup>173</sup> Terry Mahoney, *loc.cit.*

<sup>174</sup> Sahala Hutabarat dan Stewart M. Evans, *loc.cit.*

matahari selalu berubah-ubah.<sup>175</sup> Di samping itu, matahari bersama bulan sama-sama menarik air laut yang menjadikannya pasang. Apabila bulan dan matahari berada pada satu garis langit, tarikannya menjadi lebih kuat. Tetapi kerap kali bulan dan matahari itu menarik dari jurusan yang berbeda-beda, dengan demikian maka kadang-kadang pasang itu sangat tinggi dan pada waktu lainnya sangat rendah.<sup>176</sup>

Gerakan pasang juga bergantung pada bentuk dasar laut. Di tengah-tengah samudra pasang itu naik dan surut tiga puluh sampai enam puluh sentimeter. Tetapi di banyak pantai, perbedaan mungkin beberapa meter. Pasang yang paling tinggi di dunia adalah yang masuk ke dalam Teluk Fundy di Nova Scotia, Kanada. Di sana air laut naik lebih dari lima belas meter.<sup>177</sup>

Pada beberapa tempat di dunia ini ada kalanya matahari lebih menguasai pasang dari pada bulan. Hal ini terjadi di pulau Tahiti yang terletak di tengah samudra Pasifik. Lain lagi di Manila yang hanya mengalami sekali pasang dalam sehari.<sup>178</sup>



Teluk Fundy saat surut



dan saat pasang

**Gambar 1**  
Ilustrasi Pasang Surut Ekstrim

<sup>175</sup> Heinz Frick, *Mekanika Teknik 1*, (Yogyakarta: Kanisius), 1979, hal. 21.

<sup>176</sup> Ferdinand C. Lane, *op.cit.*, hal. 28.

<sup>177</sup> *Ibid.*, hal. 29.

<sup>178</sup> Ferdinand C. Lane, *op.cit.*, hal. 29.

## 2. Jenis Dan Tipe Pasang Surut Air Laut

Jenis pasang surut teridentifikasi sebagai bentuk pengaruh gravitasi bulan dan matahari serta gaya sentrifugal bumi secara langsung terhadap pergerakan air laut. Adapun tipe pasang surut biasanya dipengaruhi oleh faktor lokalitas laut secara khusus, sehingga membedakan karakter pasang surut antara satu tempat dengan tempat yang lain.<sup>179</sup>

### a. Jenis Pasang Surut Air Laut.

- 1) Pasang purnama (*spring tide*) adalah pasang yang 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 (konjungsi dan oposisi).<sup>180</sup>
- 2) Pasang perbani (*neap tide*) adalah pasang yang 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.<sup>181</sup>

### b. Tipe Pasang Surut Air Laut

Tipe pasang ditentukan oleh frekuensi air pasang dan surut setiap harinya. Hal ini disebabkan karena perbedaan respon setiap lokasi

---

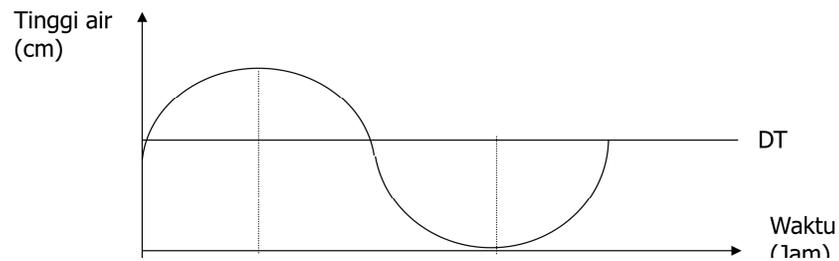
<sup>179</sup> Lihat juga dalam: Poerbondono dan Eka Djunasjah, *Survei Hidrografi*, (Bandung: Refika Aditama), 2005, hal. 51. Lihat juga dalam: Simamora, *Ilmu Falak: Kosmograsi*, (Jakarta: Pedjuang Bangsa), 1985, hal. 42-43.

<sup>180</sup> Joenil Kahar: *Geodesi*, (Bandung: ITB), 2008, hal. 144.

<sup>181</sup> *Ibid.*,

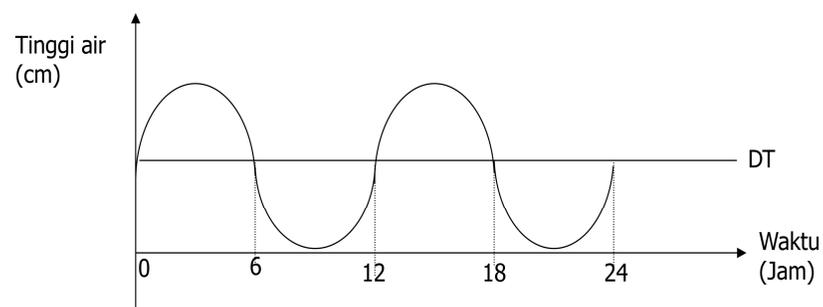
terhadap gaya pembangkit pasang surut. Sehingga terjadi tipe pasut yang berlainan di sepanjang pesisir.<sup>182</sup> Ada empat tipe pasut sebagai klasifikasi-nya, yaitu:

- 1) Pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*) yaitu bila dalam sehari terjadi satu kali pasang dan satu kali surut. Biasanya terjadi di laut sekitar katulistiwa. Periode pasang surut adalah 24 jam 50 menit.



Gambar 2  
Diurnal Tide

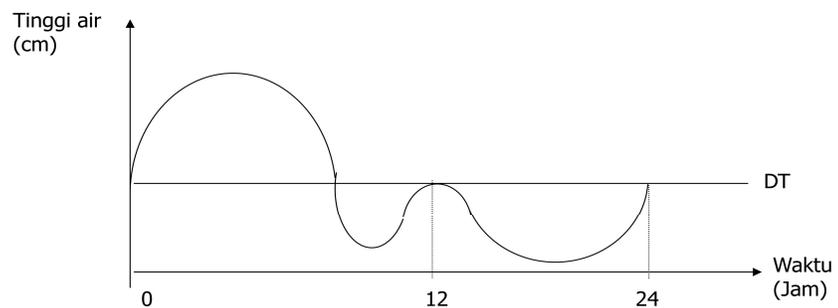
- 2) Pasang surut harian ganda (*Semi Diurnal Tide*) yaitu bila dalam sehari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut yang hampir sama tingginya.



Gambar 3  
Semi Diurnal Tide

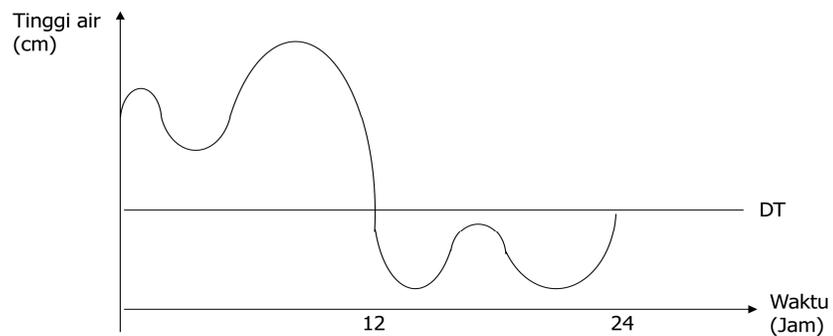
<sup>182</sup> Joenil Kahar: *Geodesi*, (Bandung: ITB), 2008, hal. 146-149.

- 3) Pasang surut campuran condong harian tunggal (*Mixed Tide Prevailing Diurnal*) merupakan pasut yang tiap harinya terjadi satu kali pasang dan satu kali surut tetapi terkadang dengan dua kali pasang dan dua kali surut yang sangat berbeda dalam tinggi dan waktu.



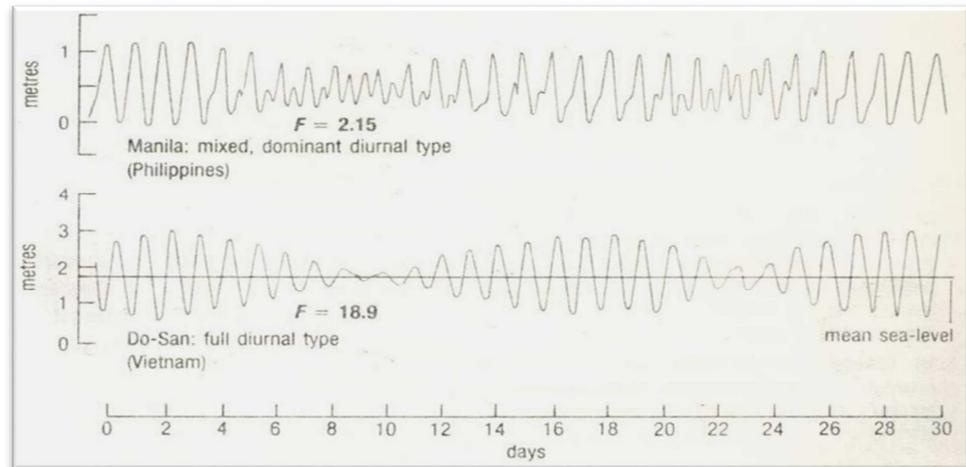
Gambar 4  
Mixed Tide Prevailing Diurnal

- 4) Pasang surut campuran condong harian ganda (*Mixed Tide Prevailing Semi Diurnal*) merupakan pasut yang terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam sehari tetapi terkadang terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dengan memiliki tinggi dan waktu yang berbeda.



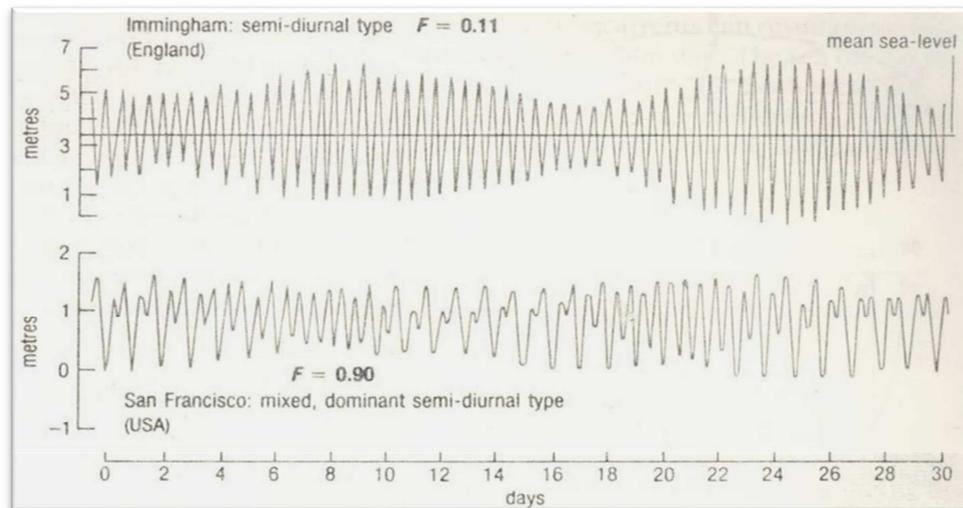
Gambar 5  
Mixed Tide Prevailing Semi Diurnal

Sebagai gambaran tentang tipe-tipe pasang surut air laut, berikut grafik pengamatan harian dalam 30 hari pasang surut air laut dari berbagai tempat:<sup>183</sup>



Gambar 6

Contoh pergerakan pasang surut diurnal dan mixed tides prevailing diurnal



Gambar 7

Contoh pergerakan pasang surut semi diurnal dan mixed tides prevailing semi diurnal

<sup>183</sup> Hand out pelatihan oleh Letkol Drs. KH. Saroso, M.Si, berjudul *Teori Pasang Surut*, (Jakarta: Dinas Hidro-Oseanografi TNI AL).

### 3. Teori Pasang Surut Air Laut

Menurut teori lama, naik turunnya permukaan laut (sea level) yang teratur disebabkan oleh gravitasi benda-benda langit terutama bulan dan matahari. Posisi benda-benda langit tersebut selalu berubah secara teratur terhadap bumi, sehingga besarnya kisaran pasang surut juga berubah secara teratur mengikuti perubahan tersebut. Namun, tampaknya teori ini belum mampu menjawab pertanyaan tentang Faktor yang berpengaruh terhadap dinamika pasang surut secara komprehensif, karena kenyataan yang ada sering tidak sesuai dengan teori ini.

Dengan alasan inilah kemudian muncul teori baru yang melengkapi teori lama. Teori baru menyatakan bahwa yang mempengaruhi dinamika pasang surut air laut -selain gravitasi bulan dan matahari- adalah keadaan laut secara lokal. Meliputi kedalaman, luas, dan gesekan laut. Teori baru ini juga menyertakan rotasi bumi sebagai faktor yang berpengaruh terhadap dinamika pasang surut air laut.

#### a. Teori Kesetimbangan (*Equilibrium Theory*)

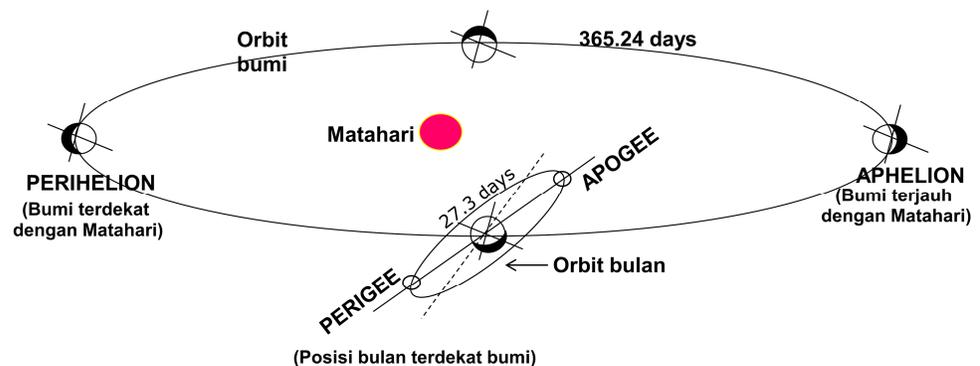
Teori kesetimbangan<sup>184</sup> pertama kali diperkenalkan oleh Sir Isaac Newton<sup>185</sup> (1642-1727). Teori ini menerangkan sifat-sifat pasang surut secara kualitatif. Teori diasumsikan pada bumi ideal berbentuk bulat

---

<sup>184</sup> Setimbang artinya sama beratnya, sama kedudukannya, sepadan . lihat dalam Pius Abdillah dan Danu Prasetya, *Kamus Lengkap Bahasa Indonesia*, (Surabaya: Arkola), hal. 578.

<sup>185</sup> Ilmuan inggris yang menemukan teori gravitasi. Lahir di Woolstrophe sebuah tempat di Lincolnshire, Inggris pada 25 Desember 1642. Lihat dalam: Francisca Petrajani, Paul Strather, Terj. *Newton dan Gravitasi*, (Jakarta: Erlangga), 2002, hal. 1.

sempurna yang seluruh permukaannya ditutupi oleh air dengan distribusi massa yang seragam dan pengabaian terhadap pengaruh kelembaman<sup>186</sup> (*Inertia*). Kesetimbangan juga diasumsikan dengan kedalaman laut dan densitas yang sama antara naik dan turunnya elevasi permukaan laut yang sebanding dengan gaya pembangkit pasang surut (*Tide Generating Force*) yaitu *Resultante* gaya gravitasi bulan matahari dan gaya sentrifugal bumi.<sup>187</sup> Teori ini berkaitan dengan hubungan antara laut, massa air yang naik, bulan, dan matahari. Gaya pembangkit pasang surut akan menimbulkan air tinggi pada dua lokasi dan air rendah pada dua lokasi.



Gambar 8  
Sistem Matahari-Bumi-Bulan

<sup>186</sup> Lembam maksudnya materi yang menghambat perubahan keadaan gerak benda materi tersebut. lihat dalam: Pius Abdillah dan Danu Prasetya, *Kamus Lengkap Bahasa Indonesia*, (Surabaya: Arkola), hal. 368.

<sup>187</sup> <http://www.ilmukelautan.com/oseanografi/fisika-oseanografi/402-pasang-surut>, diakses pada hari Kamis, 12 april 2012, jam 11:42.

Pembangkit pasang surut sendiri dijelaskannya dengan teori gravitasi universal, yang menyatakan bahwa pada sistem dua massa  $m_1$  dan  $m_2$  akan terjadi gaya tarik menarik sebesar  $F$  di antara keduanya yang besarnya sebanding dengan perkalian massanya dan berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya.

Menurut teori kesetimbangan, untuk memahami gaya pembangkit pasang surut perlu dilakukan pendekatan dengan pemisahan pergerakan sistem bumi-bulan-matahari menjadi 2 sistem, yaitu sistem bumi-bulan dan sistem bumi-matahari.<sup>188</sup>

#### 1) Sistem Bumi-Bulan

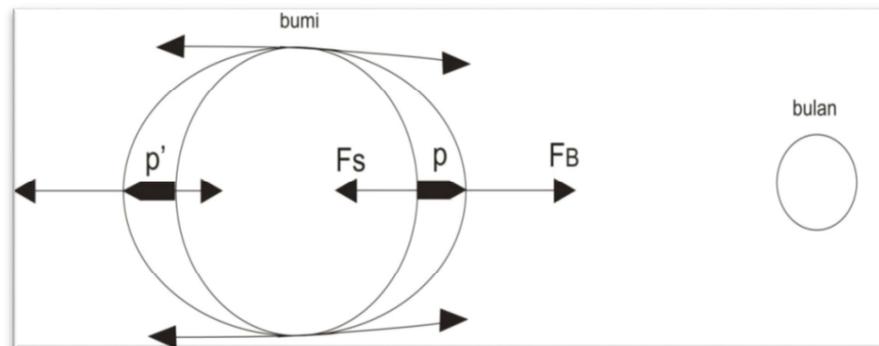
Pada sistem bumi-bulan, gaya-gaya pembangkit pasang surut adalah resultan<sup>189</sup> gaya-gaya yang menyebabkan terjadinya pasang surut, yaitu: gaya sentrifugal sistem bumi-bulan ( $F_S$ ) dan gaya gravitasi bulan ( $F_B$ ).  $F_S$  bekerja dalam persekutuan pusat bumi-bulan yang titik massanya terletak sekitar  $\frac{3}{4}$  jari-jari bumi dari titik pusat bumi.  $F_S$  bekerja dengan kekuatan yang seragam di seluruh titik di permukaan bumi dengan arah yang selalu menjauhi bulan dan garis yang sejajar dengan garis yang menghubungkan pusat bumi dan

---

<sup>188</sup><http://www.ilmukelautan.com/oseanografi/fisika-oseanografi/402-pasang-surut>, diakses pada hari Kamis, 12 april 2012, jam 11:42. Lihat juga dalam: Hand out pelatihan oleh Letkol Drs. KH. Saroso, M.Si, berjudul *Teori Pasang Surut*, (Jakarta: Dinas Hidro-Oseanografi TNI AL).

<sup>189</sup> Resultan, dalam hal ini dimaksudkan gaya penyebab terjadinya pasang surut air laut, yaitu gaya gravitasi bulan dan matahari serta gaya sentrifugal bumi. Lihat referensinya dalam: Pius Abdillah dan Danu Prasetya, *op.cit.*, hal. 509.

bulan. Besar  $F_B$  tergantung pada jarak pusat massa suatu titik partikel air di permukaan bumi terhadap pusat massa bulan. Resultant  $F_S$  dan  $F_B$  menghasilkan gaya pembangkit pasang surut di sekujur permukaan bumi.<sup>190</sup>



Gambar 9

Arah gaya sentrifugal dan gaya gravitasi bulan yang bekerja di permukaan bumi

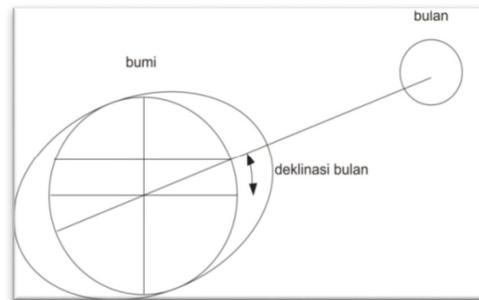
Pada titik P yang lokasinya terdekat dengan bulan dan segaris dengan sumbu bumi-bulan, gaya gravitasi bulan yang bekerja pada titik pengamat tersebut lebih besar dibanding dengan gaya sentrifugalnya ( $F_B > F_S$ ). Di titik P badan air tertarik menjauhi bumi ke arah bulan.<sup>191</sup> Seiring dengan menjauhnya lokasi titik pengamat terhadap bulan, gaya gravitasi yang bekerja pada titik-titik di permukaan bumi pun akan semakin mengecil. Di titik P' gaya sentrifugal lebih dominan dibanding gaya gravitasi bulan ( $F_B < F_S$ ), sehingga badan air tertarik menjauhi bumi pada arah menjauhi bulan.

<sup>190</sup> Poerbondono dan Eka Djunasjah, *op.cit.*, hal. 51-52.

<sup>191</sup> Pusat massa bersama sistem bumi-bulan terletak sekitar 1600 km di bawah permukaan bumi di sisi yang menghadap bulan. Bayong Tjasyono, *Ilmu Kebumihan dan Antariksa*, (Bandung: Remaja Rosda Karya), 2009, cet 3, hal 66.

Dinamika pergerakan pasang surut air laut juga diidentifikasi akibat dari kedudukan bulan terhadap bumi. Yaitu dari bentuk ellips orbit bulan<sup>192</sup> dan kemiringan bidang orbit (inklinasi) tersebut terhadap bidang ekliptika<sup>193</sup>. Bentuk ellips bulan menempatkan bumi pada salah satu titik apinya<sup>194</sup>. Jarak terjauh bumi-bulan disebut *perigee*<sup>195</sup> dan terdekat *apogee*<sup>196</sup>. Pada setiap bulan sinodis terjadi masing-masing satu kali *perigee* yang menyebabkan potensi pasang surut lebih kecil dibandingkan potensi pasang surut pada saat *apogee*.<sup>197</sup>

Kemiringan bidang orbit bulan diketahui sekitar  $5^\circ$  dari bidang ekliptika dan sekitar  $28^\circ$  dengan bidang ekuator langit.<sup>198</sup> Dengan demikian, inklinasi bidang orbit bulan tersebut mengakibatkan variasi potensi pasang surut yang dapat ditinjau berdasarkan de-



**Gambar 10**  
dinamika pasang surut akibat deklinasi bulan

<sup>192</sup> Orbit bulan berbentuk ellips dengan eksentrisitas 0.055. lihat dalam: Bayong Tjasyono, *Ilmu Kebumihan dan Antariksa*, (Bandung: Remaja Rosda Karya), 2009, cet 3, hal. 37.

<sup>193</sup> Ekliptika adalah lingkaran yang ditempuh matahari dalam setahun. Bidang ekliptika dan bidang ekuator membentuk sudut  $23,5^\circ$ . lihat dalam: Simamora, *Ilmu Falak Kosmografi*, (Jakarta: Pedjuang Bangsa), 1985, hal. 31.

<sup>194</sup> Jarak rata-rata bulan-bumi adalah  $384 \times 10^3$  km. Bayong Tjasyono, *op.cit.*, hal. 37,

<sup>195</sup> Berasal dari bahasa Yunani *peri*; dekat dan *ge*; bumi, jarak *perigee* adalah 222.000 mil. Lihat dalam: *Ibid.*, hal. 39.

<sup>196</sup> Berasal dari bahasa Yunani *ap*; jauh dan *ge*; bumi, jarak *apogee* adalah 253.000 mil. *Ibid.*,

<sup>197</sup> Joenil Kahar: *Geodesi*, (Bandung: ITB), 2008, hal. 145.

<sup>198</sup> *Ibid.*, Lihat juga dalam: hand out pelatihan oleh Letkol Drs. KH. Saroso, M.Si, berjudul *Teori Pasang Surut*, (Jakarta: Dinas Hidro-Oceanografi TNI AL).

klinasi bulan. Bidang inklinasi bulan memotong bidang ekuator langit pada dua titik. Hal ini mengakibatkan bulan berada pada posisi deklinasi  $0^\circ$  dua kali periode sinodis. Implikasinya, posisi bulan akan tepat pada garis ekuator langit dua kali dalam satu bulan.

## 2) Sistem Bumi-Matahari

Sebagaimana bulan, matahari juga memiliki pengaruh pada variasi pasang surut yang terjadi. Namun bedanya, pengaruh gravitasi matahari lebih kecil dari pada gravitasi bulan dalam membangkitkan pasang surut walaupun ukuran matahari jauh lebih besar dari bulan. Hal ini disebabkan jarak bulan lebih dekat dari pada jarak matahari ke bumi. Perbandingan gravitasi bulan dan matahari terhadap bumi diketahui sekitar 1 : 0,46.<sup>199</sup> perbedaan gaya gravitasi tersebut mengakibatkan dua pasang tinggi yang berbeda dalam satu hari pada suatu tempat. Dinamika pasang surut pada tempat tersebut disebut sebagai pasang surut harian ganda (semi diurnal).<sup>200</sup>

Pada sistem bumi-matahari, selain gaya gravitasi matahari, resultan gaya-gaya yang menyebabkan terjadinya pasang surut air laut adalah gaya sentrifugal sistem bumi-matahari. Hal ini serupa dengan sistem bumi-bulan namun dengan komponen yang berbeda.<sup>201</sup> Pada

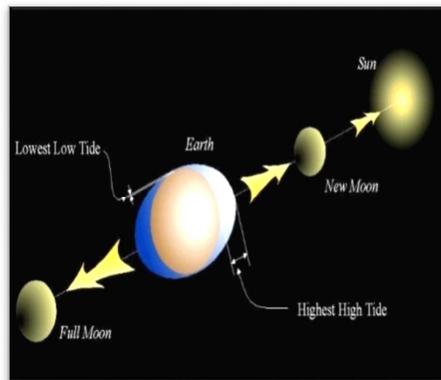
---

<sup>199</sup> Poerbondono dan Eka Djunasjah, *Survei Hidrografi*, (Bandung: Refika Aditama), 2005, hal. 51-52.

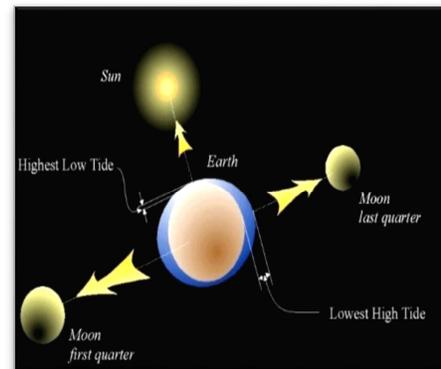
<sup>200</sup> Saroso, *loc.cit.*

<sup>201</sup> *Ibid.*,

waktu tertentu, gaya sentrifugal bumi dan gravitasi bulan-matahari tersebut saling berinteraksi membentuk satu gabungan gaya gravitasi terbesar, sehingga mengakibatkan pasang terbesar pula. terjadi ketika bumi, bulan, dan matahari berada pada garis lurus yang disebut sebagai konjungsi dan oposisi.<sup>202</sup>



**Gambar 11**  
interaksi bulan dan matahari pada spring tide



**Gambar 12**  
interaksi bulan dan matahari pada neap tide

Potensial pasang surut air laut juga bergantung pada jarak bumi-matahari. Oleh karena bumi mengelilingi matahari melalui lintasan yang berbentuk ellips, maka jarak antara bumi dan matahari dalam satu tahun akan bervariasi. Jarak terdekat disebut *perihelion* (0,983 AU) dan yang terjauh adalah *aphelion* (1.013 AU). Setiap tahun perihelion terjadi pada minggu pertama Juli, dan aphelion pada minggu pertama Januari.<sup>203</sup> Dengan memperhatikan posisi *perihelion* dan *aphelion* matahari serta *perigee* dan *apogee* bulan, maka dapat

<sup>202</sup> Hand out pelatihan oleh Letkol Drs. KH. Saroso, M.Si, berjudul *Teori Pasang Surut*, (Jakarta: Dinas Hidro-Oseanografi TNI AL).

<sup>203</sup> Joenil Kahar: *Geodesi*, (Bandung: ITB), 2008, hal. 145.

diperkirakan bahwa dinamika elevasi permukaan air laut ketika terjadi pasang surut akan selalu berubah mengikuti perubahan posisi matahari dan bulan setiap saat dengan siklus yang mengikuti selisih waktu pergerakan matahari dan bulan.

Demikian pula deklinasi matahari dan kemiringan (inklinasi) bidang orbit matahari terhadap ekuator langit mempengaruhi dinamika pasang surut air laut sebagaimana halnya bulan. Deklinasi matahari sekitar  $23^{\circ} 27'$  merupakan akibat inklinasi bidang orbit matahari dengan besar sudut yang sama. Pengaruh matahari dan bulan dengan deklinasi yang berbeda-beda menjadikan dinamika pasang surut air laut semakin bervariasi antara satu tempat dengan tempat yang lain.<sup>204</sup>

#### **b. Teori Pasang surut Dinamik (*Dynamical Theory*)**

Teori pasang surut dinamik berpedoman bahwa lautan yang homogen masih diasumsikan menutupi seluruh bumi pada kedalaman yang konstan, tetapi gaya-gaya tarik periodik dapat membangkitkan gelombang dengan periode sesuai dengan konstitue-konstituennya. Karakteristik pasang surut yang terbentuk dipengaruhi oleh karakter laut secara lokal.<sup>205</sup> Teori ini pertama kali dikembangkan oleh Laplace (1796-

---

<sup>204</sup> Hand out pelatihan oleh Letkol Drs. KH. Saroso, M.Si, berjudul *Teori Pasang Surut*, (Jakarta: Dinas Hidro-Oseanografi TNI AL) .

<sup>205</sup><http://www.ilmukelautan.com/oseanografi/fisika-oseanografi/402-pasang-surut>, diakses pada hari Kamis, 12 april 2012, jam 11:42.

1825). Teori dinamik melengkapi teori kesetimbangan sehingga sifat-sifat pasang surut dapat diketahui secara kuantitatif.

Menurut teori dinamis, gaya pembangkit pasut menghasilkan gelombang pasut (*tide wave*) yang periodenya sebanding dengan gaya pembangkit pasut. Karena terbentuknya gelombang, maka terdapat faktor lain yang perlu diperhitungkan selain gaya pembangkit pasang surut. Menurut Defant, faktor-faktor tersebut adalah: kedalaman perairan dan luas perairan, pengaruh rotasi bumi (gaya Coriolis), gesekan dasar laut.

Selain itu juga terdapat beberapa faktor lokal yang dapat mempengaruhi pasut di suatu perairan seperti, topografi dasar laut, lebar selat, bentuk teluk, dan sebagainya, sehingga berbagai lokasi memiliki ciri pasang surut yang berlainan.<sup>206</sup>

Rotasi bumi menyebabkan semua benda yang bergerak di permukaan bumi akan berubah arah (*Coriolis Effect*). Di belahan bumi utara benda membelok ke kanan, sedangkan di belahan bumi selatan benda membelok ke kiri. Pengaruh ini tidak terjadi di equator, tetapi semakin meningkat sejalan dengan garis lintang dan mencapai maksimum pada kedua kutub. Besarnya juga bervariasi tergantung pada kecepatan pergerakan benda tersebut.<sup>207</sup>

---

<sup>206</sup> Hand out pelatihan oleh Letkol Drs. KH. Saroso, M.Si, berjudul *Teori Pasang Surut*, (Jakarta: Dinas Hidro-Oseanografi TNI AL).

<sup>207</sup> *Op.cit.*

Kecepatan rotasi bumi pada sumbunya teridentifikasi terlalu cepat bagi massa air, sehingga keterlambatan samudera merespon gaya penggerak pasang surut merupakan hal yang pasti, mengingat samudera tidak memiliki cukup waktu untuk membangun pasang surut dengan segera.<sup>208</sup> Hal ini juga telah diungkapkan oleh Mac Millan, menurutnya gaya Coriolis mempengaruhi arus pasut dengan faktor gesekan dasar yang dapat mengurangi periode pasut dan menyebabkan keterlambatan fase (*Phase lag*), serta mengakibatkan persamaan gelombang pasut menjadi non linier. Semakin dangkal perairan maka semakin besar pengaruh gesekannya.<sup>209</sup>

#### **4. Konsep Prediksi Pasang Surut Air Laut**

Mengingat pasang surut air laut yang dapat dijelaskan dengan teori gravitasi universal dan teori gerak periodik benda-benda langit, maka pasang surut air laut juga bisa dijelaskan secara matematis. Hal ini merupakan logika yang jelas dapat diaplikasikan karena konsep matematis fenomena-fenomena alam lain yang terkait tersebut telah terlebih dahulu dapat dirumuskan.

Dengan demikian, bukanlah hal yang mustahil jika pada suatu tempat dapat diprediksi potensi dan dinamika pasang surut air lautnya. Hal ini dikarenakan kajian pasang surut secara matematis sudah mampu merepresentasikan keakuratan pasang surut air laut secara nyata. Prediksi

---

<sup>208</sup> Saroso, *loc.cit.*

<sup>209</sup> *Op.cit.*

pasang surut ditujukan untuk memperoleh informasi tinggi muka laut di masa mendatang pada saat dan lokasi tertentu. Hasil prediksi ditampilkan dalam tabel yang berisi jam dan tinggi muka air. Tabel-tabel prediksi pasang surut di beberapa lokasi dipublikasikan dalam sebuah buku pasang surut.<sup>210</sup>

Untuk memprediksi pasang surut, diperlukan data amplitudo dan beda fase dari masing-masing komponen pembangkit pasang surut. Komponen-komponen utama pasang surut terdiri dari komponen tengah harian dan harian. Namun demikian, karena interaksinya dengan bentuk (morfologi) pantai dan superposisi antar gelombang pasang surut komponen utama, akan terbentuklah komponen-komponen pasang surut yang baru.<sup>211</sup>

Cara untuk menyajikan informasi prediksi tinggi muka air adalah dengan cotidal chart. Co-tidal chart dibangun dengan interpolasi (tunggang atau keterlambatan fase pasang surut) dari beberapa stasiun pengamat pasang surut. Dari interpolasi terhadap tunggang atau keterlambatan fase pasang surut tersebut. Interpolasi terhadap tunggang atau keterlambatan fase pasang surut tersebut akan didapatkan masing-masing corange dan cophase chart. Penyajian dengan cara ini memberi informasi tinggi muka air pada lokasi-lokasi yang tidak tersedia stasiun pengamat pasang surut.<sup>212</sup>

---

<sup>210</sup> Poerbondono dan Eka Djunasjah, *Survei Hidrografi*, (Bandung: Refika Aditama), 2012, cet.2, hal. 67

<sup>211</sup> Prediksi pasut ditujukan untuk memperoleh informasi tinggi permukaan laut di masa mendatang pada saat dan lokasi tertentu. Lihat dalam: Poerbondono dan Eka Djunasjah, *Survei Hidrografi*, (Bandung: Refika Aditama), 2005, hal. 67.

<sup>212</sup> *Ibid.*, hal. 67-68.

Prediksi pasang surut dilakukan dengan menurunkan atau mencari komponen-komponen pasang surut dari data pasang surut dalam rentan pengamatan tertentu. Pendekatan yang dipakai untuk mendapatkan komponen-komponen pasang surut adalah analisis harmonik. Cara yang lazim dipakai adalah metode admiralty atau kuadrat kecil. Penggunaan metode admiralty biasanya diterapkan pada panjang data 15-29 piantan dengan interval waktu pengamatan 1 jam. Untuk data dengan interval waktu pengamatan yang lebih kecil dengan rentan waktu pengamatan yang lebih panjang, metode kuadrat terkecil cukup efektif dipakai untuk mendapatkan komponen-komponen harmonik dari data pengamatan pasang surut.<sup>213</sup>

Metode admiralty dikembangkan oleh A.T. Doodson, Direktur Tidal Institute di Liverpool dan digunakan untuk keperluan kantor hidrografi Inggris, yaitu British Admiralty. Doodson mengembangkan sistematika pengolahan data pengamatan pasang surut dengan bantuan skema dan tabel-tabel perkalian. Dengan metode ini, ada sembilan komponen pasang surut yang dapat diturunkan. Metode kuadrat terkecil didasarkan pada penentuan tinggi muka air model yang memberikan kuadrat kesalahan terhadap tinggi muka pengamatan yang minimum.<sup>214</sup>

---

<sup>213</sup> *Ibid*, hal.68.

<sup>214</sup> Poerbondono dan Eka Djunasjah, *Survei Hidrografi*, (Bandung: Refika Aditama), 2012, cet.2, hal.68-69.

## **B. Pasang Surut Air Laut Pelabuhan Tanjung Mas Semarang.**

### **1. Pasang Surut Lautan Nusantara**

Indonesia merupakan negara kepulauan yang dikelilingi oleh dua lautan yaitu Samudera Hindia dan Samudera Pasifik, serta posisinya yang berada di garis katulistiwa sehingga kondisi pasang surut, angin, gelombang, dan arus laut cukup besar. Hasil pengukuran tinggi pasang surut di wilayah laut Indonesia menunjukkan beberapa wilayah lepas laut pesisir daerah Indonesia memiliki pasang surut cukup tinggi, antara lain wilayah laut di timur Riau, laut dan muara sungai antara Sumatera Selatan dan Bangka, laut dan selat di sekitar pulau Madura, pesisir Kalimantan Timur, dan muara sungai di selatan pulau Papua.<sup>215</sup>

Keadaan pasang surut di perairan Nusantara ditentukan oleh penjalaran pasang surut dari Samudra Pasifik dan Hindia serta morfologi pantai dan batimetri<sup>216</sup> perairan yang kompleks dimana terdapat banyak selat, palung dan laut yang dangkal serta laut dalam. Keadaan perairan tersebut membentuk pola pasang surut yang beragam.

---

<sup>215</sup><http://www.ilmukelautan.com/oseanografi/fisika-oseanografi/402-pasang-surut>, diakses pada hari Kamis, 12 april 2012, jam 11:42.

<sup>216</sup>Batimetri merupakan relief dasar perairan, susunan dari garis-garis kedalaman (kontur).

Di Selat Malaka pasang surut setengah harian (*semidiurnal*) mendominasi tipe pasang surut di daerah tersebut. Berdasarkan pengamatan pasang surut di Kabil, Pulau Batam diperoleh bilangan Formzhal sebesar 0,69 sehingga pasang surut di Pulau Batam dan Selat Malaka pada umumnya adalah pasut bertipe campuran dengan tipe ganda yang menonjol (tipe *mixed tides prevailing semi diurnal*). Pasang surut harian (*diurnal*) terdapat di Selat Karimata dan Laut Jawa pada umumnya. Berdasarkan pengamatan pasut di Tanjung Priok diperoleh bilangan Formzhal sebesar 3,80. Sehingga tipe pasut di Teluk Jakarta dan laut Jawa pada umumnya adalah pasut bertipe tunggal.<sup>217</sup>

Tunggang pasang surut di perairan Indonesia bervariasi antara 1 sampai dengan 6 meter. Di Laut Jawa umumnya tunggang pasang surut antara 1 – 1,5 m kecuali di Selat Madura yang mencapai 3 meter. Tunggang pasang surut 6 meter dijumpai di Papua.<sup>218</sup>

Adapun Laut Jawa, merupakan laut dangkal dengan kedalaman rata-rata sedalam 40 m. Disamping itu, karena Laut Jawa terletak pada poros jalur hembusan Angin Muson, maka arus laut di Laut Jawa juga sangat dipengaruhi oleh Angin Muson, yaitu arus akan mengalir ke arah timur pada musim barat dan kearah barat pada musim timur.<sup>219</sup>

---

<sup>217</sup><http://www.ilmukelautan.com/oseanografi/fisika-oseanografi/402-pasang-surut>, diakses pada hari Kamis, 12 april 2012, jam 11:42.

<sup>218</sup>*Ibid.*

<sup>219</sup> Djoko Setyadjit, *Karakteristik Pasang Surut Perairan Jawa Tengah*, disajikan dalam rangka temu pasang surut nasional 2002 di Semarang 3 Oktober 2002.

## 2. Pasang Surut Pelabuhan Tanjung Mas Semarang

Pelabuhan Tanjung mas adalah satu-satunya pelabuhan yang berada di kota Semarang. Berlokasi di Salah satu wilayah pesisir Kota Semarang yang diperuntukkan sebagai pusat kegiatan ekonomi pesisir. Kota Semarang sendiri terletak di pantai utara Jawa Tengah, pada posisi  $6^{\circ} 5' 7''$  LS dan  $110^{\circ} 35' 28''$  BT, dengan luas mencapai 37.366.838 Ha atau  $373,7 \text{ km}^2$ .<sup>220</sup> Dengan koordinat pelabuhan pada posisi  $6^{\circ} 58'$  LS dan  $110^{\circ} 25'$  BT.

Pelabuhan Tanjung Emas Semarang sudah termasuk dalam kategori pelabuhan C, yaitu pelabuhan yang dapat melayani bongkar muat dan keluar masuk kapal selama 24 jam apabila diperlukan. Dengan demikian Pelabuhan Laut Tanjung Emas merupakan pintu gerbang ekspor dan impor untuk berhubungan dengan pelabuhan internasional.<sup>221</sup>

Secara umum, perairan lepas pantai utara Jawa Tengah merupakan bagian dari Laut Jawa, dengan kedalaman rata-ratanya berkisar 40 m. Sehingga perairan lautnya pun digolongkan pada laut dangkal. Pasang surut di perairan Laut Jawa dan sekitar lebih dipengaruhi oleh pasang surut dari Samudra Pasifik

---

<sup>220</sup> Agung Riyadi, dkk, *Kajian Kualitas Perairan laut kota Semarang Dan kelayakannya Untuk Budidaya Laut*, (Jakarta: badan pengkajian dan penerapan teknologi) , 2005, td.

<sup>221</sup> Maskur, *Kajian Pengaruh Keberadaan Pelabuhan Tanjung Mas Terhadap Lingkungan Masyarakat, Studi Kasus: Kelurahan Bandarharjo dan Tanjungmas*, 2003, (Semarang, Jurusan Perencanaan Wilayah Dan Kota, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro), td.

yang merambat melalui Selat Makasar ke arah barat dan dari Laut Cina Selatan ke arah selatan.<sup>222</sup>

Tipe pasang surut suatu perairan ditentukan oleh frekuensi air pasang dan surut perhari. Dari data pasang surut yang diperoleh DISHIDROS-AL (Dinas Hidrografi-Oceanografi Angkatan Laut) dan laboratorium ITB, tipe pasang surut di perairan antara Kepulauan Karimun Jawa dan sekitarnya sampai dengan perairan Semarang dapat diketahui, seperti yang tersaji pada tabel berikut ini:

Stasiun	Nilai F
Karimun Jawa )*	3,86
Rembang )*	9,33
Lemah Abang )*	3,38
Demak )*	1,61
Tambak Lorok )*	1,84
Semarang )**	1,67

Sumber: )\* Laboratorium Oseanografi, ITB

)\*\* DISHIDROS-AL

**Table 1**  
**Nilai Formzahl Pasang Surut**  
**Di sekitar Karimun Jawa sampai Perairan Semarang**

Dengan memperhatikan nilai formzhal (pada kolom nilai F) dapat diketahui bahwa pasang surut di perairan lepas pantai sekitar Karimun Jawa bertipe tunggal (*diurnal*), dicirikan pada nilai F sebesar 3,86. Pasang surut bertipe tunggal ini juga didapati di perairan pantai utara Jawa, sekitar rembang hingga Lemah Abang (dimana nilai F-nya secara berurutan adalah 9,33 dan

<sup>222</sup> Djoko Setyadjit, *loc.cit.*

3,38).<sup>223</sup> Akan tetapi menuju barat, dari perairan Demak hingga Tambak Lorok, tipe pasang surutnya berubah menjadi campuran dengan dominasi tunggal (tipe *mixed tides prevailing diurnal*). Nilai F untuk kedua stasiun ini secara berurutan adalah 1,61 dan 1,84. Tipe pasang surut di Semarang juga menunjukkan tipe pasang surut campuran dengan dominasi tunggal (nilai F = 1,67).

Dari penelitian laboratorium oceanografi ITB, didapatkan informasi bahwa kisaran pasang surut di laut lepas (ditunjukkan oleh stasiun di Karimun Jawa) lebih kecil dibandingkan dengan yang terdapat disepanjang pantai utara Jawa (Rembang, Demak, dan Tambak Lorok). Jika di Karimun Jawa kisaran pasang surut mencapai sekitar 70 cm, maka kisaran pasang surut di pantai utara adalah 100 cm hingga 130 cm.<sup>224</sup>

Arus di suatu perairan utama disebabkan oleh angin dan pasang surut. Besarnya kontribusi masing-masing faktor terhadap kekuatan dan arah arus yang ditimbulkan tergantung pada tipe perairan (pantai dan laut lepas) dan keadaan geografisnya. Hasil pengukuran yang dilakukan oleh BPPT-Oceanor di perairan lepas pantai Jepara memperlihatkan bahwa arus di perairan tersebut sangat dipengaruhi oleh pasang surut. Tipe pasang surut suatu perairan ditentukan oleh frekuensi air pasang dan surut perhari.<sup>225</sup>

---

<sup>223</sup> Djoko Setyadjit, *Loc. Cit.*

<sup>224</sup> *Ibid.*

<sup>225</sup> *Ibid.*, lihat juga Warsito Atmojo, *Analisis Pasang Surut Di Pantai Kartini Jepara Dengan Metode Kwadrat Terkecil*, 2000, (Semarang: Universitas Diponegoro), td.