

PERANAN GELOMBANG PANJANG TERHADAP SIRKULASI ARUS GLOBAL

(The Influence of Long Wave Upon The Global Current Circulation)

Fendry Yandi Samuel Mamengko

*Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Papua
Jl. Gunung Salju Amban Manokwari Papua Barat
email vendry2000@yahoo.com*

ABSTRACT

The global surface current system forms a large scale current circulation pattern known as gyra, which occurs in the Pasific, Hindia, and Atlantic oceans. At the northern equator, the gyra circulation is counterclockwise, while it is anti counterclockwise at the southern equator. The trade wind crossing the Equatorial ocean causes a different slope and influences the slope form. The response of the sea level slope can be only described by the sea level perturbation concept that the disturbance moves as pulse wave which travel alongside equatorial ocean. The effects of the Rossby and Kelvin waves propagation on the ocean circulation depend on the latitude. At the middle and high latitudes, the Rossby wave experiences the change of the surface wind stress which has more influence in the ocean near western boundaries than that in the near eastern boundaries. At low latitude, the Rossby and Kelvin waves propagations is located at the equatorial wave guide. Along the equatorial wave guide, the Kelvin wave propagates easterly. This wave is then split into 2 directions as the wave moves towards the eastern boundary. The first direction goes to the northern equator. The other moves towards the southern equator, which eventually becomes the coastal Kelvin wave. A part of the Kelvin wave is reflected to produce the equatorial Rossby wave. Because of the equator plays important roles as wave guides, the low latitude ocean responds more to the variability of the wind flow than that at the high latitude.

Keywords. *Kelvin wave, Rossby wave, gyra*

PENDAHULUAN

Arus laut pada hakekatnya timbul akibat pemanasan yang tidak merata pada permukaan bumi. Pemanasan yang tidak merata ini menimbulkan perbedaan tekanan atmosfer yang mengakibatkan gerakan udara atau angin yang bertiup di atas permukaan laut sehingga akan menimbulkan arus dan gelombang laut.

Pemanasan yang tidak merata ini juga menimbulkan gradien atau perbedaan densitas air laut dalam arah horizontal yang pada gilirannya mengakibatkan terbentuknya arus laut. Arus laut timbul akibat berbagai faktor penyebab, diantaranya adalah angin, pasang surut, variasi densitas dalam arah horizontal, meningkatnya densitas air permukaan akibat proses pendinginan dan atau peningkatan salinitas (Sirkulasi Termohalin).

Selanjutnya sirkulasi arus akan menyebabkan adanya distribusi temperatur permukaan laut pada berbagai daerah di seluruh muka bumi mempengaruhi sirkulasi angin di atasnya.

SIRKULASI ARUS GLOBAL

Jika diperhatikan peta sistem arus permukaan global, akan terlihat pola sirkulasi arus skala besar (*gyre*) di Lautan Pasifik, Atlantik dan Lautan Hindia yang arahnya searah dengan perputaran jarum jam di bagian Utara Ekuator dan berlawanan arah jarum jam di Selatan Ekuator.

Sirkulasi arus skala besar ini disebut *gyre* atau 'gira'. Pola arus skala besar ini terbentuk oleh pengaruh sistem angin permukaan (*Angin Pasat - Trade Wind*, *Angin Baratan - Westerlies*), gaya Coriolis dan daratan besar atau benua yang merupakan penghalang serta dapat membelokkan arah arus.

Untuk memudahkan menganalisa sirkulasi arus global maka diasumsikan bahwa laut terbuka atau perairan laut dapat dipandang sebagai suatu bentuk basin yang lebar.

Angin berhembus di atas permukaan laut dalam arah sumbu x atau ke arah Timur. Angin yang berhembus dalam arah ini akan menimbulkan transpor massa dalam arah sumbu y ke arah kanan arah angin. Akibatnya terjadi penumpukan massa air di dinding bagian kanan basin. Penumpukan massa air ini menimbulkan slope muka air yang naik ke arah sisi kanan dari basin.

Slope muka air ini pada gilirannya akan menimbulkan arus Geostropik (*Geostrophic Current*) dalam arah x. Arah arus ke arah dinding kanan basin akan berhenti bila terjadi kesetimbangan antara gaya Coriolis dan gaya gradien tekanan .

Sistem Arus Permukaan di Lautan Atlantic

Sistem arus di Lautan Atlantic terdiri dari dua ‘Gira’ yaitu yang berada di Selatan Ekuator dan di Utara Ekuator.

Sistem arus yang merupakan bagian dari ‘Gira’ di Selatan Ekuator terdiri dari arus Ekuator Selatan yang bergerak ke arah Barat , arus Brazil yang bergerak ke Selatan, arus Atlantik Selatan yang bergerak ke arah Timur dan arus Benggala yang merupakan penutup sirkulasi arus yang bergerak ke arah Utara. Arus Brazil adalah arus panas dan asin sementara arus Benggala adalah arus dingin dan kurang asin.

Sistem arus yang merupakan bagian dari ‘Gira’ di Utara Ekuator terdiri dari arus Ekuator Utara yang bergerak ke Barat, arus Florida dan Gulf Stream yang bergerak ke Utara , arus Atlantic Utara yang bergerak ke Timur dan penutup sirkulasi arus adalah arus Canary yang bergerak ke Selatan.

Arus Ekuator Selatan dalam gerakannya ke arah Barat, terpecah dua , sebagian bergerak ke arah Utara melintasi Ekuator dan bergabung dengan arus Ekuator Utara di perairan Florida dan sebagian lagi bergerak ke Selatan membentuk arus Brazil.

Sistem Arus Permukaan Lautan Pasifik

Seperti halnya dengan Lautan Atlantic, sistem arus permukaan Lautan Pasifik secara umum terdiri

dari 2 (dua) ‘gira’ yang berada di Utara dan Selatan Ekuator. Sistem arus ‘gira’ yang berada di Utara Ekuator terdiri dari arus Utara Ekuator yang bergerak ke arah Barat, arus Kuroshio yang bergerak ke arah Utara , arus Pasifik Utara yang bergerak ke Timur dan penutup sirkulasi adalah arus California yang bergerak ke arah Selatan.

Sistem arus dari ‘gira’ di Selatan Ekuator terdiri dari arus Ekuator Selatan yang bergerak ke arah Barat, arus Australia Timur yang bergerak ke Selatan, arus Pasifik Selatan yang bergerak ke arah Timur dan arus penutup sirkulasi adalah arus Peru – Chile yang bergerak ke arah Utara.

Arus Kuroshio merupakan arus panas yang kuat dengan kecepatan setara dengan *Gulf Stream*. Di sebelah Barat Kuroshio mengalir arus dingin yang bergerak ke Selatan dan dikenal dengan arus Oyshio. Oyshio merupakan bagian dari ‘Gira’ sub-polar Utara. Seperti halnya Lautan Atlantic, arus Ekuator Utara dan Selatan di Lautan Pasifik dipisahkan oleh arus Ekuator yang bergerak ke Timur. Sedangkan sistem arus permukaan Lautan Hindia bersifat sangat kompleks dan unik karena sangat dipengaruhi oleh monsun.

GELOMBANG PANJANG

Pasang surut laut (pasut) adalah suatu fenomena naik turunnya muka air laut yang disertai oleh gerakan horizontal dari masa air laut secara periodic. Gerakan horizontal dari massa air laut disebut arus pasang surut atau *Tidal Current*. Gelombang pasang surut merupakan salah satu contoh gelombang panjang.

Terjadinya gelombang panjang dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok, yaitu berdasarkan range periode, gaya pembangkitnya dan rasio antara kedalaman dengan panjang gelombang.

Gelombang panjang berdasarkan range periode yaitu gelombang pasang surut (pasut) yang disebabkan oleh interaksi antara matahari – bulan – bumi pada range periode diurnal dan semi diurnal dengan gaya pengontrolnya adalah gravitasi dan Coriolis; gelombang pasang surut – Trans dengan yang disebabkan oleh badai serta interaksi antara matahari – bulan pada range periode 24 jam dengan gaya pengontrolnya adalah gravitasi dan Coriolis.

Gelombang panjang berdasarkan gaya pembangkitnya adalah *Forced Wave* yaitu

gelombang yang masih dipengaruhi oleh gaya pembangkitnya contoh gelombang pasang surut.

Berdasarkan rasio antara kedalaman perairan dan panjang gelombang, maka terjadinya gelombang panjang jika dengan h adalah kedalaman perairan dan L adalah panjang gelombang panjang .

Pasang surut sangat dipengaruhi oleh efek batimetri, efek geometri pantai serta bentuk basin. Hambatan geometri cekungan lautan yang digabungkan dengan pengaruh Coriolis menghasilkan perkembangan sistem amphidromik, dimana setiap puncak gelombang pasang surut pada air naik akan mengelilingi titik amphidromik sekali dalam setiap periode pasang surut. Jangkauan pasang surut adalah nol pada setiap titik amphidromik dan meningkat semakin jauh dari titik tersebut.

Gelombang pasang surut sistem amphidromik cenderung berputar berlawanan arah jarum jam di BBU dan searah jarum jam di Belahan Bumi Selatan (BBS).

Kita telah mengetahui bahwa stress angin pasat (khususnya Pasat Tenggara) yang melintasi lautan Ekuatorial menyebabkan adanya slope ke atas dari muka laut menuju ke Barat Barat dan slope ke bawah dari termoklin. Selain itu kita telah mengetahui bahwa intensitas angin pasat tenggara berubah-ubah (contohnya disepanjang lautan Atlantik Ekuator, angin pasat tenggara melemah selama bulan Maret – April dan menguat selama bulan Agustus – September). Persoalannya adalah, “*Dengan cara bagaimanakah slope muka air ini merespon terhadap perubahan musiman dari angin ?*”

Respon dari slope muka air dan termoklin ini hanya dapat dijelaskan didalam pengertian gangguan muka air, kemudian gangguan ini berjalan sebagai gelombang atau pulsa gelombang yang merambat disepanjang lautan Ekuatorial. Gangguan berupa gelombang ini tidak hanya memungkinkan air di bagian tengah lautan untuk merespon apa yang terjadi di batas-batas pantai, tetapi gangguan gelombang ini dapat mentransmisikan efek perubahan medan angin yang bertiup diatas laut itu dari satu daerah ke daerah yang lain. Pembalikan kecepatan arus Somali merupakan merupakan salah satu contoh dari efek gelombang ini. Disini, permukaan air Somalia dalam arah Barat-daya mengalir cepat selama monsun Timur laut, tetapi pergerakannya

dapat lebih cepat di dalam arah yang berlawanan. Hal ini terjadi karena permukaan laut di sebelah Barat merasakan efek angin yang bertiup di daerah permukaan laut bagian tengah.

Gangguan gelombang ini berperan dalam sirkulasi umum dari arus. Di dalam gelombang ini, partikel air dipindahkan dalam arah vertikal dari posisi kesetimbangannya, dan cenderung kembali ke posisi semula dibawah pengaruh gaya gravitas. Gelombang yang berperan dalam sirkulasi arus ini merupakan gelombang yang mempunyai panjang gelombang yang panjang (antara 10 ribuan kilometer) dan periode yang lama (dari harian hingga bulanan bahkan hingga tahunan), serta variasi simpangan dari beberapa sentimeter hingga beberapa meter. Karena gangguan gelombang ini mempunyai panjang gelombang yang besar, maka pergerakan horisontal dari gangguan ini dipengaruhi oleh Gaya Coriolis secara signifikan. Gelombang yang sangat penting dalam sirkulasi di laut ini terdiri atas dua kelas, yaitu gelombang Kelvin dan gelombang Planeter atau gelombang Rossby.

Gelombang Kelvin

Sekarang bayangkan sebuah parsel air di BBU yang bergerak ke Utara dengan batas pantai di sebelah kanannya. Gaya Coriolis membelokkan gerak parsel air ke arah pantai, sehingga terjadi penumpukan massa air di dekat batas pantai, penumpukan massa air ini akan menyebabkan *slope* muka air yang pada gilirannya menimbulkan gradien tekanan, dengan adanya slope muka air ini, maka parsel air akan bergerak menjauhi pantai dan kemudian dibelokkan kembali oleh gaya Coriolis kekanan yang pada akhirnya, gerakkan parsel air ini sejajar dengan pantai dalam bentuk arus geostropik

Gelombang Kelvin serupa dengan gelombang permukaan, yang secara prinsip mempertahankan gaya gravitasi, tetapi pergerakan partikel didalam gelombang ini terjadi sedemikian hingga amplitudo dari perpindahan vertikalnya mempunyai nilai maksimum di batas pantai dan berkurang secara eksponensial ketika menjauhi pantai. Oleh karenanya maka gelombang Kelvin dapat dipandang sebagai gelombang yang terjebak pada beberapa jarak dari pantai, karena diluar jarak itu, amplitudo melemah. Jarak ini disebut sebagai “*jari-jari deformasi Rossby (L)*” yang dapat

dihitung dari $L = c/f$, dimana f adalah parameter Coriolis dan c adalah kecepatan gelombang.

Di setiap titik pada tiap-tiap waktu, gaya Coriolis diseimbangkan oleh gaya gradien tekanan yang disebabkan oleh slope permukaan laut atau slope termoklin. Gaya Coriolis dengan gaya gradien tekanan berperan sebagai oposisi satu sama lain. Hal ini merupakan suatu kondisi yang perlu untuk perambatan gelombang Kelvin.

Di lintang rendah, garis Ekuator merupakan sebuah pandu gelombang untuk keberadaan perambatan gelombang Kelvin di lintang rendah. Sebuah gelombang Kelvin Ekuatorial merupakan dua gelombang yang simetris dengan garis Ekuator sebagai sumbu simetrinya (satu gelombang terletak di BBU dan yang lainnya terletak di BBS) dan merambat ke Timur sepanjang pandu gelombang Ekuatorial.

Gelombang Rossby

Gelombang Rossby atau gelombang Planeter merambat dalam arah zonal, di sepanjang Ekuator atau disepanjang lintang lain. Gelombang merupakan gerakan fluida yang memenuhi prinsip kekekalan potensial vortisitas. Keberadaan gelombang Rossby ini timbul akibat adanya variasi parameter Coriolis terhadap lintang (efek beta). Bayangkan sebuah parsel air pada sebuah lintang ϕ di BBU yang pada awalnya tidak ada gerakan rotasi relatif terhadap bumi. Jika parsel air dipindahkan ke Utara, selanjutnya akan memasuki daerah dimana vortisitas planeternya bertambah (f bertambah). Karena potensial vortisitasnya harus konstan, maka vortisitas relatif parsel airnya harus berkurang, dengan kata lain, parsel air harus berotasi searah jarum jam. Jika parsel air dipindahkan ke Selatan (kasus BBU), maka vortisitas relatifnya akan berotasi berlawanan arah jarum jam.

Jika suatu rantai fluida yang berada pada lintang ϕ tertentu di BBU dipindahkan ke Utara atau ke arah Ekuator, maka terjadi osilasi dalam arah horisontal dan osilasi ini dirambatkan ke arah Barat relatif terhadap permukaan bumi. Osilasi yang dirambatkan ke arah Barat ini adalah gelombang Rossby atau gelombang planeter. Di laut, skala gerak gelombang ini berorde ratusan kilometer, sedangkan di atmosfer dapat mencapai ribuan kilometer (5000 – 20000 km).

Pengaruh pergerakan gelombang Rossby dan gelombang Kelvin pada sirkulasi laut bergantung

pada lintang. Sebagai contoh adalah gelombang Rossby, di lintang menengah dan tinggi, perubahan medan stress angin permukaan di lautan bagian tengah akan jauh lebih besar pengaruhnya pada laut dekat batas bagian Barat (*the ocean near western boundaries*) dari pada pengaruhnya di laut dekat batas bagian Timur (*the ocean near eastern boundaries*).

Di lintang rendah, informasi mengenai pergerakan gelombang Rossby dan gelombang Kelvin terletak pada pandu gelombang Ekuatorial. Di sepanjang pandu gelombang Ekuatorial, gelombang Kelvin merambat ke arah Timur, ketika gelombang ini hampir sampai batas laut di bagian Timur, gelombang ini terpisah menjadi dua bagian, yaitu satu ke arah Utara dari Ekuator dan yang lainnya ke arah Selatan dari Ekuator sebagian menjadi gelombang Kelvin pantai (*coastal Kelvin wave*) dan sebagian lagi direfleksikan menjadi gelombang Rossby Ekuatorial.

PENUTUP

Sistem arus permukaan global, akan terlihat pola sirkulasi arus skala besar (*gyre*) di Lautan Pasifik, Atlantik dan Lautan Hindia, yang arahnya searah dengan perputaran jarum jam di bagian Utara Ekuator dan berlawanan arah jarum jam di Selatan Ekuator. Laut dapat merespon terhadap angin yang bertiup di atasnya dalam bentuk gangguan berskala besar yang merambat sebagai gelombang. Gelombang-gelombang ini dapat merambat sepanjang permukaan atau sepanjang termoklin dengan perambatan yang sangat cepat. Dua dari tipe gelombang yang sangat penting yaitu gelombang Rossby dan gelombang Kelvin. Gelombang Rossby terjadi agar hukum kekekalan potensial vortisitas tetap berlaku. Gelombang ini merambat hanya dalam arah zonal ke Barat relatif terhadap permukaan bumi. Gelombang Kelvin merambat sejajar pantai (yaitu ke kanan dari arah pantai di BBU dan ke kiri dari arah pantai di BBS). Gelombang ini pun dapat merambat ke arah Timur di sepanjang Ekuator sebagai pasangan gelombang. Garis Ekuator merupakan pandu gelombang bagi gelombang Kelvin maupun gelombang Rossby. Karena Ekuator berperan sebagai pandu gelombang (*wave guide*) maka laut di lintang rendah dapat merespon lebih banyak terhadap perubahan angin yang bertiup di atasnya dari pada laut di lintang tinggi.

PUSTAKA

- Brown, J., C. Angela, P. Dave, P. John, R. Dave, and John. W. 1989, *Ocean Circulation*, Pergamon Press. New York.
- Hadi, Safwan. *Pengantar Oseanografi (Arus Laut, Gelombang, Pasang Surut)*, Pusat Penelitian Kelautan ITB, Bandung.
- Hadi, Safwan. 2001, *Catatan Kuliah Oseanografi Fisis*, Program Studi Oseanografi , ITB Bandung.
- Supangkat Agus. 2000, *Pengantar Oseanografi*, Program Studi Oseanografi ITB Bandung.
- Gunter , 1963, *General Oceanography an Introduction*, Pergamon Press. New York