

LAUTAN DAN IKLIM

Oleh

Dewi Surinati¹⁾

ABSTRACT

OCEAN AND CLIMATE. *The system of Earth's climate is the result of complex interactions among the atmosphere, hydrosphere, lithosphere, and biosphere. The ocean has very important role in controlling Earth's climate with The Great Ocean Conveyor Belt. The ocean plays a key role in understanding global climate change through this belt mechanism. Association or interaction between the ocean and the atmosphere which cause anomaly weather in Indonesia is still unknown pattern clearly. The fluctuation of anomaly weather is influenced by many things, such as by the El Niño Southern Oscillation (ENSO), Indian Ocean Dipole (IOD), and Monsoon Asia.*

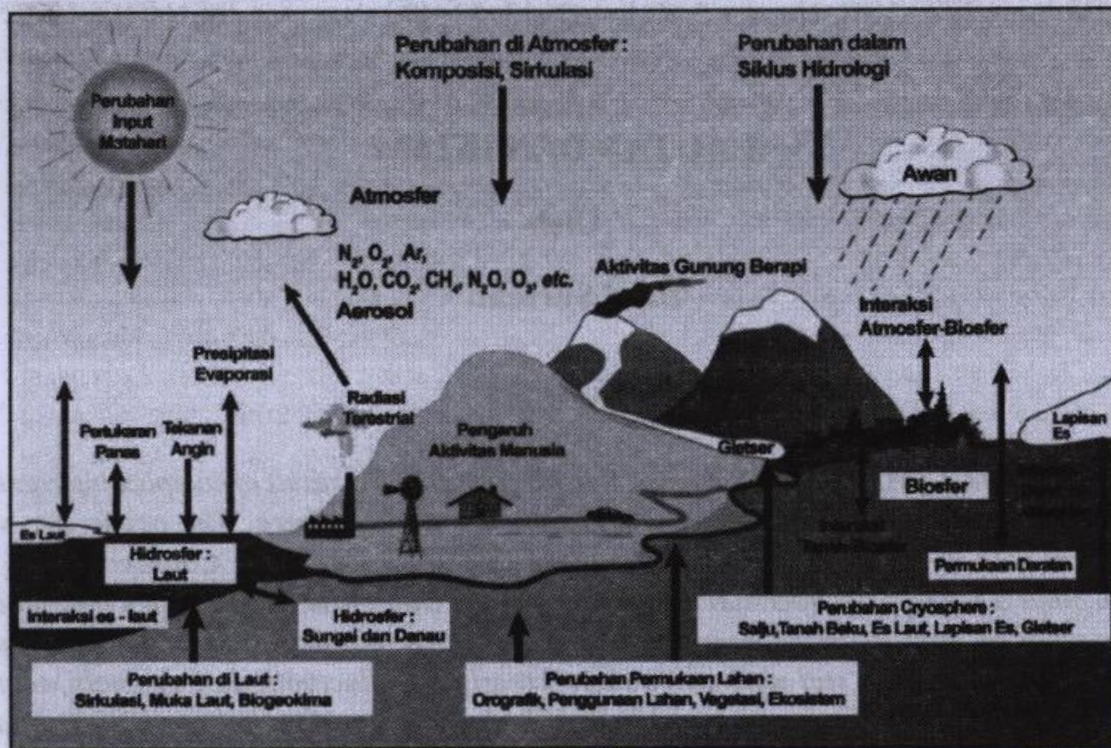
Keywords: *ocean, climate*

PENDAHULUAN

Meteorologi adalah gejala alam yang berkaitan dengan cuaca dan klimatologi adalah gejala alam yang berkaitan dengan iklim dan kualitas udara (Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 31 Tahun 2009 tentang meteorologi, klimatologi, dan geofisika). Cuaca berarti kondisi atmosfer (yang berhubungan dengan suhu, tekanan udara, angin, awan, kelembaban udara, radiasi, jarak pandang/*visibility*, dan sebagainya) di suatu tempat pada waktu tertentu dan pengamatannya dilakukan setiap hari. Sedangkan iklim menunjukkan kondisi rata-rata dari atmosfer di suatu tempat yang meliputi wilayah yang luas pada waktu tertentu dalam jangka panjang (<http://www.meteojuanda.info>).

Sistem iklim di bumi (Gambar 1) merupakan hasil dari interaksi yang kompleks antara atmosfer, hidrosfer, litosfer, dan biosfer. Awan memberikan pengaruh yang sangat besar pada cuaca dan iklim kita. Awan adalah elemen kunci siklus hidrologis bumi, yang membawa air dari udara ke tanah dan dari satu wilayah ke wilayah yang lainnya. Awan juga mendominasi bujet energi bumi melalui pengaruhnya pada pertukaran energi panas matahari dalam atmosfer dan antara atmosfer, hidrosfer, permukaan tanah, serta biosfer. Karena awan memiliki dampak besar pada bujet radiasi bumi, maka perubahan kecil dalam kelimpahan atau distribusi awan bisa mengubah iklim lebih dari perubahan yang diantisipasi dalam gas rumah kaca, anthropogenic aerosol, atau faktor-faktor lain yang terkait dengan perubahan global (Tjasyono, 2007).

¹⁾ Bidang Dinamika Laut, Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI



Gambar 1. Sistem iklim muka bumi (IPCC, 2007 dalam Aldrian, 2008)

Penyinaran Matahari, terbentuknya angin, awan, hingga akhirnya menjadi hujan, merupakan hasil mekanisme cuaca dalam siklus keseimbangan. Namun pada skala global, pola cuaca tidaklah sesederhana itu. Dalam lingkup dunia, “pusat penggerak” cuaca dan iklim ada di perairan Asia Tenggara, yang sebagian besarnya merupakan wilayah Indonesia. Posisi kawasan ini begitu strategis karena berada di khatulistiwa, kawasan tropis, di antara dua benua, Asia-Australia, serta dua samudera, Pasifik dan Hindia. Indonesia juga terletak pada pertemuan dua rangkaian pegunungan, yakni Sirkum Pasifik dan Sirkum Mediteranian. Sebagian besar wilayah Indonesia berada di belahan bumi selatan (selatan khatulistiwa). Letak geografis yang demikian menyebabkan Indonesia terletak di daerah iklim tropis. Itu sebabnya suhu di Indonesia cukup tinggi dan curah hujannya cukup banyak.

Lebih dari dua pertiga wilayah Indonesia adalah lautan yang sangat mempengaruhi iklim karena merupakan pusat

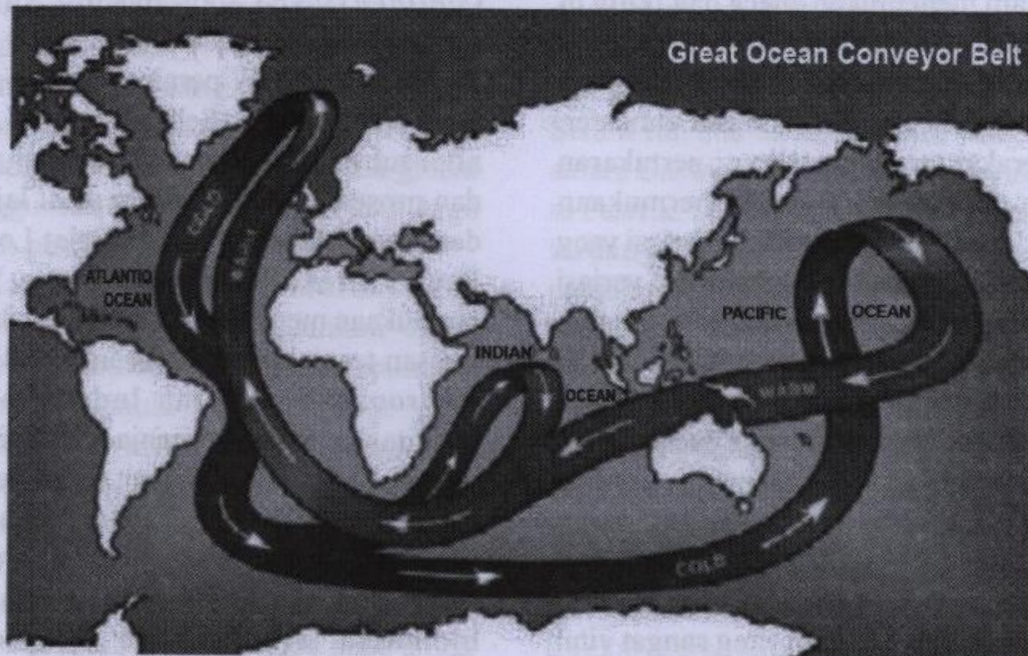
dari aktivitas sirkulasi atmosfer serta sirkulasi laut global. Interaksi laut dan udara dalam siklus yang dinamis di sekitar Indonesia dan adanya gaya koriolis akibat rotasi bumi menjadikan wilayah ini sebagai “mesin penghasil uap” dunia, penggerak sistem sirkulasi udara global, dan berperan dalam pembentukan iklim dunia. Dari wilayah tropis inilah uap air yang terbentuk akibat pemanasan Matahari didistribusikan ke seluruh dunia. Sebagai mesin penggerak, wilayah ini mendapat suplai energi melimpah dari Matahari sepanjang tahun (Yuliandari, 2009).

LAUT SEBAGAI PENGATUR IKLIM

Laut memiliki peranan yang sangat penting dalam mengontrol iklim di bumi dengan memindahkan panas dari daerah ekuator menuju ke kutub. Tanpa peranan laut, hampir keseluruhan planet bumi akan menjadi terlalu dingin bagi manusia untuk hidup. Air laut bergerak secara terus-menerus mengelilingi

bumi dalam suatu sabuk aliran yang sangat besar yang biasa disebut sebagai arus lintas sabuk benua (Gambar 2). Arus lintas sabuk benua (*The Great Ocean Conveyor Belt*) bergerak dari permukaan ke dalam samudera dan

kembali lagi ke permukaan. Angin, salinitas dan suhu air laut mengontrol sabuk aliran global ini. Sabuk aliran inilah yang berperan memindahkan energi panas yang dipancarkan oleh matahari ke bumi (Setiawan, 2006).



Gambar 2. Arus lintas sabuk benua (*the great ocean conveyor belt*)

Sabuk sirkulasi laut global melepaskan energi panas ke atmosfer ketika massa air yang hangat bergerak dari daerah ekuator menuju ke kutub. Selain itu, air laut merupakan media penyerap panas radiasi matahari terbesar dengan kapasitas penyerapan yang sangat besar. Mekanisme sabuk ini yang menyebabkan lautan memegang peranan kunci dalam pemahaman perubahan iklim global. Laut sangat berperan dalam membentuk keseimbangan suhu global dunia. Ketika suhu bumi makin meningkat tentu hal ini akan memberikan berbagai akibat (*multiple effect*) bagi kelangsungan siklus global laut, karena suhu merupakan faktor utama penggerak siklus ini (Surinati, 2010).

Sirkulasi atmosfer dan samudera dikendalikan oleh pemanasan matahari. Radiasi matahari memanaskan atmosfer dan samudera,

menyebabkan terjadi variasi densitas di muka bumi termasuk densitas samudera. Terdapatnya variasi densitas ini menunjukkan atmosfer dan samudera mempunyai energi potensial, sebagian diubah menjadi energi kinetik, yaitu gerak (*motion*). Sebagai contoh, permukaan bumi yang hangat menyebabkan intensitas cahaya atmosfer meningkat. Ini disebut konveksi. Di atmosfer kawasan regional Asia Tenggara ada dua musim yang berlawanan arah yaitu musim barat (angin dari Asia ke Australia) dan musim timur (angin dari Australia ke Asia). Di laut, angin musim memengaruhi muka laut sehingga menghasilkan arus permukaan. Penggerak arus lainnya adalah pasang surut (pasut) dan perbedaan densitas, massa air dari Samudera Atlantik-Hindia-Pasifik dan kawasan perairan Indonesia bagian timur yang dilalui arus ini (Kurniawan, 2004).

Arus laut merupakan salah satu parameter oseanografi yang banyak mendapat perhatian tidak hanya dalam masalah kelautan saja tetapi juga mendapat perhatian yang besar dalam masalah atmosfer khususnya yang berkaitan dengan cuaca dan iklim. Arus berperan penting dalam menentukan cuaca dan iklim di bumi (Duxbury *et al.*, 2002). Arus laut terutama di lapisan permukaan mempunyai peranan yang besar dalam sistem interaksi laut dan atmosfer. Sistem interaksi tersebut meliputi pertukaran momentum dari sirkulasi angin permukaan terhadap sirkulasi arus permukaan. Variasi yang terjadi pada sirkulasi laut mengakibatkan variasi pada transpor energi panas dan pola musim. Seperti diketahui bahwa laut memiliki peranan yang sangat penting dalam mendistribusikan energi panas dari daerah ekuator ke daerah kutub karena kemampuan air untuk menyimpan energi panas dalam waktu yang sangat lama (bandingkan dengan tanah yang cepat menjadi dingin ketika matahari sudah tidak menyinarinya lagi). Hal ini menjadi bagian yang sangat vital dalam menentukan pola cuaca/iklim di bumi. Menurut penelitian yang dilakukan di *University of Bern* yang mengembangkan model iklim dengan perata-rataan ke arah zonal (*zonally averaged climate model*), menyimpulkan pemanasan global yang terjadi saat ini akibat adanya efek gas rumah kaca. Efek gas rumah kaca ini, lebih jauh bisa merubah dan bahkan mematikan sabuk sirkulasi laut global (Stocker & Schmittner, 1997).

Atmosfer dan samudera membentuk suatu sistem sinergi (*couple*). Penggabungan terjadi melalui proses pertukaran di batas permukaan laut. Proses pertukaran ini menentukan bujet energi dan massa samudera. Nilai pertukaran antara samudera dan atmosfer adalah: 1. Bujet energi yaitu energi radiatif (termasuk panas) dan energi momentum. 2. Bujet massa yaitu air tawar (*freshwater*), melalui penguapan (*evaporation*) selanjutnya terjadi proses kondensasi di kawasan katulistiwa

(*Hadley Cell*) dan terjadi hujan dan yang terakhir *run-off* melalui sungai terus kembali ke samudera. Bujet lain berupa mineral (*nutrient*) dan gas (misal CO_2) dalam kolom air. Sistem iklim di Asia dan Australia mempunyai *monsoon* barat laut (*northwest/NW*) dan *monsoon* tenggara (*southeast/SE*) dan pasang surut akan menyebabkan perubahan stratifikasi massa air. Saat *monsoon* NW perairan Indoensia bagian barat dari Laut Cina Selatan sampai Laut Banda nilai suhu dan salinitas permukaan menurun, dan proses ini akan menghambat laju Arlindo dari Selat Makassar kearah Selat Lombok dan Laut Flores. Sehingga lapisan homogen permukaan menjadi lebih tebal, dan kedalaman lapisan termoklin akan turun. Sebaliknya saat *monsoon* SE perairan Indonesia kembali salinitas permukaan menjadi tinggi dan suhu menurun sampai kearah Laut Cina Selatan. Saat *monsoon* SE di bagian timur perairan Indonesia banyak terjadi proses *upwelling*, selanjutnya chlorofil-a akan meningkat jumlahnya dan biomassa lainnya akan menjadi subur, disebabkan oleh naiknya massa air dengan suhu rendah, salinitas tinggi dan nutrien tinggi.

Karena itu untuk memahami perilaku iklim jangka panjang, para pakar iklim memasang berbagai sarana observasi, berupa pelampung (*buoy*) pemantau parameter kelautan di garis khatulistiwa di Pasifik dan Samudera Hindia, stasiun pengamat cuaca dan iklim di daratan berbagai belahan dunia, dan satelit-satelit sumber daya alam di atmosfer. Salah satunya adalah ARGO (*the Array for Real Time Geostrophic Oceanography*) yang pertama kali dipasang pada tahun 2000 yang menginformasikan keadaan lautan dan iklim (Bernawis, 2007). Berbagai pusat cuaca dan iklim menggunakan datanya untuk memahami bagaimana lautan memengaruhi iklim. Ketika sebuah *float* mengambang ke permukaan, data ditransmisikan ke satelit dan posisinya ditentukan. Perkembangan informasi dari *array float* ini dipantau oleh *Argo Information Center*

di Toulouse, Perancis. Kemudian informasi ini diterima oleh pusat data nasional Amerika. Untuk kepentingan ilmiah, ratusan temuan dalam makalah di berbagai jurnal internasional telah dihasilkan dari ilmuwan yang menggunakan data ARGO. Bahasannya juga sangat variatif, mulai dari skala ruang kecil yg hanya menggunakan data Argo dari satu *float* (Iwasaka *et al.*, 2006), sampai dengan skala ruang yang sangat besar, memetakan keadaan lautan dan pengaruhnya terhadap iklim secara regional maupun global yang menggunakan ~100.000 profil data Argo dari seluruh penjuru lautan (Johnson, 2006).

Karena sifatnya yang global dan dapat diakses siapa saja, juga memudahkan untuk kepentingan pendidikan. Di daerah kepulauan Pasifik, telah bermula sebuah proyek yang menggunakan Argo untuk mengenalkan secara dini dan sederhana bagi siswa sekolah dasar dan menengah mengenai bagaimana lautan, cuaca dan iklim saling berinteraksi (Bernawis, 2007). Untuk kepentingan operasional, data Argo telah dimanfaatkan beberapa negara maju untuk perkiraan lautan, iklim dan lingkungan, termasuk untuk sistem peringatan dini terhadap perubahannya.

Dalam kegiatan penelitian cuaca dan iklim, perhatian terutama diarahkan ke wilayah Indonesia. Karena menurut peneliti Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) yang juga Manajer Kompetensi Inti Teknologi Sistem Iklim BPPT Tien Sribimawati, mekanisme terjadinya iklim dunia tidak dapat dipahami tanpa mengetahui fungsi “mesin penggerak” di atas wilayah Indonesia. Hal inilah yang kemudian mendorong Organisasi Meteorologi Dunia (*World Meteorology Organization/WMO*) meluncurkan program Pemantauan Atmosfer Global (*Global Atmosphere Watch*). Melalui program GAW, para peneliti berharap akan lebih meningkatkan pemahaman manusia tentang iklim dan perubahan jangka panjangnya. Untuk itu mereka memperluas daerah penelitiannya.

FENOMENA IKLIM DI LAUT

Proses interaksi laut dan atmosfer sangat berpengaruh terhadap cuaca dan iklim global terutama wilayah Indonesia. Penyaluran uap air terjadi karena ada pola perputaran angin di wilayah ini. Ada arus angin *monsoon* yang datang silih berganti dari dataran Asia di utara dan Australia di selatan ke wilayah Indonesia. Selain itu, ada tekanan udara yang naik turun antara Darwin di Australia dan Kepulauan Tahiti di Pasifik. Di laut juga muncul fenomena naik-turunnya suhu permukaan laut dengan pola penjaralan ke timur-barat mendekati wilayah Indonesia. Fenomena itu terjadi Samudera Pasifik, yaitu kejadian *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO) yang dikenal dengan nama El Niño-La Niña, sedangkan di Samudera Hindia disebut *Indian Ocean Dipole/IOD* (Martono, 2008). Keduanya berpengaruh terhadap keragaman hujan di Indonesia. Hujan merupakan salah satu unsur iklim yang memiliki tingkat keragaman yang sangat tinggi baik secara temporal (waktu) maupun secara keruangan (tempat). Keadaan ini disebabkan oleh posisi Indonesia yang dilewati oleh garis katulistiwa dan keberadaannya di antara dua benua dan dua samudera. Selain itu keadaan Indonesia yang memiliki banyak pulau besar dan kecil dengan topografi yang beragam juga dapat mengakibatkan tingginya keragaman hujan di Indonesia.

Observasi lebih mendalam dilakukan di wilayah-wilayah yang diperkirakan mempunyai peran kunci dalam perubahan iklim global, seperti Samudera Pasifik yang sebelumnya diketahui memberi petunjuk akan terjadinya anomali cuaca El Niño. Munculnya “kolam panas”/*warm pool* atau naiknya suhu muka laut yang meluas di sepanjang garis khatulistiwa dari Pasifik mendekati wilayah perairan Indonesia menjadi pertanda akan terjadinya kekeringan di kawasan Asia Tenggara dan sebaliknya banjir di Amerika Selatan bagian timur. Pemicu dari El

Niño ini hingga saat ini belum diidentifikasi secara pasti. Pada fase awal El Niño akan terjadi tiupan angin ke timur yang dikenal dengan *easterly wind burst* dan pergeseran kolom hangat ke timur sehingga terjadi perubahan pola arus laut dan angin. El Niño banyak membawa dampak terhadap iklim dan laut di wilayah Indonesia terutama di Indonesia bagian timur. Perpindahan kolom hangat ke sebelah timur Samudera Pasifik akan berakibat dinginnya kolom hangat yang biasanya mengalir ke wilayah Indonesia timur. Aliran arus dingin ini membawa konsekuensi berkurangnya evaporasi dan sekaligus berkurangnya curah hujan (Aldrian, 2008).

La Niña adalah kondisi alam yang ditandai oleh menurunnya suhu permukaan laut di wilayah Pasifik bagian tengah hingga di bawah normal. Penurunan suhu ini diikuti oleh penguatan *upwelling* atau arus naik permukaan yang banyak membawa nutrisi dari dasar laut. Kondisi ini diikuti dengan munculnya tiupan angin pasat yang kencang di kawasan itu (<http://www.meteojuanda.info>). Penurunan suhu ini menyebabkan kondisi suhu muka air laut di Pasifik bagian barat, termasuk Indonesia, naik. Kenaikan suhu sekitar satu derajat Celsius di atas normal berdampak terhadap curah hujan di atas normal pada musim kemarau di wilayah utara Indonesia. La Niña adalah kebalikan dari "saudara kembarnya" El Niño, yaitu peningkatan suhu permukaan air laut di wilayah Pasifik bagian tengah. Akibatnya, terjadi penyimpangan curah hujan di sebagian besar kawasan Indonesia Timur.

Peristiwa El Niño menyebabkan bencana kekeringan di sebagian wilayah Indonesia sebaliknya La Niña menyebabkan bencana banjir. Sementara itu, jika *Indian Ocean Dipole* fase positif maka akan menyebabkan bencana kekeringan di sebagian wilayah

Indonesia terutama bagian barat dan sebaliknya jika *Indian Ocean Dipole* fase negatif menyebabkan bencana banjir. Oleh karena itu, penelitian para oseanografer dan meteorologis saat ini berkonsentrasi pada pemahaman yang lebih dalam tentang proses interaksi laut dan atmosfer yang mempengaruhi cuaca/iklim dan dinamika lautan (Sulasdi *et al.*, 2000).

ENSO merupakan pola berulang dari variabilitas iklim di bagian timur samudera Pasifik yang ditandai dengan anomali suhu permukaan laut (penghangatan permukaan laut menggambarkan kejadian El Niño sedangkan pendinginan permukaan laut menggambarkan kejadian La Niña) dan anomali *Sea level pressure* (*Southern Oscillation*). Sedangkan IOD adalah beda temperatur permukaan laut pantai timur Afrika dan pantai barat Sumatera. Kejadian El Niño dan La Niña menyebabkan terjadinya penurunan dan peningkatan curah hujan di Indonesia. Fenomena El-Niño menyebabkan penurunan jumlah curah hujan musim hujan, musim kemarau, awal musim kemarau lebih cepat dan awal musim hujan lebih lambat. Hal sama juga terjadi pada saat terjadi fenomena IOD. IOD positif (negatif) menyebabkan terjadinya penurunan (peningkatan) curah hujan di Indonesia (Saji *et al.*, 1999).

Karena memiliki tingkat variabilitas yang tinggi, kondisi data curah hujan di Indonesia memerlukan observasi yang panjang dengan perwakilan sebaran data yang memadai. Penakar hujan pada setiap pos pengamatan hujan merupakan suatu alat pengukur hujan yang efektif dan relatif akurat dalam menggambarkan kondisi hujan pada suatu tempat. Akan tetapi sebaran pos penakar hujan ini tidak merata khususnya di daerah dengan topografi sulit, daerah tidak berpenghuni serta disekitar lautan mengakibatkan berkurangnya

tingkat keakuratannya khususnya dalam menampilkan sebaran pola spasial curah hujan. Kondisi ini mempengaruhi prediksi hujan dengan menggunakan berbagai aplikasi model iklim. Untuk saat ini, kemungkinan memperoleh data curah hujan yang diperlukan dalam berbagai aplikasi ilmiah dapat diperoleh dari satelit meteorologi. Satelit meteorologi dapat menyediakan data hujan dengan sebaran yang lebih baik serta dengan penggabungan berbagai jenis satelit dan data dari pos pengamatan hujan dalam suatu model iklim akan lebih mampu lagi meningkatkan keakuratan dan kestabilan data yang dihasilkan oleh satelit meteorologi. Dengan semakin lengkapnya informasi hujan, diharapkan lebih mampu menampilkan sebaran pola spasial hujan lebih baik dibandingkan menggunakan data dari stasiun hujan. (As-Syakur & Prasetia, 2010).

PENUTUP

Kaitan atau interaksi antara laut dan atmosfer hingga menyebabkan anomali cuaca di Indonesia masih belum diketahui polanya dengan jelas. Fluktuasi iklim di Indonesia dipengaruhi banyak hal, diantaranya adalah oleh *El Niño Southern Oscillation* (ENSO), *Indian Ocean Dipole* (IOD), dan *Monsoon Asia*.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E. 2008. *Meteorologi Laut*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). ISBN 978-979-1241-19-9: 226 hal.
- Aldrian, E., L. D. Gates, & F. H. Widodo. 2007. Seasonal Variability of Indonesian Rainfall in ECHAM4 Simulations and in the Reanalyses: Roles of ENSO. *Theoretical and Applied Climatology*, 87: 41-59.
- As-Syakur, A.R. & R. Prasetia. 2010. Pola Spasial Anomali Curah Hujan Selama Maret Sampai Juni 2010 Di Indonesia; Komparasi Data *TRMM Multisatellite Precipitation Analysis* (TMPA) 3B43 dengan Stasiun Pengamat Hujan. *Penelitian Masalah Lingkungan di Indonesia 2010*: 505-515.
- Bernawis, L. I. 2007. Argo Untuk Menginformasikan Keadaan Lautan dan Iklim. *Inovasi* 9(19): 39-42.
- Duxbury, B. A., A. C. Duxbury, & K.A. Sverdrup. 2002. *Fundamentals of Oceanography. Fourth Edition*. McGraw-Hill Publishing. New York: 156-177.
- Godfrey, J.S. 1996. The effect of the Indonesian throughflow on ocean circulation and heat exchange with the atmosphere: A review. *Journal of Geophysical Research* 101(C5): doi: 10.1029/95JC03860. issn: 0148-0227. <http://www.meteojuanda.info>
- Iwasaka, N., F. Kobayashi, Y. Kinoshita, & Y. Ohno. 2006. Seasonal Variations of the Upper Ocean in the Western North Pacific Observed by an Argo float. *Journal of Oceanography*, vol. 62: 481-492.
- Johnson, G. C. 2006. Upper Ocean Thermohaline Structure and Evolution. USClivar workshop presentation, May 2006.

- Kurniawan, M. 2004. Studi Fluktuasi Arus Permukaan Frekuensi Rendah (Low Frequency) Di Perairan Utara Papua Pada Bulan Oktober 2001-Agustus 2002. Skripsi. Ilmu dan Teknologi Kelautan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor.
- Martono. 2008. Simulasi Pengaruh Angin Terhadap Sirkulasi Permukaan Laut Berbasis Model (Studi Kasus : Laut Jawa). Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi 2008 – IST AKPRIND. Yogyakarta.
- Saji, N.H., Goswami, B.N., Vinayachandran, P.N., & Yamagata, T. 1999. A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature*, 401: 360-363.
- Setiawan, A. 2006. *Sirkulasi Laut*. http://www.geocities.com/agus_adut/sirkulasi_laut.htm (Diakses pada tanggal 13 September 2006).
- Stocker, T.F. & A.Schmittner. 1997. Influence of carbon dioxide emission rates on the stability of the thermohaline circulation. *Nature* 388: 862-865.
- Sulasdi, W.N., S.Hadi, D.K. Mihardja, Hang Tuah, N.R. Nganro, & A. Supangat. 2000. *Potensi dan Strategi Pengembangan Kelautan di Lingkungan Institut Teknologi Bandung*. Proceeding ITB Volume 32 No 2.
- Surinati, D. 2010. Sirkulasi Termohalin. *Oseana* Volume XXXV No. 2. Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI. Jakarta: 31-37.
- Tjasyono, B. 2007. *Mikrofisika Awan dan Hujan*. Badan Meteorologi dan Geofisika. Jakarta.
- Yuliandari, W. 2009. *Dampak Pemanasan Global bagi Sektor Kelautan*. *Harian Bhirawa* 16 April 2009. Jawa Timur.