

ANALISIS KORELASI DEBIT AIR MASUK MUSIM KEMARAU PADA WADUK SERI DAS CITARUM DENGAN PERUBAHAN SUHU PERMUKAAN LAUT GLOBAL

(Correlation Analysis of Citarum Dams Inflows and Global Sea Surface Temperature in Dry Season)

Akhmad Faqih

Laboratorium Klimatologi, Jurusan Geomet FMIPA IPB

ABSTRACT

Citarum Watershed plays important roles to support activities of various sectors. In the watershed there are three dams: Saguling in the upper part, Cirata in the middle and Jatiluhur or Juanda in the lower part. Most of water sources for agriculture, industrial activities, electric generation and domestic consumption of many districts came from Citarum river, especially from the dams. Therefore, a strategic planning for watershed management should be developed involving those various sectors. Relationship between seasonal variation of water flow from these dams and global climate forcing factor such as Sea Surface Temperature Anomaly (SSTA) need to be investigated. Many studies indicated that variability of water flow of the river is closely related with the SSTA of Pacific and Indian Oceans. When *El Nino* occurred, the SSTA of Pacific is strongly positive and this always related to the drought even in Indonesia. On the other hand, SSTA at Indian Ocean also affect the occurrence of extreme climate even. This study examined spatial correlation between water flow and SSTA in both Pacific and Indian Oceans. The analysis was done using Climlab 2000 software. The study found that the seasonal water flow in dry season (July – October) was significantly correlated not only with SSTA at Pacific Ocean, but also with SSTA at Indian Ocean. The study suggests that the SST anomaly can be used as a basis in setting up water management strategy at Citarum Watershed.

Keywords : Citarum Watershed, Indian Ocean, Pacific Ocean, sea surface temperature, spatial correlation

PENDAHULUAN

Datangnya musim kemarau di sebagian besar wilayah di Indonesia, terutama untuk wilayah Pulau Jawa, Bali dan Nusa Tenggara pada tahun-tahun tertentu kadang dipengaruhi oleh terjadinya suatu fenomena iklim ekstrim yang menyebabkan kekeringan seperti *El Nino* di Samudera Pasifik dan *IODM* positif di Samudera Hindia. Kedua fenomena iklim tersebut, terutama *El Nino*, dapat memperparah terjadinya kekeringan karena memperpanjang masa berlangsungnya musim kemarau sehingga menggeser lebih lama awal terjadinya musim hujan.

Fenomena *El Nino* di Samudera Pasifik merupakan fase hangat dari *ENSO* (*El Nino and Southern Oscillation*). Menurut Neelin *et al.* (1998), *ENSO* merupakan sinyal iklim antartahun yang paling besar dan juga merupakan fenomena iklim pertama yang menunjukkan bahwa pada dasarnya ada ketergantungan akan interaksi kopel dari dinamika lautan dan atmosfer. Karena adanya interaksi kopel lautan-atmosfer, maka pada saat berlangsungnya *El Nino* terjadi perubahan pada kondisi lautan maupun atmosfer. Perubahan di lautan yang terjadi pada saat *El Nino*, dicirikan dengan menghangatnya SPL di perairan Pasifik bagian tengah dan timur sehingga terjadi peningkatan anomali (anomali positif) dibandingkan dengan keadaan normalnya. Fenomena yang terjadi di atmosfer ialah berkurangnya peredaran Walker timur yang ditandai dengan melemahnya angin pasat timur di Pasifik Barat akibat menguatnya sirkulasi zonal ke arah barat.

Penyerahan naskah : April 2003

Diterima untuk diterbitkan : Februari 2004

Ada beberapa lokasi yang dijadikan sebagai indikator kejadian ENSO di Samudera Pasifik Tropis, yaitu zona Nino-1+2 (90° - 80° BB, 0° - 10° LS), Nino-3 (150° - 90° BB, 5° LU- 5° LS) dan Nino 4 (160° BT- 150° BB, 5° LU- 5° LS). Menurut Prabowo & Nicholls (2002), iklim Indonesia dan Australia sangat berkaitan erat dengan wilayah Nino-3 dan Nino-4. Selain itu, terdapat zona lain yang juga sering digunakan untuk menduga kejadian ENSO, yaitu wilayah Nino-3,4 (170° - 120° BB, 5° LU- 5° LS). Menurut Boer *et al.* (1999) ASPL di wilayah Nino-3,4 memiliki hubungan yang lebih kuat terhadap anomali curah hujan bulanan dibandingkan dengan ASPL di zona yang lain.

Selain *El Nino* di Samudera Pasifik, terdapat juga fenomena interaksi lautan-atmosfer lainnya yang diduga menyebabkan peristiwa kekeringan di Indonesia. Fenomena tersebut merupakan kejadian dipol yang terjadi di Samudera Hindia yang dikenal dengan *Indian Ocean Dipole Mode (IODM)* (Saji *et al.* 1999). *IODM* merupakan mode dari variabilitas iklim antar tahun yang menghasilkan anomali angin, SPL dan curah hujan di seluruh wilayah Samudera Hindia yang membawa kekeringan di Indonesia dan Australia dan juga banjir di Afrika bagian timur (Saji 2000). Ciri dari terjadinya peristiwa *IODM* yang menyebabkan kekeringan di sebagian wilayah Indonesia ialah dengan mendinginnya SPL dekat Sumatera serta menghangatnya SPL di bagian barat Samudera Hindia. Intensitas *IODM* direpresentasikan oleh gradien ASPL antara bagian barat Samudera Hindia Ekuator (50° - 70° BT, 10° LU- 10° LS) dan bagian tenggara Samudera Hindia Ekuator (90° - 110° BT, 0° - 10° LS). Kejadian *IODM* dapat dijelaskan dengan menggunakan analisis *Empirical Orthogonal Function (EOF)*, dan diketahui bahwa *EOF2* secara tidak langsung berhubungan dengan *IOD* yang menjelaskan sekitar 12% dari total varian (Saji *et al.* 1999). Sedangkan khusus untuk periode Juli-September (JAS) berkaitan dengan musim kemarau, kejadian *IOD* dijelaskan oleh *EOF3* dengan 10,1% dari total varian (Faqih 2003).

DAS Citarum memiliki peranan penting dalam pemenuhan kebutuhan air. Pemanfaatan DAS Citarum diatur oleh tiga waduk besar yang merupakan waduk seri Sungai Citarum, meliputi Waduk Saguling di bagian hulu, Waduk Cirata, dan Waduk Jatiluhur di bagian hilir. Prioritas pemenuhan kebutuhan air dapat meliputi kebutuhan air minum dan rumah tangga (*municipal water supply*), kebutuhan perkebunan dan pertanian (*irrigation requirement*), kebutuhan industri (*water requirement for industry*), penggelontoran kota (*flushing*) dan kebutuhan pembangkitan tenaga listrik (*power generation*) (SPK TPA Citarum 2003).

Musim kemarau memberikan dampak yang cukup besar terhadap sungai Citarum. Apalagi jika pada musim kemarau tersebut berbarengan dengan kejadian iklim ekstrim seperti *El Nino* dan *IODM* positif yang menyebabkan rendahnya jumlah curah hujan yang turun. Dampak yang terjadi dengan sedikitnya jumlah curah hujan yang turun ialah berupa menurunnya jumlah debit air masuk bulanan pada waduk seri Sungai Citarum. Menurunnya jumlah debit air masuk dapat menurunkan tinggi muka air yang selanjutnya berpengaruh pada upaya pemenuhan kebutuhan air.

Penelitian ini bertujuan untuk melihat bagaimana keterkaitan antara ASPL global di Samudera Hindia dan Pasifik yang memiliki peranan dalam mengatur variabilitas iklim global dan pembentukan fenomena iklim ekstrim seperti ENSO dan *IODM* dengan akumulasi debit air masuk pada musim kemarau di tiga waduk seri DAS Citarum dengan menggunakan analisis korelasi spasial. Analisis korelasi spasial dapat digunakan untuk mengetahui zona SPL di Samudera Hindia dan Pasifik yang memiliki korelasi tinggi dengan data debit air masuk musim kemarau pada ketiga waduk tersebut. Selain itu penelitian juga ditujukan untuk mempelajari penyebab terjadinya kekeringan pada musim kemarau 2003 yang berpengaruh terhadap menurunnya tinggi muka air di waduk seri Sungai Citarum.

METODOLOGI

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data grid ASPL di Samudera Hindia dan Pasifik dan data debit air masuk di tiga waduk seri DAS Citarum periode 1988-2001. Data SPL diperoleh dari database perangkat lunak CLIMLAB 2000 (Tanco & Berry 2000) untuk pasangan korelasi dan dari NOAA untuk analisis fisik data ASPL bulan Juni dan Juli 2003 yang merupakan hasil dari perhitungan optimum interpolation (Reynolds & Smith 1994). Data debit air masuk waduk seri DAS Citarum yang digunakan diperoleh dari dokumen Rencana Pengusahaan Waduk Seri Sungai Citarum 2003 (SPK TPA Citarum 2003). Selain kedua jenis data tersebut, juga digunakan data sirkulasi angin zonal (u) dan angin meridional (v) untuk bulan Juni dan Juli 2003 yang diperoleh dari NOAA NCEP-NCAR CDAS-1 dengan ketinggian 10 meter di atas permukaan (Kalnay *et al.* 1996).

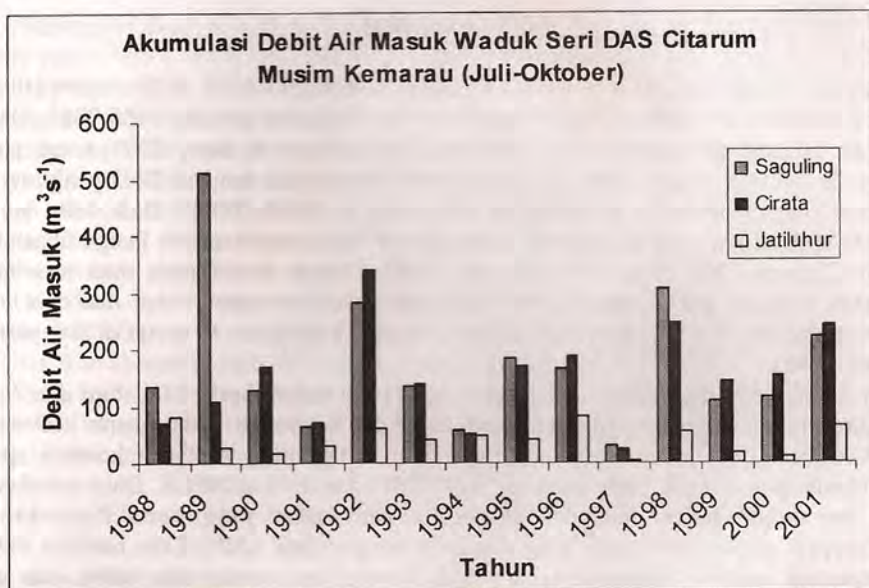
Data ASPL yang digunakan adalah data series pada bulan April, Mei, Juni dan Juli yang masing-masing dipasangkan dengan data akumulasi debit air masuk pada musim kemarau yaitu bulan Juli-Oktober (JASO). Korelasi yang dihasilkan berupa nilai koefisien korelasi spasial di Samudera Hindia dan Pasifik pada zona $30^{\circ}\text{BT}-75^{\circ}\text{BB}$ dan $30^{\circ}\text{LU}-30^{\circ}\text{LS}$. Data sirkulasi angin zonal dan meridional bulan Juni dan Juli 2003 pada zona yang sama digunakan untuk menghasilkan peta vektor arah angin yang *overlay* dengan data ASPL. Data tersebut digunakan untuk memperkuat analisis hubungan secara fisik. Pembuatan *overlay* data ASPL dan sirkulasi angin menggunakan perangkat lunak *Grid Analysis and Display System (GrADS)*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Debit Air Masuk Waduk Seri Sungai Citarum Musim Kemarau

Penurunan debit air masuk disebabkan oleh berkurangnya curah hujan yang merupakan sumber pasokan air di Sungai Citarum. Berdasarkan hasil penelitian Haryanto (1998), pada saat berlangsungnya *El Nino* yaitu saat ASPL di Pasifik tengah dan timur positif maka curah hujan DAS Citarum akan mengalami penurunan pada musim kemarau hingga sebesar 36% (287 mm). Sedangkan pada saat *La Nina* yang ditandai dengan menurunnya ASPL Pasifik tengah dan timur, curah hujan pada musim kemarau di DAS Citarum akan meningkat sebesar 39% (312 mm). Berdasarkan hasil penelitian tersebut, maka kejadian *El Nino* dan *La Nina* memberikan pengaruh yang lebih kuat pada musim kemarau.

Berdasarkan pengamatan data historis, akumulasi debit air masuk musim kemarau waduk seri sungai Citarum menunjukkan jumlah yang berbeda pada masing-masing waduk. Gambar 1 merupakan grafik data realisasi masing-masing waduk pada musim kemarau (Juli-Oktober) untuk periode 1988-2001. Dari data tersebut dapat dilihat terjadinya penurunan akumulasi debit air masuk yaitu pada tahun 1991, 1994 dan 1997. Ketiga tahun tersebut merupakan tahun-tahun kering karena pada saat tersebut berlangsung fenomena *El Nino* (The Long Paddock 2003). Sedangkan pada tahun 1994 dan 1997 merupakan tahun kejadian *IODM* positif di Samudera Hindia (Saji *et al.* 1999).



Gambar 1. Akumulasi debit air masuk (m^3s^{-1}) waduk seri sungai Citarum musim kemarau (Juli-Oktober) periode 1988-2001.

Keterkaitan Debit Air Masuk Lokal Musim Kemarau Waduk Seri Sungai Citarum dengan Perubahan SPL

Hubungan antara akumulasi debit bulanan pada musim kemarau untuk periode Juli-Agustus dengan ASPL dihasilkan menggunakan analisis koefisien korelasi spasial. Hasil analisis korelasi secara spasial dengan menggunakan data tahun 1988-2001 menunjukkan adanya keterkaitan antara ASPL dengan akumulasi debit air masuk pada musim kemarau. Namun, dari beberapa pasangan data yang dibuat, terdapat adanya perbedaan zona SPL di Samudera Hindia dan Pasifik yang menunjukkan korelasi yang cukup tinggi dan signifikan. Zona korelasi yang terbentuk kemungkinan dapat berubah dengan adanya penggunaan jumlah series data yang berbeda. Dari ketiga waduk yang termasuk dalam waduk seri Sungai Citarum, secara umum diperoleh bahwa debit air masuk pada musim kemarau menunjukkan korelasi yang positif dengan perubahan ASPL Samudera Hindia, sedangkan dengan ASPL Samudera Pasifik Tropis menunjukkan nilai korelasi yang negatif.

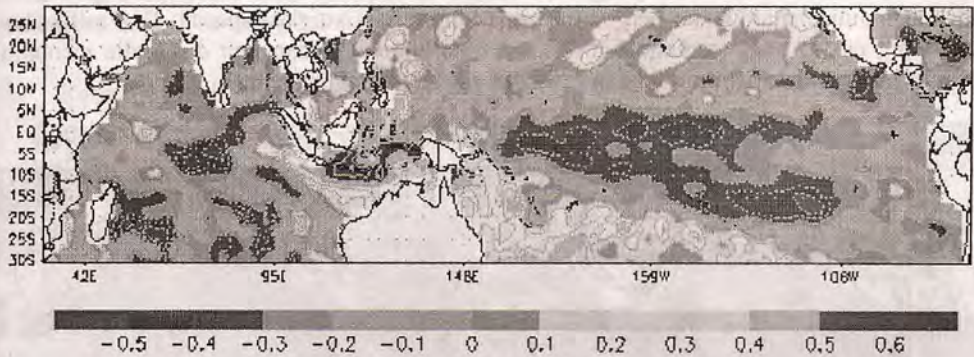
Korelasi yang negatif menunjukkan bahwa terjadinya peningkatan ASPL di zona tersebut berkaitan dengan menurunnya akumulasi debit air masuk musim kemarau pada tiga waduk seri sungai Citarum, begitu pula sebaliknya. Sedangkan korelasi positif menunjukkan bahwa peningkatan ASPL pada zona tertentu berkaitan dengan meningkatnya debit air masuk. Zona konsentrasi nilai korelasi yang cukup tinggi menunjukkan zona yang berbeda untuk masing-masing waduk.

Untuk pasangan korelasi debit air masuk dengan SPL bulan April dan Mei pada masing-masing waduk tidak menunjukkan adanya korelasi yang signifikan pada zona SPL yang terkait dengan kejadian iklim ekstrim terutama di wilayah Samudera Pasifik Tropis bagian tengah dan

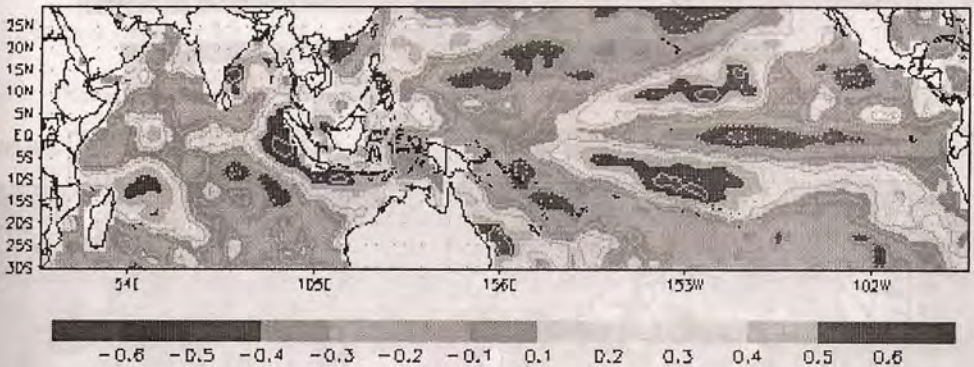
timur, kecuali pada pasangan korelasi dengan SPL bulan Mei untuk Waduk Jatiluhur. Dengan SPL bulan Mei, debit air masuk Waduk Jatiluhur memiliki korelasi yang tinggi dengan SPL pada wilayah Nino-1+2 dan 3.

Di Samudera Hindia, SPL bulan April dan Mei menunjukkan adanya zona konsentrasi korelasi yang tinggi dengan debit air masuk musim kemarau Waduk Saguling dan Cirata di bagian selatan Pulau Jawa dan Bali atau Samudera Hindia bagian tenggara. Sedangkan untuk Waduk Jatiluhur, pada pasangan korelasi dengan SPL bulan April justru menunjukkan zona konsentrasi korelasi di Samudera Hindia bagian timur laut, tepatnya di sebelah selatan Pulau Sumatera dan pada pasangan korelasi dengan SPL bulan Mei berkorelasi dengan SPL Samudera Hindia Selatan.

a) Korelasi Debit Air Masuk Lokal Saguling (Jul–Okt) dengan SPL (Juni)



b) Korelasi debit air masuk lokal Waduk Saguling (Jul–Okt) dengan SPL (Juli)



Gambar 2. Korelasi debit air masuk musim kemarau Waduk Saguling dengan SPL Samudera Hindia dan Pasifik pada a) bulan Juni, b) bulan Juli.

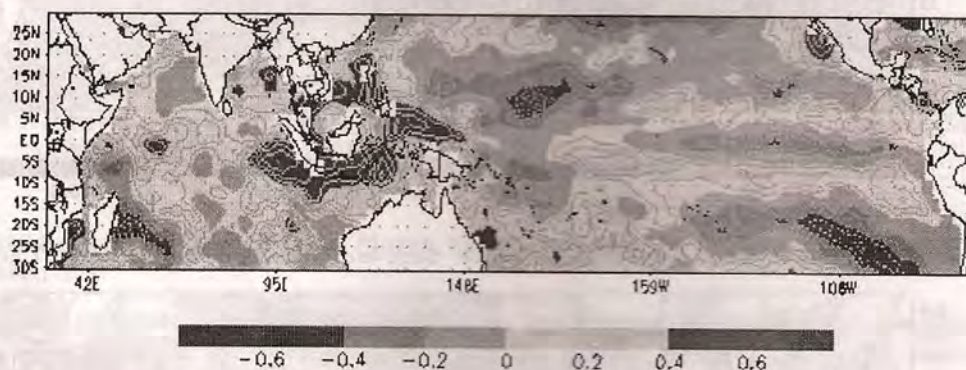
Hasil analisis korelasi spasial memperlihatkan adanya keterkaitan antara ASPL dengan debit air masuk bulanan dengan wilayah lautan yang terkait dengan iklim ekstrim, yaitu untuk zona di Samudera Hindia bagian tenggara yang merupakan salah satu zona dipol yang mencirikan terjadinya fenomena IODM dan di zona bagian tengah dan timur Samudera Pasifik Tropis yang

terkait dengan kejadian *ENSO*, tepatnya di zona Nino-1+2, 3 dan 4. Keterkaitan ini diperlihatkan oleh hasil analisis korelasi spasial yang berpasangan dengan SPL bulan Juni dan Juli. Korelasi spasial SPL bulan Juni dan Juli dengan data debit air masuk musim kemarau menunjukkan keterkaitan dengan ASPL Samudera Hindia dan ASPL Samudera Pasifik untuk masing-masing waduk.

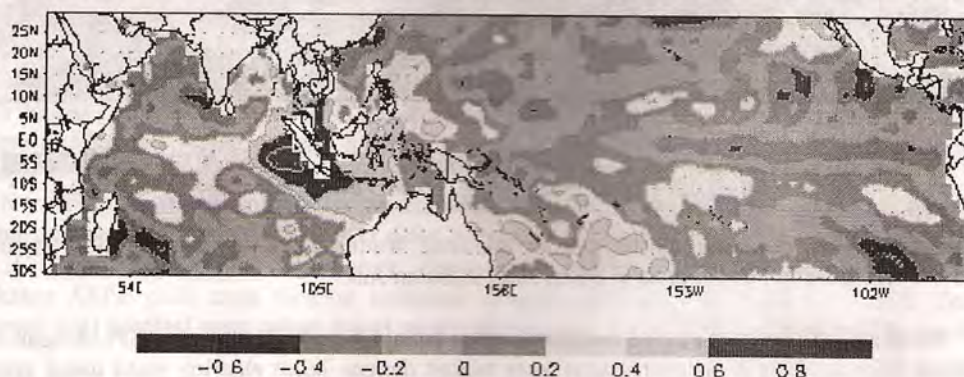
Gambar 2a menunjukkan hasil korelasi spasial debit air masuk Waduk Saguling yang berkorelasi negatif dengan ASPL Pasifik bulan Juni dengan kisaran korelasi antara -0,4 hingga -0,6 di bagian timur Indonesia yaitu sekitar zona Nino 4. Korelasi yang positif hingga $>0,6$ terjadi dengan ASPL Samudera Hindia bagian tenggara, tepatnya di selatan Pulau Jawa, Bali dan Nusa Tenggara. Selain itu juga terbentuk korelasi yang negatif dengan SPL pada bagian tengah Samudera Hindia yaitu di sekitar perairan pulau Jawa.

Pada Gambar 2b, korelasi yang terbentuk untuk debit air masuk Waduk Saguling dengan ASPL bulan Juli menunjukkan pergeseran zona konsentrasi korelasi spasial. Di Pasifik, korelasi negatif yang cukup tinggi terbentuk di sekitar zona Nino-3. Sedangkan di Hindia menunjukkan zona korelasi di sekitar perairan selatan Jawa dan pantai barat Sumatera.

a) Korelasi Debit Air Masuk Lokal Cirata (Jul–Okt) dengan SPL (Juni)



b) Korelasi debit air masuk lokal Waduk Cirata (Jul–Okt) dengan SPL (Juli)

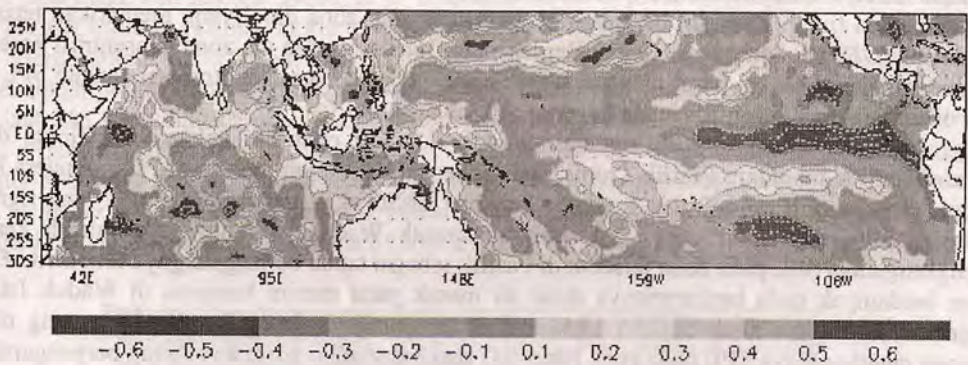


Gambar 3. Korelasi debit air masuk musim kemarau Waduk Cirata dengan SPL Samudera Hindia dan Pasifik pada a) bulan Juni, b) bulan Juli.

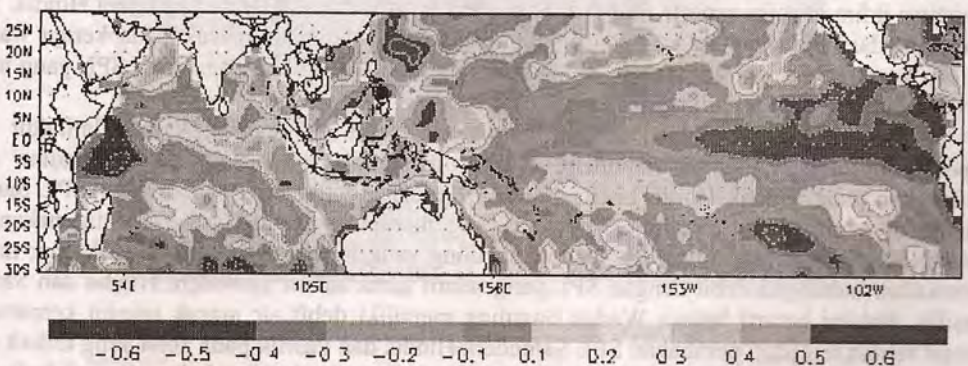
Berdasarkan hasil tersebut, dapat diketahui bahwa debit air masuk musim kemarau Waduk Saguling sangat terkait dengan perubahan ASPL pada bulan Juni dan Juli yaitu di sekitar perairan selatan Pulau Jawa dan Sumatera untuk Samudera Hindia dan pada wilayah ekuator Samudera Pasifik. Di wilayah Pasifik, hubungan yang paling jelas ditunjukkan oleh hubungan dengan SPL bulan Juli.

Pada Waduk Cirata, nilai korelasi yang cukup tinggi ditunjukkan oleh hubungan dengan ASPL Samudera Hindia bulan Juni di sekitar perairan barat Pulau Sumatera dengan nilai kisaran korelasi 0,6 hingga 0,8 (Gambar 3a). Sedangkan di Pasifik menunjukkan adanya keterkaitan yang negatif dengan debit Waduk Cirata pada zona SPL bagian tengah di Nino-3. Akan tetapi, kisaran korelasi yang terbentuk pada zona tersebut relatif kecil, hanya berada pada kisaran korelasi -0,2 hingga -0,4. Hal yang sama juga terjadi pada korelasi dengan SPL bulan Juli (Gambar 3b) dengan nilai korelasi yang lebih kuat terdapat di Samudera Hindia, yaitu di perairan barat Sumatera dibandingkan dengan di wilayah Pasifik Tropis.

a) Korelasi debit air masuk lokal Waduk Jatiluhur (Jul-Okt) dengan SPL (Juni)



b) Korelasi debit air masuk lokal Waduk Jatiluhur (Jul-Okt) dengan SPL (Juli)



Gambar 4. Korelasi debit air masuk musim kemarau Waduk Jatiluhur dengan SPL Samudera Hindia dan Pasifik pada a) bulan Juni, b) bulan Juli.

Berdasarkan hasil korelasi spasial Waduk Cirata untuk periode Juni dan Juli, diduga bahwa perubahan debit air masuk musim kemarau di Waduk Cirata lebih dipengaruhi oleh perubahan SPL di Samudera Hindia bagian tenggara – disamping juga sangat dipengaruhi oleh jumlah pasokan air dari Waduk Saguling– dibandingkan dengan anomali SPL di Samudera Pasifik Tropis. Oleh karena itu perlu diwaspadai apabila terjadi penurunan anomali SPL Samudera Hindia di sebelah barat Sumatera pada bulan Juni dan Juli, karena diduga hal ini akan memperparah penurunan akumulasi debit air masuk di Waduk Cirata. Apalagi jika penurunan anomali SPL tersebut berkaitan dengan terjadinya fenomena *IODM* yang ditandai dengan nilai *Dipole Mode Index (DMI)* yang positif, karena akan berdampak terjadinya kekeringan yang ekstrim di beberapa wilayah di Indonesia, terutama untuk wilayah yang memiliki pola hujan monsun (Faqih 2003).

Agak berbeda dengan Waduk Cirata, debit air masuk musim kemarau Waduk Jatiluhur justru lebih didominasi oleh adanya keterkaitan dengan ASPL Samudera Pasifik Tropis, tepatnya di wilayah Nino-1+2 dan 3 dibandingkan dengan ASPL di Samudera Hindia dekat Pulau Sumatera dan Jawa. Korelasi yang diperoleh untuk wilayah Samudera Hindia dekat Sumatera dan Jawa berada pada kisaran 0,4 hingga 0,6 (Gambar 4a dan 4b). Namun berdasarkan gambar yang sama, terdapat adanya zona konsentrasi korelasi di Samudera Hindia bagian barat di sekitar perairan Afrika bagian timur. Zona ini berkaitan dengan salah satu zona dipol yang mencirikan terjadinya fenomena *IODM* di Samudera Hindia. Berdasarkan Gambar 4a dan 4b, zona konsentrasi korelasi di Samudera Hindia bagian barat menjadi semakin meluas pada pasangan korelasi dengan SPL bulan Juli dibandingkan dengan pasangan korelasi SPL bulan Juni.

Debit air masuk musim kemarau Waduk Jatiluhur memiliki kaitan yang tinggi dengan perubahan SPL samudera Pasifik Tropis. Hal ini berarti bahwa perubahan ASPL Samudera Pasifik Tropis pada zona Nino-1+2 dan 3 selama kejadian *ENSO* akan memiliki dampak yang signifikan terhadap perubahan nilai akumulasi debit air masuk Waduk Jatiluhur pada musim kemarau. Menghangatnya SPL pada zona tersebut di Pasifik sebagai tanda berlangsungnya fenomena *El Nino* akan berdampak pada berkurangnya debit air masuk pada musim kemarau di Waduk Jatiluhur. Kejadian sebaliknya akan berlaku pada saat berlangsungnya fenomena *La Nina* yang ditandai dengan mendinginnya SPL pada zona Nino-1+2 dan 3 dari nilai normalnya yang berpengaruh pada meningkatnya debit air masuk Waduk Jatiluhur pada musim kemarau.

Korelasi spasial yang dihasilkan pada ketiga waduk memiliki keterkaitan dengan terjadinya peristiwa iklim ekstrim seperti *ENSO* di Samudera Pasifik dan *IODM* di Samudera Hindia. Hal ini diketahui dari adanya korelasi yang cukup tinggi untuk debit air masuk pada ketiga waduk di musim kemarau dengan perubahan ASPL bulan Juni dan Juli di beberapa zona SPL yang menjadi ciri dan indikasi bagi terjadinya fenomena ekstrim.

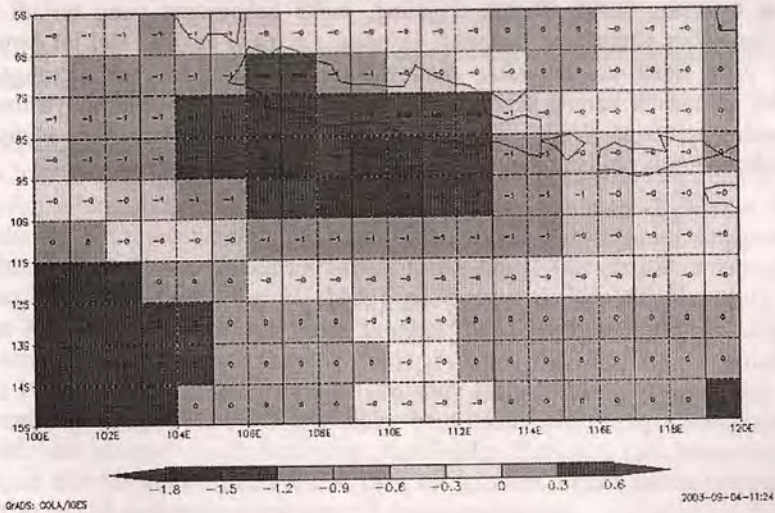
Diantara ketiga waduk tersebut, perubahan debit air masuk Waduk Jatiluhur sangat dipengaruhi oleh terjadinya fenomena *ENSO* dibandingkan dengan adanya kejadian *IODM*. Sedangkan pada Waduk Cirata justru diduga lebih sensitif terhadap perubahan ASPL Samudera Hindia di bagian barat perairan Sumatera yang merupakan salah satu zona digunakan untuk mengindikasikan kejadian *IODM*. Waduk Saguling yang berada di hulu DAS Citarum, memiliki keterkaitan hubungan debit dengan SPL yang relatif sama antara Samudera Hindia dan Samudera Pasifik. Hal ini berarti bahwa Waduk Saguling memiliki debit air masuk musim kemarau yang sangat rentan terhadap perubahan SPL Samudera Hindia dan Pasifik pada zona yang terkait dengan fenomena iklim ekstrim seperti *ENSO* dan *IODM*. Karena letak Waduk Saguling di hulu Sungai Citarum, maka berkurangnya debit air masuk di waduk tersebut pada saat terjadinya kekeringan yang mungkin diakibatkan sebagai dampak berlangsungnya fenomena *El Nino* ataupun *IODM* positif juga akan mempengaruhi penurunan debit air masuk di Waduk Cirata yang berada di tengah dan Jatiluhur yang berada di bagian hilir DAS Citarum.

Berdasarkan hasil analisis yang diperoleh ini maka baik kejadian *ENSO* maupun *IODM* masing-masing akan menimbulkan dampak yang nyata terhadap perubahan jumlah akumulasi debit air masuk di ketiga waduk. Khusus pada musim kemarau, berlangsungnya fenomena *El Nino* maupun *IODM* positif yang berhubungan dengan kekeringan yang terjadi di Indonesia akan mengakibatkan terjadinya penurunan jumlah akumulasi debit air masuk yang berarti pula terjadinya penurunan tinggi muka air waduk dan berkurangnya suplai air untuk berbagai kebutuhan masyarakat.

Kondisi SPL bulan Juni dan Juli 2003 serta kaitannya dengan kekeringan yang mengakibatkan berkurangnya debit air masuk di waduk seri Sungai Citarum

Berdasarkan data ASPL global yang diperoleh dari data optimum interpolasi NOAA, kondisi ASPL bulan Juni 2003 di sekitar Pulau Jawa menunjukkan kondisi sedikit di bawah normal yaitu sebesar $-0,5^{\circ}\text{C}$. Namun pada bulan Juli 2003 dapat dilihat adanya penurunan nilai ASPL di Samudera Hindia, terutama di selatan Pulau Jawa yang turun cukup drastis. Penurunan ASPL yang terjadi pada bulan Juli hingga mencapai -2°C terkonsentrasi di perairan selatan Jawa Barat hingga Jawa Tengah, yaitu pada zona sekitar 8° - 10° LS dan 104° - 113° BT (Gambar 5).

Berdasarkan Gambar 6a dan 6b, dapat dilihat tekanan tinggi di selatan Pulau Jawa menyebabkan pergerakan angin tenggara dekat permukaan pada bulan Juni dan Juli menuju arah barat laut dan kemudian berubah arah menuju timur laut setelah melintasi ekuator. Menurunnya ASPL di selatan Pulau Sumatera dan Jawa mengakibatkan terbentuknya zona tekanan tinggi di atmosfer di atasnya sebagai bentuk adanya fenomena kopel interaksi lautan-atmosfer. Zona tekanan tinggi yang terbentuk ini memperkecil peluang terbentuknya awan hujan karena berkurangnya evaporasi lautan yang terjadi pada zona SPL tersebut.



Gambar 5. Kondisi ASPL Samudera Hindia di selatan Pulau Sumatera dan Jawa pada bulan Juli 2003.

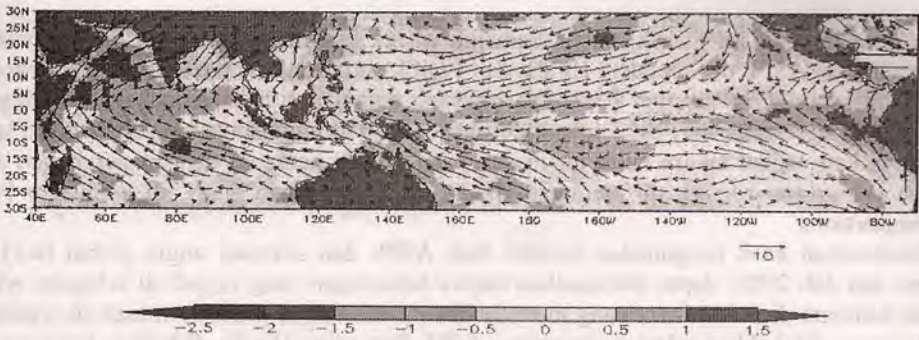
Kondisi turunnya ASPL di Samudera Hindia bagian tenggara inilah yang diduga menyebabkan kekeringan yang cukup parah selama musim kemarau 2003. Kekeringan yang terjadi selama musim kemarau ini menyebabkan menurunnya jumlah debit air masuk di musim kemarau pada ketiga waduk seri Sungai Citarum, terutama pada Waduk Saguling dan Cirata karena berdasarkan hasil analisis korelasi sebelumnya, kedua waduk tersebut memiliki korelasi yang signifikan dengan perubahan SPL di selatan Pulau Jawa.

Di Samudera Pasifik, terutama dibagian timur yaitu sekitar zona Nino-1+2 juga terjadi penurunan ASPL. Dinginnya ASPL di bagian timur Pasifik pada zona Nino-1+2 menunjukkan tidak adanya aktifitas *El Nino* selama awal tahun hingga pengamatan pada bulan Juli 2003. Bahkan, dengan nilai penurunan ASPL hingga mencapai -2°C di zona Nino-1+2 mengindikasikan terjadinya fenomena *La Nina* di Pasifik. Seharusnya berdasarkan analisis korelasi yang dihasilkan sebelumnya, peningkatan ASPL di zona Nino-1+2 akan berkaitan dengan terjadinya peningkatan akumulasi debit air masuk musim kemarau terutama di Waduk Jatiluhur. Akan tetapi berdasarkan Gambar 6a dan 6b keterkaitan peningkatan debit air masuk pada musim kemarau tersebut tidak terjadi. Hal ini dapat diketahui melalui analisis fisik dari peta sirkulasi angin di Samudera Pasifik pada bulan Juni dan Juli 2003.

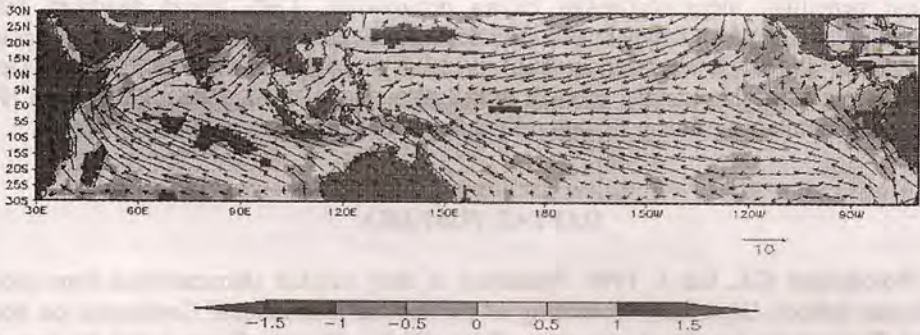
Penurunan ASPL di zona Nino-1+2 menghasilkan zona tekanan tinggi di wilayah tersebut akibat adanya interaksi lautan-atmosfer. Tekanan tinggi di wilayah tersebut menimbulkan pergerakan angin ke arah barat menuju pusat tekanan rendah di Pasifik Barat. Pusat tekanan rendah yang terbentuk tidak terjadi di sekitar wilayah perairan Indonesia, melainkan di perairan bagian utara Papua Nugini untuk bulan Juni dan di perairan bagian timur Papua Nugini untuk bulan Juli. Sehingga di wilayah Indonesia terutama di sekitar Pulau Jawa tidak terbentuk zona konvergensi yang dapat meningkatkan evaporasi lautan yang menimbulkan pembentukan awan hujan.

Hasil analisis data ASPL dan sirkulasi angin untuk bulan Juni dan Juli 2003 menunjukkan bahwa jika dikaitkan dengan hasil korelasi sebelumnya dengan debit air masuk di waduk seri sungai Citarum terutama untuk Waduk Saguling, maka kekeringan yang terjadi pada musim kemarau 2003 bukanlah disebabkan pengaruh kejadian *ENSO* di Pasifik. Hal ini dapat dilihat dari ASPL Pasifik yang tidak menunjukkan peningkatan sebagai tanda berlangsungnya *El Nino*. Penurunan debit air masuk karena kekeringan yang mengakibatkan menurunnya tinggi muka air pada ketiga waduk terutama Waduk Saguling diduga lebih disebabkan oleh adanya penurunan ASPL di Samudera Hindia bagian tenggara, tepatnya di selatan Pulau Jawa.

a) Juni 2003



b) Juli 2003



Gambar 6. Overlay ASPL dengan sirkulasi angin (u,v) Samudera Hindia dan Pasifik tahun 2003 pada a) bulan Juni, dan b) bulan Juli.

Jika diperhatikan kondisi ASPL di Samudera Hindia bagian ekuator pada Gambar 6a dan 6b, pada bulan Juni dan Juli terlihat adanya perbedaan anomali di bagian barat dan timur/tenggara Samudera Hindia sehingga terbentuk adanya dipol. Kondisi anomali di sekitar bagian barat Samudera Hindia terlihat mengalami peningkatan sedangkan di bagian timur/tenggara mengalami penurunan. Sehingga ada kemungkinan terjadinya fenomena *IODM* positif di Samudera Hindia. Berdasarkan hasil analisis fisik Saji *et al.* (1999), pada saat kejadian *IODM* positif, ASPL yang dingin pertama kali tampak di sekitar Selat Lombok pada periode Mei-Juni, disertai adanya anomali angin tenggara yang moderat di bagian tenggara Samudera Hindia. Pada bulan berikutnya, anomali dingin bersifat intensif dan nampak berpindah menuju ekuator sepanjang garis pantai Indonesia, sementara samudera Hindia tropis bagian barat mulai menghangat. Anomali angin zonal sepanjang ekuator dan anomali angin sepanjang pantai dekat Sumatera dan Jawa menjadi intensif bersamaan dengan adanya dipol SPL. Puncak yang tinggi akan terjadi secara dramatis terjadi di bulan Oktober dan terjadi penurunan yang cepat di bulan berikutnya.

Jika kemungkinan intensitas *IODM* positif semakin meningkat, maka akan berdampak pada kekeringan yang ekstrim di musim kemarau 2003 karena memperlambat terjadinya musim hujan. Curah hujan yang berkurang akan berpengaruh pada penurunan debit air masuk musim kemarau terutama di Waduk Saguling dan Waduk Cirata, yang selanjutnya secara langsung akan mempengaruhi penurunan debit air masuk di Waduk Jatiluhur yang berada di hilir.

KESIMPULAN

Penurunan debit air masuk musim kemarau waduk seri Sungai Citarum diduga berkaitan dengan perubahan ASPL di Samudera Hindia dan Pasifik pada zona yang terkait dengan fenomena iklim ekstrim seperti *El Nino* dan *IODM* positif yang berdampak pada terjadinya kekeringan di Indonesia. Hal ini ditandai dari hasil yang diperoleh dengan menggunakan analisis korelasi spasial yaitu adanya keterkaitan antara debit air masuk pada musim kemarau dengan perubahan ASPL pada zona bagian timur/tenggara Samudera Hindia maupun dengan ASPL di Samudera Pasifik bagian tengah/timur.

Berdasarkan hasil pengamatan kondisi fisik ASPL dan sirkulasi angin global (u,v) pada bulan Juni dan Juli 2003, dapat disimpulkan bahwa kekeringan yang terjadi di sebagian wilayah Indonesia terutama di Pulau Jawa yang menyebabkan menurunnya debit air masuk di waduk seri Sungai Citarum disebabkan adanya penurunan ASPL Samudera Hindia di bagian tenggara yang merupakan zona identifikasi fenomena *IODM*.

Hasil penelitian mengindikasikan bahwa penggunaan ASPL dapat dijadikan sebagai indikator untuk menunjukkan kondisi perubahan debit air di tiga waduk, artinya bahwa kondisi air di waduk dapat diprediksi berdasarkan hasil prediksi di lautan Pasifik dan Hindia. Dengan demikian informasi ramalan kondisi anomali di kedua tempat yaitu Samudera Pasifik dan Hindia dapat digunakan untuk penyusunan strategi pengelolaan sumberdaya air di DAS Citarum.

DAFTAR PUSTAKA

- Boer R, Notodiputro KA, Las I. 1999. Prediction of daily rainfall characteristics from monthly climate indices. Di dalam: Proceeding of the Second International Conference on Science and Technology for the Assessment of the Global Climate Change and Its Impact on Indonesian Maritime Continent; 29 November-01 Desember 1999.
- Haryanto U. 1998. Pengaruh kecenderungan perubahan indeks osilasi selatan (SOI) terhadap curah hujan di DAS Citarum. Di dalam: Prosiding Konferensi Energi: Sumberdaya Alam dan Lingkungan; 4 Agustus 1998. Jakarta: BPPT
- Faqih A. 2003. Analisis pola spasial dan temporal anomali suhu permukaan laut di Samudera Pasifik, Hindia dan Atlantik serta kaitannya dengan anomali curah hujan bulanan [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
- Kalnay *et al.* 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of American Meteorological Society*.
- Neelin JD *et al.* 1998. ENSO theory. *J. Geophys. Res.* 103:14261-14290.
- Prabowo M, Nicholls N. 2002. Osilasi Selatan. Di Dalam: Partridge IJ, Ma'shum M, editor. Kapan Hujan Turun?: Dampak Osilasi Selatan dan El Nino di Indonesia. Brisbane: DPI Publishing Services.
- Reynolds RW, Smith TM. 1994. Improved global sea surface temperature analyses. *J. Climate* 7: 929-948.
- Saji NH, Goswami BN, Vinayachandran PN, Yamagata T. 1999. A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature Magazine* 401:360-363.

