

## **ANALISIS TRANSPOR UAP AIR ATMOSFER DI BENUA MARITIM INDONESIA**

**Indah Susanti**

**Bidang Komposisi Atmosfer – PSTA LAPAN Bandung**

**indahpl@gmail.com**

### **ABSTRAK**

Makalah ini menekankan pentingnya pemahaman yang baik dan benar tentang mekanisme terjadinya transpor uap air atmosfer yang melintasi Benua Maritim Indonesia (BMI) yang terletak diantara 20°LS-20°LU dan 80-150°BT, terkait dengan terjadinya perbedaan yang tegas/jelas antara musim hujan dan kemarau. Berbasis hasil analisis parameter kelembaban spesifik, besar dan arah angin yang diekstrak dari data reanalisis *Modern Era-Restrospective Analysis for Research and Application* (MERRA) rata-rata bulanan, selama 10 tahun pengamatan periode Januari 2003-Desember 2012, maka diturunkanlah satu besaran transpor uap air, dinyatakan sebagai *Vertically Integrated Moisture Transport* (VIMT, kg/ms), baik secara zonal (T-B) dan meridional (U-S). Hasil analisis secara zonal menunjukkan bahwa uap air dari Laut Cina Selatan dan Samudra Hindia relatif besar mendominasi sistem transpor uap air di bagian utara BMI dengan pola musiman yang sangat jelas, diduga terkait dengan adanya pengaruh monsun Asia. Sebaliknya, di bagian selatan BMI, transpor uap air yang terjadi lebih fluktuatif. Sementara analisis meridional menunjukkan kumpulan uap air yang berasal dari Laut Cina Selatan dan Samudra Hindia masuk ke BMI mencapai puncaknya selama bulan Desember, Januari dan Februari (DJF) dengan nilai sekitar 360 kg/ms. Akumulasi nilai tersebut terlihat jelas di sepanjang garis 5°LU diantara 80-95°BT dan 95-120°BT, yang ditunjukkan dengan VIMT meridional berkisar  $30 \times 10^7$  kg/detik. Dengan nilai VIMT meridional batas yang hampir sama, pada bulan-bulan Juni-Juli-Agustus (JJA), di daerah tersebut terjadi transpor dengan arah yang berlawanan arah atau keluar dari BMI. Transpor uap air di bagian selatan BMI menunjukkan nilai yang lebih bervariasi dibandingkan dengan bagian utara BMI diduga akibat kombinasi pengaruh dari berbagai sumber uap air yang melintasi kawasan tersebut.

Kata kunci : uap air, VIMT, zonal. Meridional, transpor.

### **ABSTRACT**

This paper emphasizes the importance of properly understanding about the mechanisms of atmospheric water vapor transport across the Indonesian maritime continent (BMI) which is located between 20°LS-20°LU and 80-150°BT, associated with the occurrence of a clear distinction between wet and dry seasons. Based on the results of the analysis of specific humidity parameters, magnitude and direction of the wind which is extracted from reanalysis data Restrospective Modern Era-Analysis for Research and Application (MERRA) monthly average, during the 10-year observation period January 2003 - December 2012, then derived the mass transport of the water vapor, expressed as Vertically Integrated Moisture Transport (VIMT, kg / ms), both the zonal (TB) and meridional (USD). The results of the analysis indicate that the zonal moisture from the South China Sea and the Indian Ocean dominates the relatively large water vapor transport system in the northern part of BMI with a very clear seasonal pattern, allegedly linked to the influence of the Asian monsoon. In contrast, in the southern part of BMI, water vapor transport occurs more volatile. While the analysis shows a collection of meridional water vapor coming from the South China Sea and the Indian Ocean entrance to the BMI reaches its peak during the months of December, January and February (DJF) with a value of about 360 kg / ms. The accumulation value is clearly visible along the line between 80-95°BT 5°LU and 95-120°BT, as indicated by the meridional ranges VIMT 30x10<sup>7</sup> kg / sec. With VIMT meridional boundary value almost the same, in-June-July-August (JJA), in the area of transport occurs in the opposite direction out of the way or BMI. Water vapor transport in the southern part of BMI showed a more variable values than the northern part of BMI presumably due to the combined effects of the various sources of water vapor across the region.

Keywords: water vapor, VIMT, zonal. Meridional, transport.

### **1 PENDAHULUAN**

Transpor uap air merupakan mekanisme penting yang dapat menentukan kadar uap air di suatu daerah. Kadar uap air itu sendiri merupakan salah satu faktor yang akan menentukan curah hujan. Semakin tinggi kadar uap air, maka peluang terjadinya hujan semakin besar. Uap air yang ada di atas daerah tertentu, dapat berasal dari penguapan air permukaan di bawahnya, atau berasal dari daerah lain yang mengalami

transporasi karena pengaruh angin, atau karena gabungan keduanya. Indonesia sebagai negara maritim di daerah tropis dengan uap air yang berlimpah. Sebagai negara kepulauan yang didominasi oleh wilayah perairan tropis, potensi penguapan yang terjadi akan sangat besar. Demikian pula bila dilihat dari posisi geografis Indonesia yang berada di antara Samudra Hindia dan Samudra Pasifik, maka potensi transpor uap air yang sangat besar pula. Dalam beberapa referensi, seperti yang diungkapkan oleh Rodwell dan Hoskings (2001) serta Fasullo dan Webster (2002), Lautan Hindia maupun Lautan Pasifik yang sering menjadi lokasi terjadinya konsentrasi terbesar pemanasan laten di Bumi. Selain itu, salah satu fenomena anomali suhu permukaan laut di Lautan Pasifik dan Lautan Hindia yang dikenal sebagai *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) telah terbukti menjadi salah satu penyebab terjadinya anomali curah hujan di Indonesia. Tentunya, dalam mekanismenya melibatkan proses perpindahan uap air dari kedua lautan tersebut ke Indonesia.

Dalam variasi musimannya, curah hujan di Indonesia dipengaruhi oleh monsun Asia dan Australia. Fluktuasi hujan monsun pada umumnya disertai oleh perubahan pemanasan atmosfer dalam skala Asia Selatan (Fasullo dan Webster 2002), fase basah dipengaruhi oleh musim panas dan udara lembab, sebaliknya pada fase kering dipengaruhi oleh musim dingin dan kering (Webster dkk. 1998; Yulihastin 2010). Penelitian telekoneksi terhadap wilayah monsun menghasilkan korelasi moderat antara anomali curah hujan selama Juni Juli Agustus September (JJAS) dan suhu permukaan laut (SST) di Lautan Pasifik tropis timur dalam skala waktu *innerannual* sekitar -0,55 (Walker 1923; Barnett 1983; Shukla dan Paolina 1983; Rasmusson dan Carpenter 1983). Fisis alamiah telekoneksi monsun-ENSO sering dijelaskan sebagai interaksi antara sirkulasi Hadley di wilayah monsun dengan perubahan-perubahan konvergensi kelembaban yang dikendalikan oleh angin pasat dan gangguan sirkulasi Walker selama ENSO (Rasmusson dan Carpenter 1983, Barnett 1983, 1984; Webster dan Yang 1992).

Pemahaman mengenai transpor kelembaban atmosfer dapat meningkatkan kemampuan dalam mengestimasi curah hujan monsun (Piexoto dan Ort 1992, Chen dkk 2008). Keterbatasan seringkali menjadi hambatan dalam memahami proses-proses transpor kelembaban. Namun ketersediaan data satelit ataupun data reanalisis yang memiliki kualitas baik, dapat membantu dalam mempelajari hidrologi atmosfer, khususnya yang menghubungkan transpor kelembaban dengan curah hujan monsun. Tulisan ini menguraikan variasi transpor kelembaban di Indonesia dengan menggunakan data reanalisis beresolusi temporal bulanan, sehingga dapat mengetahui kecenderungan besaran transpor uap air di Indonesia. Dalam hal ini, kelembaban spesifik menjadi parameter yang digunakan untuk menunjukkan adanya uap air.

## **2 DATA DAN METODOLOGI**

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data reanalisis *Modern Era-Retrospective Analysis for Research and Application* (MERRA), yang mencakup parameter kelembaban spesifik, besar dan arah angin zonal serta meridional. Versi data MERRA yang digunakan adalah *inst\_3d\_asm\_Cp* (MAI3CPASM atau MERRA IAU *3d assimilated state on pressure*), dengan dimensi grid 288 bujur x 144 lintang (1,25x1,25°) dan resolusi temporal bulanan. Pertimbangan yang digunakan dalam penggunaan data MERRA adalah bahwa hasil perbandingan antara data MERRA, NCEP, dan pengukuran insitu di beberapa lokasi daerah tropis sekitar Indonesia, menunjukkan bahwa MERRA memiliki validitas yang lebih baik untuk beberapa ketinggian atmosfer (Dessler dan Davis, 2010), terutama untuk lapisan atmosfer dekat permukaan. Secara horizontal, wilayah studi dibatasi pada 20 LS-20 LU dan 80-150 BT dengan bulan analisis Januari 2003-Desember 2012.

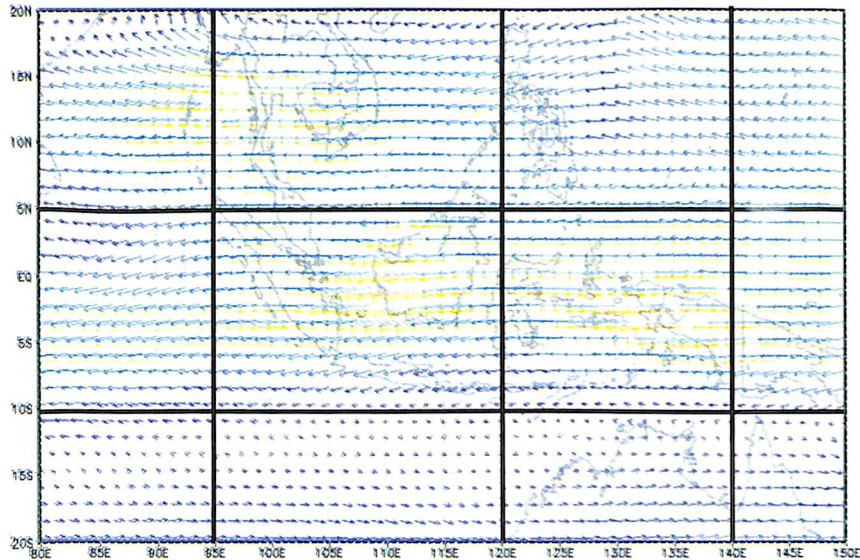
Untuk mengetahui modus transpor uap air di Indonesia, metodologi yang digunakan adalah dengan menghitung *vertically integrated moisture transport (VIMT)* dan menghitung akumulasi VIMT pada batas wilayah tertentu. Adapun tahapan dari metodologi yang digunakan, antara lain:

- a. menghitung VIMT (kg/ms) bulanan. VIMT dihitung dengan menggunakan parameter kelembaban spesifik, komponen angin zonal dan meridional, dengan persamaan sebagai berikut :

$$VIMT = \frac{1}{g} \sum_{j=1}^J q_j (u_j, v_j) \Delta p_j \quad (1)$$

dengan  $g$  adalah percepatan gravitas,  $q$  adalah kelembaban spesifik (kg/kg),  $u$  adalah angin zonal,  $v$  adalah angin meridional, dan  $\Delta p$  adalah ketebalan lapisan berdasarkan perbedaan tekanan (Fasullo dan Webster 2002). VIMT dihitung dengan membagi lapisan atmosfer menjadi dua lapisan, lapisan bawah dan lapisan atas. Lapisan bawah adalah lapisan atmosfer yang memiliki tekanan dari 1000 mb sampai 600 mb. Sedangkan lapisan atas adalah lapisan atmosfer yang memiliki tekanan 400 mb sampai 150 mb. Yang dihitung dari persamaan VIMT tersebut adalah besaran transpor dalam satuan panjang dan waktu tertentu (kg/ms)

- b. Menghitung VIMT batas, yaitu jumlah transpor kelembaban ke wilayah tertentu berdasarkan arah zonal dan meridional. VIMT batas dihitung dengan menggunakan perkalian antara VIMT dengan panjang kawasan yang akan dianalisis. Penentuan kawasan yang dihitung, dilakukan berdasarkan Gambar 1.
- c. Menghitung rata-rata bulanan VIMT dan anomali VIMT batas dari sepanjang tahun yang dianalisis untuk mengetahui modus atau kecenderungan transpor kelembaban yang terjadi di Indonesia dan perubahan ekstrim yang terjadi.



**Gambar 1.** Wilayah studi dan pembagiannya.

Sebagai interpretasinya, VIMT meridional yang bernilai positif, menunjukkan transpor ke arah utara, VIMT meridional yang bernilai negatif menunjukkan transpor ke atas selatan, VIMT zonal yang bernilai positif menunjukkan transpor ke arah timur, dan VIMT zonal yang bernilai negatif menunjukkan transpor ke arah barat.

### **3 HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **3.1 Pola Transpor Uap Air di Lapisan Bawah**

Dari hasil pengolahan data yang telah dilakukan, dapat ditunjukkan besarnya transporasi uap air di atmosfer BMI lapisan bawah berdasarkan nilai VIMT hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 2. Dari gambar tersebut terlihat bahwa transpor uap air dari Lautan Hindia, Pasifik Barat dan Laut Cina Selatan adalah kontributor terbesar bagi massa uap air di BMI dengan perbedaan periode. Di BMI yang ada di belahan Bumi utara, uap air pada bulan Desember-Januari-Februari pada umumnya berasal dari Laut Cina Selatan untuk Indonesia bagian barat dan sebagian Indonesia bagian tengah yang terbawa oleh monsun timur laut. Sedangkan untuk Indonesia bagian timur dan sebagian Indonesia bagian tengah, berasal dari Lautan Pasifik untuk dengan transpor uap air rata-rata lebih dari 360 kg/ms. Selain itu, untuk

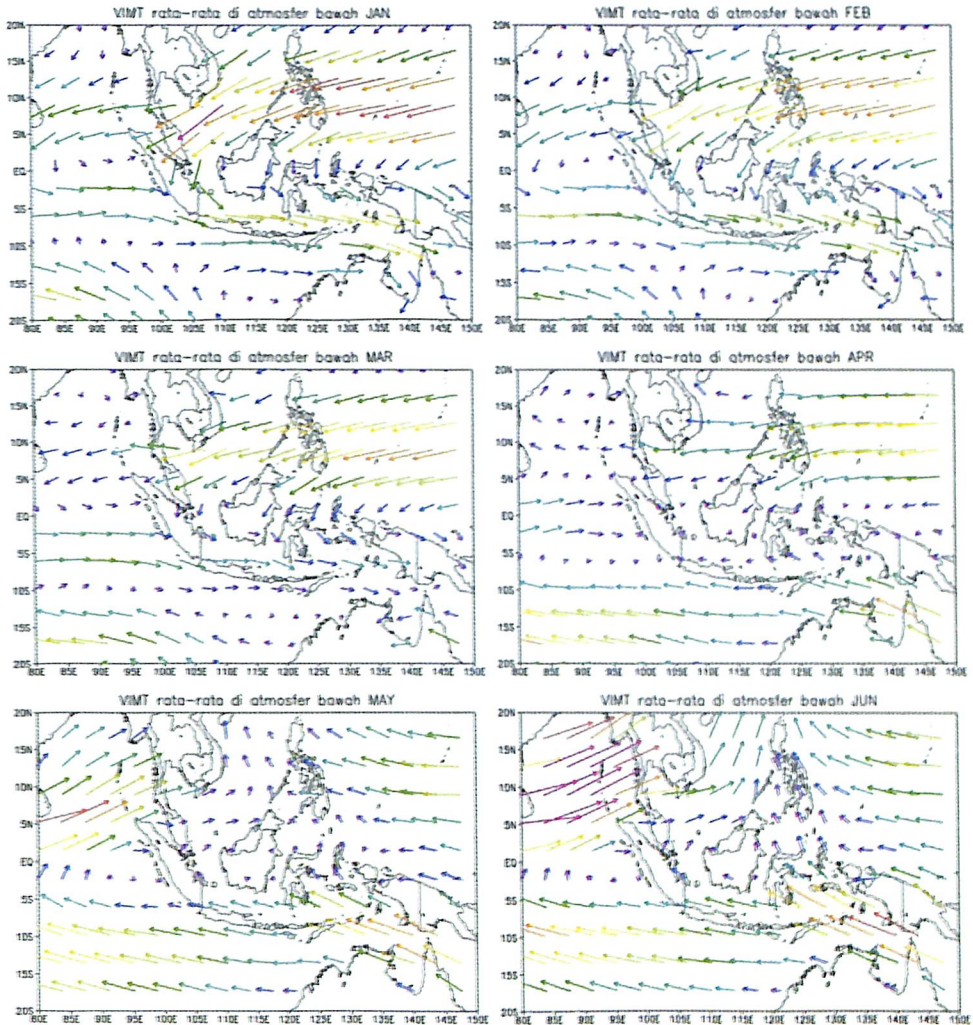
BMI di selatan ekuator, uap air pada bulan tersebut juga bersumber dari Lautan Hindia yang terbawa oleh angin barat laut sebagai pembelokan arah dari timur laut saat melewati ekuator, dengan besaran transpor yang lebih kecil dari uap air Laut Cina Selatan dan Pasifik Barat. Penambahan massa uap air yang mengalir dari Laut Cina Selatan pada bulan Januari, Februari dan Maret menyebabkan adanya penguatan transpor di perairan Indonesia seperti di Laut Jawa yang pada bulan-bulan tersebut terjadi transpor lebih 240 kg/ms. Besarnya transpor tersebut juga mendapat kontribusi dari transpor massa udara yang berasal dari Lautan Hindia yang terdorong oleh angin barat laut.

Pada bulan selanjutnya, transpor uap air dari Laut Cina Selatan dan Lautan Pasifik ke BMI mengalami pelemahan. Selama bulan Maret dan April transpor uap air dari Pasifik barat menurun menjadi sekitar 280 kg/ms. Hal ini juga karena kecepatan dan arah angin kurang memberikan dorongan terhadap uap air untuk memasuki BMI, dan pada bulan Mei mulai terjadi pembalikan arah angin, sehingga uap air cenderung mengalir ke arah utara sampai bulan September.

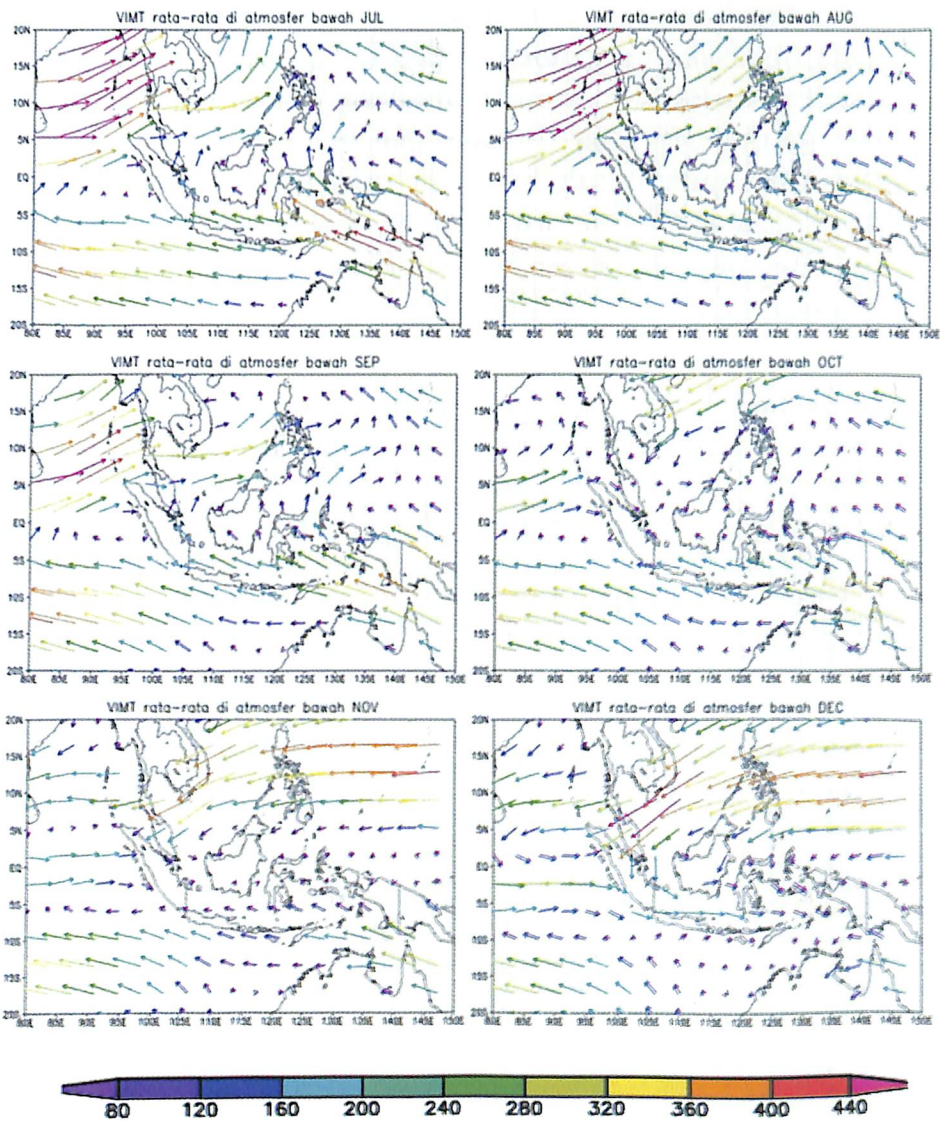
Pada saat angin cenderung mendorong uap air dari Pasifik Barat ke arah utara selama bulan Juni-Juli-Agustus-September, transpor dari Lautan Hindia justru mengalami penguatan. Penguatan transpor uap air tersebut terjadi maksimum di sekitar Teluk Benggala, di mana beberapa peneliti menyatakan hal ini sebagai onset monsun. Selain itu, terjadi pula penguatan transpor di Laut Arafuru sampai lebih dari 360 kg/ms, yang menambah massa uap air di sekitar Kepulauan Maluku dan sekitarnya. Pada bulan lainnya, transpor uap air di Laut Arafuru ini kurang dari 200 kg/ms.

Bulan Oktober, arah angin mulai berbalik lagi, namun baru terjadi untuk daerah di atas 15°LU. Pembalikan arah terjadi merambat ke selatan, dan pada bulan November mulai terjadi angin timur laut di belahan Bumi utara yang membawa uap air dari Pasifik barat ke BMI dengan besaran kurang lebih mencapai 360 kg/ms. Sedangkan di belahan Bumi selatan, terjadi angin tenggara dan transpor uap air pada atmosfer barat dari Lautan Hindia melemah yang hanya mencapai 160 kg/ms. Untuk perairan di sekitar Maluku, pada bulan November, transpor dari

Pasifik barat dan Laut Arafuru sama lemahnya, kurang lebih 40 kg/ms, sehingga tidak terjadi dominasi transpor uap air di atmosfer bawah. Namun pada bulan Desember, ketika transpor dari Pasifik Barat menjadi sekitar 400 kg/ms, terjadi dominasi transpor di perairan sekitar Maluku dari arah barat laut dan terjadi peningkatan transpor mencapai lebih dari 80 kg/ms.







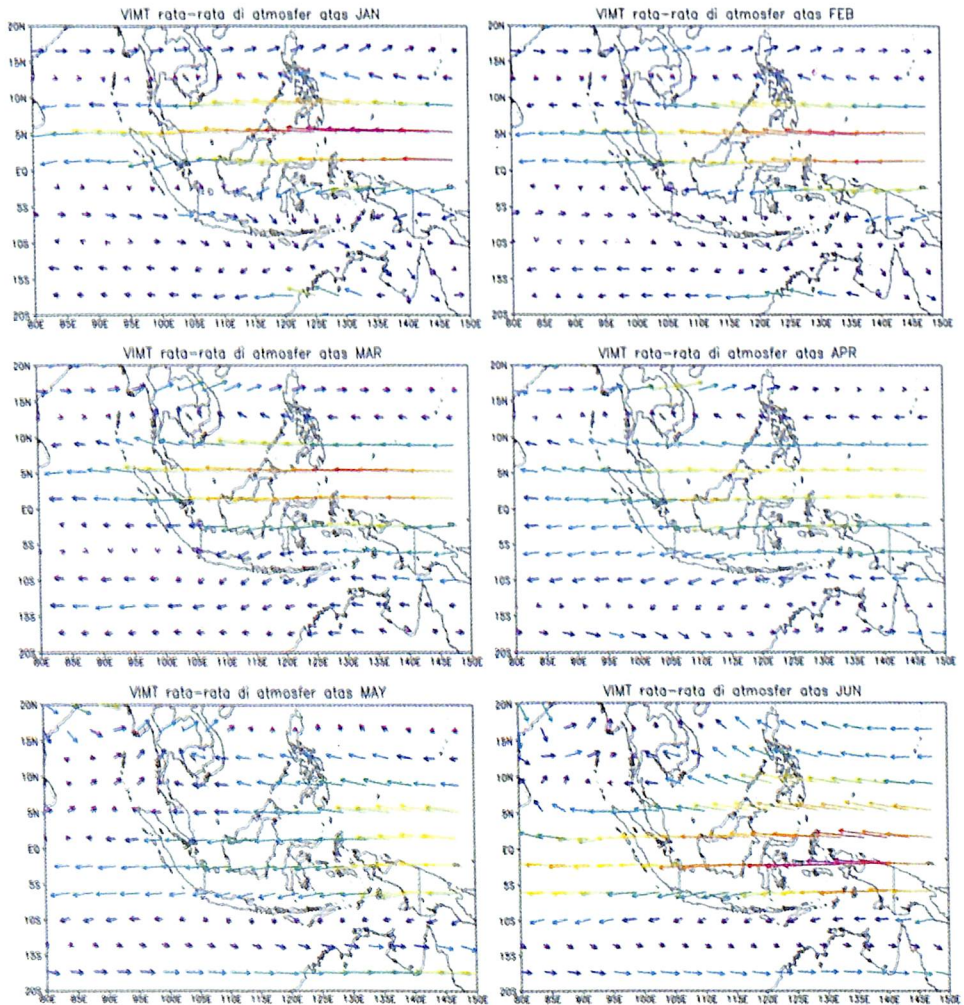
**Gambar 2.** VIMT rata-rata bulanan untuk lapisan atmosfer bawah.

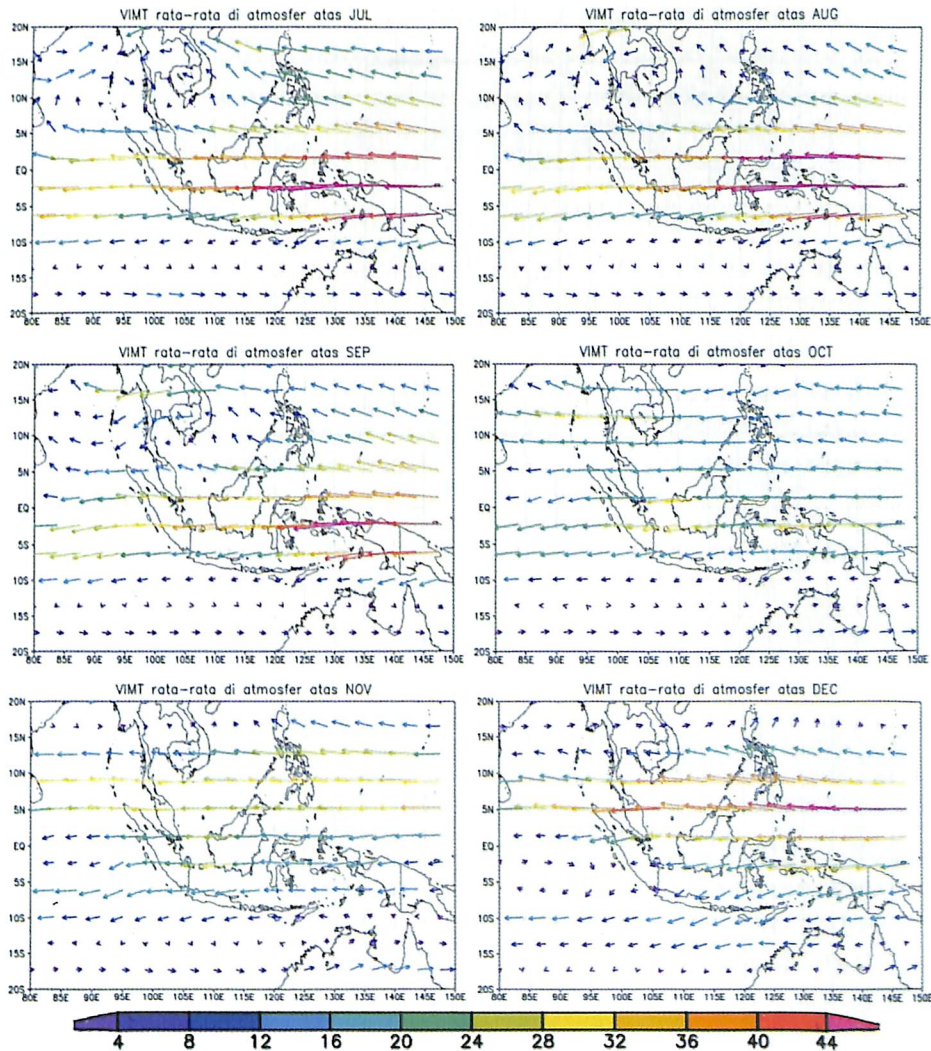
### 3.2 Pola Transport Uap Air di Lapisan Atas

Di lapisan atas, uap air dari Pasifik Barat mendominasi transport uap air ke arah BMI hampir sepanjang tahun. Bulan transport uap air terkecil terjadi pada bulan April, Mei, Oktober dan November (kurang dari 32 kg/ms), dan terbesar pada bulan Juni, Juli dan Agustus (lebih besar dari 40 kg/ms).

Besaran transport uap air pada lapisan atas ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan transport uap air di lapisan bawah,

yaitu hanya sekitar 1/10 bagiannya. Apabila diperhatikan, jika pada bulan Januari transpor uap air di lapisan troposfer bawah dari Pasifik Barat maksimal terjadi di sekitar 10°LU, maka untuk lapisan troposfer atas, transpor maksimum terjadi di sekitar 5°LU. Demikian pula untuk bulan Februari dan Maret. Maka dapat dikatakan bahwa secara vertikal, terjadi pergeseran kekuatan transpor uap air ke arah ekuator, atau dapat dikatakan terjadi pemusatan ke arah ekuator.





**Gambar 3.** VIMT rata-rata bulanan untuk lapisan atmosfer atas.

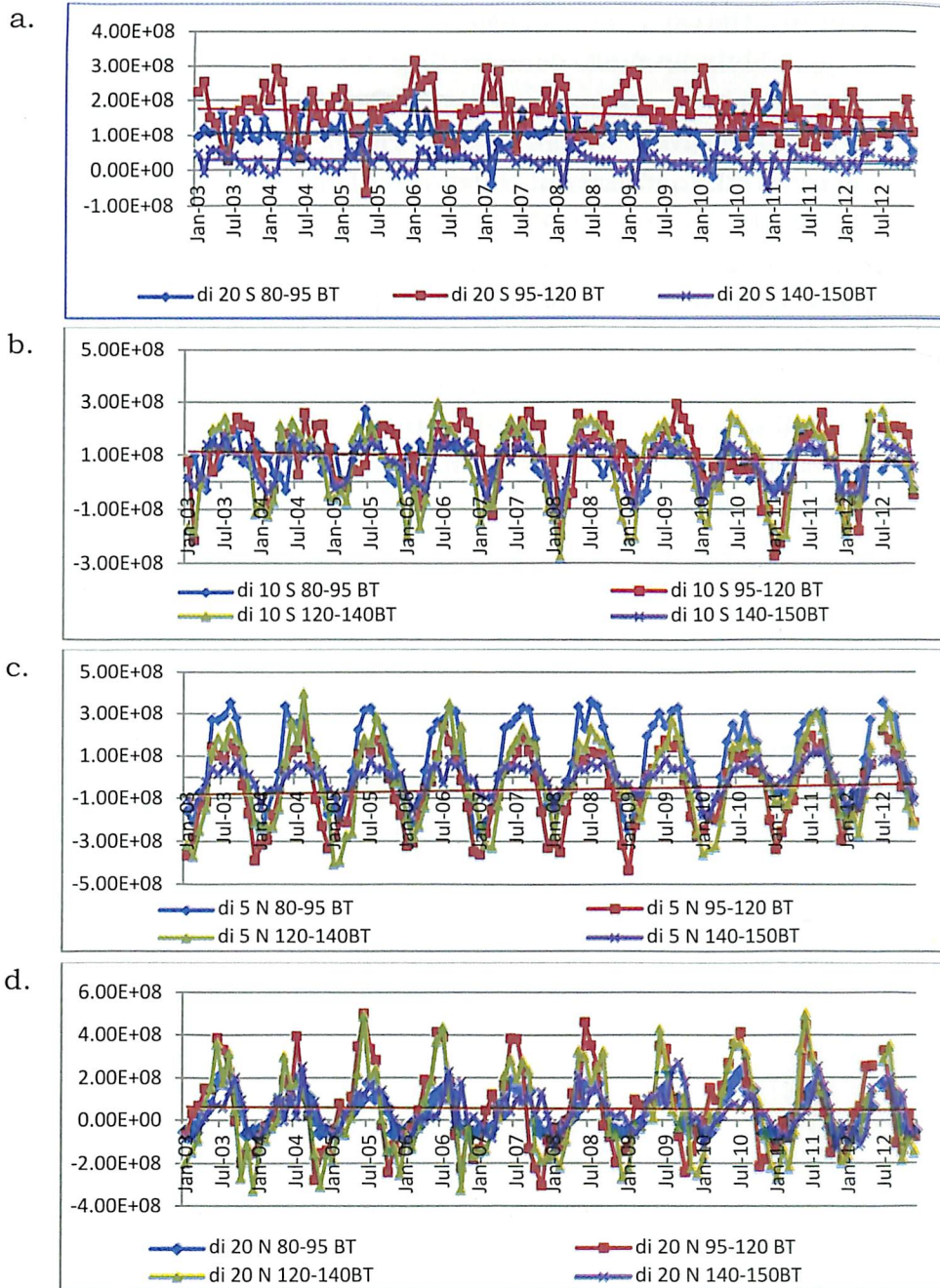
### 3.3 VIMT Batas

Karena lapisan bawah mendominasi transpor uap air terhadap total kolom, maka VIMT batas yang dihitung hanya untuk lapisan bawah. Berdasarkan perbandingan VIMT meridional, maka transpor uap air kawasan utara lebih stabil dibandingkan dengan kawasan selatan. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 4. Dari hasil perhitungan VIMT batas, baik secara zonal dan meridional, maka dapat diketahui bahwa BMI barat bagian utara cenderung menunjukkan fluktuasi yang lebih stabil. Hal ini berarti terdapat kemungkinan bahwa di kawasan tersebut, pola

transpor uap airnya didominasi oleh monsun Asia karena kedekatan jarak. Sedangkan kawasan lainnya menunjukkan adanya flukstuasi yang lebih bervariasi, yang memiliki kemungkinan merupakan kombinasi pengaruh dari beberapa sumber uap air.

Pada bulan Desember, Januari dan Februari, nilai VIMT batas meridionalnya bernilai negatif, yang berarti transpor uap air mengarah ke selatan, dengan besaran berkisar antara  $5 \times 10^7$  kg/detik sampai  $15 \times 10^7$  kg/detik. Sedangkan pada bulan Juni, Juli, dan Agustus, VIMT batas meridional di kawasan tersebut bernilai positif ( $10 \times 10^7$  kg/detik -  $25 \times 10^7$  kg/detik) yang berarti transpor uap air mengarah ke utara. Dalam hal ini, terdapat rentang perbedaan nilai antara kedua bulan tersebut, di mana transpor ke arah timur pada bulan Juni, Juli dan Agustus lebih tinggi dibandingkan dengan transpor ke arah barat pada bulan Desember, Januari dan Februari. Hal ini menunjukkan bahwa perairan di BMI berperan sebagai sumber uap air dan juga menunjukkan adanya penggabungan transpor dari arah Lautan Hindia dan Teluk Benggala dengan uap air yang berasal dari BMI sendiri.

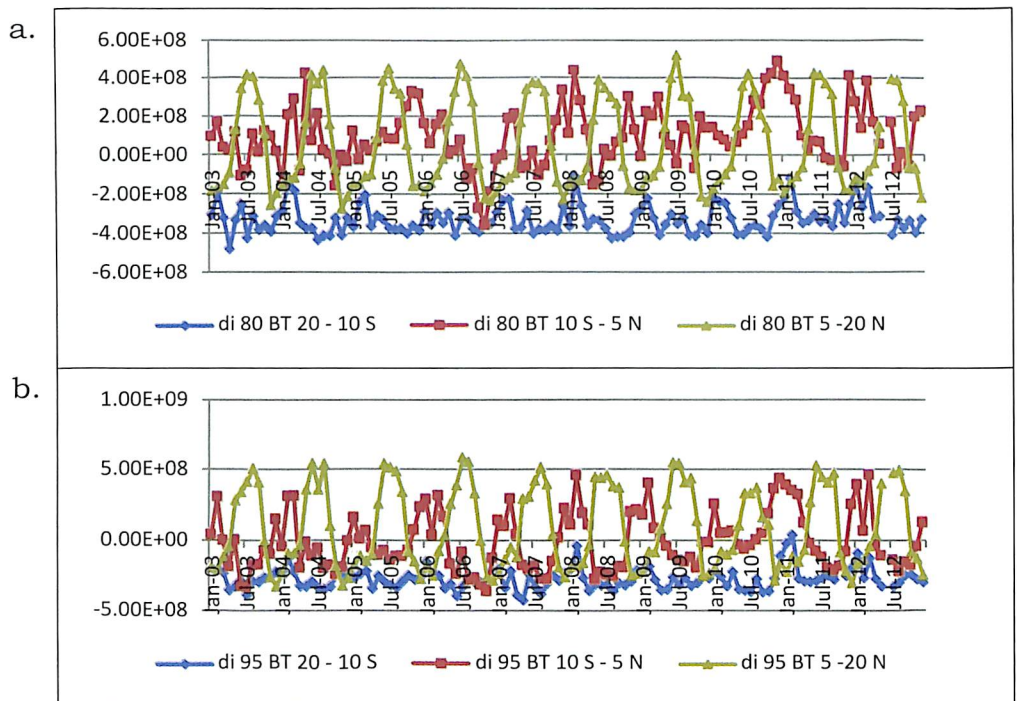
Untuk BMI barat bagian selatan (20 LS), fluktuasi transpor uap air lebih dipengaruhi oleh transpor dari Lautan Hindia, di mana di posisi 95-120 derajat BT menunjukkan transpor yang lebih kuat dibandingkan dengan transpor pada posisi 80-95 derajat BT. Di posisi 80-95 derajat BT, transpor maksimal mencapai sekitar  $25 \times 10^7$  kg/detik, sedangkan di posisi 90-120 derajat BT nilai maksimalnya lebih dari  $30 \times 10^7$  kg/detik. Namun kedua posisi itu sama-sama menunjukkan dominasi transpor dari arah selatan ke arah utara, masuk ke BMI. Hal yang dapat disoroti dari transpor yang terjadi di BMI bagian selatan, terutama di 5 LS, adalah adanya anomali yang cukup besar yang terjadi pada tahun 2010 di mana terjadi transpor ke arah selatan (VIMT batas negatif). Kemungkinannya adalah bahwa La Nina yang terjadi pada tahun 2010, menimbulkan transpor yang kuat dari Lautan Pasifik ke arah Indonesia, sehingga mendorong adanya perubahan arah transpor di bagian selatan BMI. Kemungkinan lainnya adalah karena adanya perubahan siklus monsun. Hal ini membutuhkan kajian yang lebih mendalam.



**Gambar 4.** VIMT meridional batas di 20 S (a), 10 S (b), 5 N (c) dan 20 N (d).

Secara zonal, Lautan Hindia lebih menunjukkan peranannya dalam transpor uap air yang menuju Indonesia di bagian utara BMI. Pada Gambar 5 untuk grafik di 5-20 N (5-20

Lintang Utara), menunjukkan nilai VIMT zonal batas yang lebih tinggi dibandingkan dengan di sekitar ekuator. Bahkan, untuk lintang selatan, transpor yang terjadi lebih mengarah keluar BMI dengan besaran yang tidak terlalu besar. VIMT batas zonal menunjukkan fluktuasi yang relatif stabil di garis lintang 5-20 derajat LU di 80 dan 95 derajat BT dengan dominasi transpor ke arah timur (VIMT batas zonal positif) masuk ke BMI dengan besaran transpor berkisar  $40 \times 10^7$  kg/detik sampai  $60 \times 10^7$  kg/detik pada bulan Juni, Juli dan Agustus. Pada akhir setiap tahun transpor yang terjadi dari timur ke barat dengan besaran lebih dari  $20 \times 10^7$  kg/detik. Untuk bagian selatan, transpor uap air dalam arah zonal, didominasi oleh transpor ke arah barat, dengan transpor terkuat di bagian barat, yang dapat mencapai lebih dari  $40 \times 10^7$  kg/detik.



**Gambar 5.** VIMT zonal batas di garis 80 BT (a) dan 95 BT (b).

#### 4 KESIMPULAN

Pola transpor uap air di lapisan bawah di dominasi oleh transpor dari Lautan Hindia, Pasifik Barat dan Laut Cina Selatan. Uap air pada bulan-bulan basah (Desember-Januari-Februari) di

BMI pada umumnya berasal dari Laut Cina Selatan dan Pasifik Barat dengan transpor uap air rata-rata lebih dari 360 kg/ms dalam arah meridional, terutama untuk BMI yang ada di belahan Bumi utara. Sedangkan dominasi transpor dari Lautan Hindia ke BMI terjadi pada periode Juni-Juli-Agustus secara zonal pada saat transpor dari Laut Cina Selatan dan Lautan Pasifik mengalami pelemahan. Di lapisan atas, uap air dari Pasifik Barat mendominasi transpor uap air ke arah BMI hampir sepanjang tahun dengan besaran yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan transpor uap air di lapisan bawah, yaitu hanya sekitar 1/10 bagiannya. Nilai VIMT batas untuk lapisan bawah, baik secara zonal dan meridional, menunjukkan fluktuasi BMI barat bagian utara cenderung yang lebih stabil. Sedangkan kawasan lainnya menunjukkan variasi yang lebih besar, yang kemungkinan merupakan kombinasi monsun dan pengaruh fenomena regional lainnya seperti ENSO dan *dipole mode*. Namun secara meridional, di semua posisi menunjukkan VIMT batas yang negatif pada periode Desember-Januari-Februari, dan menunjukkan VIMT positif pada periode Juni-Juli-Agustus. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme monsun sangat berpengaruh pada transpor uap air di BMI.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Alan, R.P., 2011: The Role of Water Vapour in Earth's Energy Flows. *Surv Geophys*, DOI 10.1007/s10712-011-9157-8
- As-syakur, A.R. dan R., Prasetya, 2011: 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.
- Chen J., J.C.L.Chan, W. Zhou, dan Huang R., 2008: Anomalous Modes of Moisture Transport by East Asian Summer Monsoon and Associated Rainfall Patterns in China.
- Dessler, A.E. dan S.M. Davis, 2010: Trends in tropospheric humidity from reanalysis systems. *Journal of Geophysical Research*, **115**, D19127, doi:10.1029/2010JD014192.
- Eguchi, N., 2004: Intraseasonal variation of water vapor and cirrus clouds in the tropical upper troposphere. *Journal of Geophysical Research*, **109**, D12106, doi: 10.1029/2003JD004314.
- Hall, A., dan S. Manabe, 1999: The Role of Water Vapor Feedback

- in Unperturbed Climate Variability and Global Warming. *Journal of Climate*, **12**.
- J. Fasullo P. J. Webster, 2002: Hydrological Signatures Relating the Asian Summer Monsoon and ENSO. *Journal Of Climate American Meteorological Society*, **15**.
- Pierrehumbert, 1999: Subtropical water vapor as a mediator of rapid global climate change in Clark PU, Webb RS and Keigwin LD eds. Mechanisms of global change at millennial time scales. *American Geophysical Union: Washington, D.C. Geophysical Monograph*, **112**, 394.
- Trenberth K., J. Fasullo dan L. Smith, 2005: Trends and variability in column-integrated atmospheric water vapor. *Climate Dynamics*, **24**, 741-758, DOI 10.1007/s00382-005-0017-4.
- Trenberth, K.E., J. Fasullo, L. Smith, 2005: Trend and Variability in column-integrated atmospheric water vapor. *Climate Dynamics*, **24**, 741-758, DOI 10.1007/s00382-005-0017
- Webster, P.J., and S.Yang, 1992: Monsoon and ENSO: Selectively interactivesystems. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **118**, 877-926.