

# Perbandingan Antara Radar Atmosfer Katulistiwa Dengan Middle And Upper Atmosphere Radar Dalam Pemantauan Angin Zonal Dan Angin Meridional

Eddy Hermawan  
Bidang Pemodelan Iklim LAPAN-Bandung

## ABSTRACT

Radio Science Center for Space and Atmosphere (RASC) of Kyoto University (Japan) together with the Indonesian National Institute of Aeronautic and Space (LAPAN) have been constructed a giant VHF radar, namely Equatorial Atmosphere Radar (EAR) at Kototabang, Bukittinggi, West Sumatera. This radar is mainly concerned to observe winds and turbulence in the troposphere and lower stratosphere with a good time and spatial height resolution. Numerous study and research programs with the EAR are now planned. In this paper the basic idea the constructed of EAR, the general description of EAR and MU radar, working system and an initial observation results of EAR construction, especially on the vertical profile of zonal and meridional wind velocities discussed

## ABSTRAK

Pusat Pengetahuan Radio Atmosfer dan Antariksa, Universitas Kyoto, Jepang bekerja sama dengan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) telah membangun radar VHF raksasa yang diberi nama Radar Atmosfer Katulistiwa (RAK) di Kototabang, Bukittinggi, Sumatera Barat. Perhatian utama radar ini adalah untuk meneliti perilaku angin dan turbulensi yang terjadi di lapisan troposfer dan lapisan bawah stratosfer dengan resolusi tinggi dalam pengukuran waktu dan ketinggian. Beberapa program studi dan penelitian yang berkaitan dengan penggunaan data radar ini sedang direncanakan. Pada makalah ini latar belakang berdirinya RAK, gambaran umum tentang RAK dan MU radar, sistem kerja dan hasil awal beroperasinya RAK di Indonesia, khususnya vertikal profil daripada angin zonal dan meridional didiskusikan

## 1. PENDAHULUAN

Pusat Pengetahuan Radio Atmosfer dan Antariksa atau *Radio Science Center for Space and Atmosphere* (RASC), Universitas Kyoto, Jepang bekerja sama dengan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) mulai tanggal 26 Juni 2001 telah mengoperasikan sebuah Stasiun Pengamat Dirgantara (SPD) di bukit Kototabang, Bukittinggi, Sumatera Barat yang diberi nama *Equatorial Atmosphere Radar* (EAR) atau yang lebih dikenal dengan nama *Radar Atmosfer Katulistiwa* (RAK) yang merupakan hibah pemerintah Jepang kepada pemerintah Indonesia. Pembangunan radar ini dipicu oleh pemahaman para ahli bahwa Indonesia memiliki karakteristik atmosfer yang berbeda dengan kawasan katulistiwa

lainnya. Hal ini dimungkinkan karena letak geografisnya yang unik, yakni diapit oleh dua benua besar (Asia dan Australia) dan dua samudera besar (Pasifik dan Hindia) yang dikenal sebagai kawasan *benua maritim*. Wilayahnya yang 2/3 bagian terdiri dari lautan dan tersebar di antara kurang lebih 17.000 pulau, memungkinkan kawasan ini sebagai penyimpan bahang (panas) baik panas *sensible* maupun panas *laten* terbesar bagi pembentukan awan-awan raksasa, seperti awan kumulonimbus (Cb).

Kawasan Indonesia dan Pasifik juga dianggap sebagai pembangkit terjadinya perubahan iklim global, seperti peristiwa EL-Nino dan La-Nina. Mengingat demikian besarnya peranan kawasan di atas ekuator Indonesia terhadap perubahan iklim global, tidaklah

mengherankan jika kawasan ini menjadi pusat perhatian dunia. Hal ini pulalah yang mendorong LAPAN dan RASC Universitas Kyoto pada pertengahan tahun 80-an mengembangkan gagasan dan upaya bersama untuk membangun *International Center for Equatorial Atmosphere Research (ICEAR)* di Indonesia. ICEAR dimaksudkan sebagai wadah kerja sama internasional dalam masalah pengamatan secara intensif, tepat, dan sistematis atmosfer ekuator. ICEAR tidak hanya melakukan pengukuran dan pemantauan atmosfer semata, melainkan juga analisis data dan penyediaan basis data yang berfungsi sebagai pusat pelayanan bagi penyelenggaraan pelatihan ilmiah-teknik terkait.

Usaha untuk melakukan pengamatan melalui radar pengamat atmosfer sudah dimulai sejak tahun 1992 oleh RASC Universitas Kyoto, Jepang bekerja sama dengan LAPAN dan BPPT yaitu dengan beroperasinya *Boundary Layer Radar (BLR)* dan *Meteor Wind Radar (MWR)* di PUSPIPTEK, Serpong, Jawa Barat, selain BLR yang saat ini ada di GAW (Global Atmospheric Watch) milik BMG, Kototabang, Sumatera Barat. Berbagai fasilitas serupa juga dibangun seperti *Middle Frequency (MF)* radar dan *New Pontianak Radar (NPR)* yang merupakan hasil kerja sama antara RASC, LAPAN dan Universitas Adelaide (Australia). Sementara itu pembangunan jaringan radar pengamat atmosfer juga dilakukan oleh *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* Amerika Serikat melalui *Trans Pacific Network* yang mengoperasikan lima buah *Wind Profiler Radar (WPR)* di lima wilayah sepanjang ekuator mulai dari Peru hingga Biak, Indonesia. Hal ini kemudian ditunjang oleh fasilitas Radar Atmosfer Katulistiwa (RAK) di Kototabang, Sumatera Barat. Jadi paling tidak ada lima radar atmosfer di kawasan Indonesia yang umumnya terletak di sekitar garis

katulistiwa. Hal inilah yang kiranya menarik perhatian, sebab Indonesia memiliki garis katulistiwa terpanjang di dunia sekitar 1/8 bagian dari keliling garis katulistiwa.

Makalah ini membahas karakteristik RAK dan membandingkannya dengan Radar Atmosfer Tengah dan Atas (MU=Middle and Upper atmosphere) radar yang ada di Shigaraki, Jepang. Hasil pengamatan terhadap profil vertikal angin zonal dan meridional dari kedua radar tersebut juga dibandingkan. Perhatian utama difokuskan kepada perilaku angin meridional (Utara-Selatan) dan zonal (Barat-Timur) selama 6 jam pengamatan, yakni mulai tanggal 24 hingga 25 Mei, 2001 pukul 20.00 hingga 02.00 waktu setempat seperti dilaporkan Hasiguchi *et al.*, (2001). Lalu dibandingkan hasilnya dengan hasil pengamatan menggunakan MU (Middle and Upper atmosphere) radar pada tanggal 5 November 1986 di atas Shigaraki, Shiga, Jepang.

## 2. MANFAAT RADAR ATMOSFER KATULISTIWA

Radar Atmosfer Katulistiwa yang memang dirancang khusus mendeteksi angin mulai dari lapisan 1,5 km hingga 20 km, diharapkan dapat melengkapi data atmosfer radar yang telah ada. Salah satunya adalah pengamatan *Quasi Biennial Oscillation (QBO)* yang merupakan salah satu parameter penting dalam pendugaan datangnya gejala alam *El-Nino and Southern Oscillation (ENSO)* di Indonesia (Gray *et al.*, 1992). Sebagaimana diketahui peristiwa QBO sangat terkait erat dengan perilaku angin zonal dan meridional terutama pada lapisan stratosfer dan troposfer. Kekurangan yang terjadi saat ini adalah minimnya data vertikal atmosfer yang ada. Padahal kita tahu bahwa ada keterkaitan yang erat antara fenomena yang terjadi di lapisan stratosfer dengan lapisan di bawahnya (troposfer) yang dikenal sebagai proses penalaran gelombang. Dengan memanfaatkan data RAK yang selang orde

pengamatannya permenit, maka masalah penjalaran gelombang atmosfer dapat diselesaikan. Demikian pula proses QBO, yang mungkin baru dapat dijelaskan setelah diperoleh data RAK minimal setelah 27 bulan pengamatan, sesuai dengan periodisitas QBO itu sendiri.

Aplikasi praktis lain data RAK adalah saat penanggulangan dampak kebakaran hutan, dimana arah dan kecepatan penyebaran asap dapat diamati melalui data RAK. Selain itu juga laju penyebaran gas-gas polutan, baik arah vertikal maupun horizontal dapat diamati melalui besaran *Turbulence Energy Dissipation Rate* (TEDR) maupun *Vertical Eddy Diffusivity* (VED) yang kesemuanya diturunkan dari data RAK setelah nantinya dilengkapi dengan data RASS (Radio Acoustic Sounding System). Metode ini telah diterapkan dengan data MU radar, Jepang (Hermawan and Tsuda, 1999).

Penentuan awal musim tanam juga dapat diturunkan yang erat kaitannya dengan peristiwa *Monsoon* yang memang dominan terjadi di kawasan Indonesia bagian barat. Kesemua itu barulah data yang diturunkan dari besaran *Doppler shift*. Sedangkan dari data *echo power* dapat diturunkan besaran stabilitas atmosfer sebagai suatu besaran laju perubahan suhu potensial terhadap ketinggian (Tsuda *et al.*, 1986 dan Hermawan *et al.*, 1998).

Masalah konveksi juga sangat mungkin dapat diturunkan dari data *Doppler shift* dan *echo power* seperti yang pernah dilakukan Hashiguchi *et al.* (1995) dengan menggunakan data BLR Serpong. Hal yang amat penting nantinya adalah setelah RAK dilengkapi dengan data RASS yang mampu mendeteksi besaran suhu virtual dengan menggunakan gelombang suara. Dari besaran suhu virtual itulah maka dapat diturunkan besaran kandungan uap air sebagai suatu parameter untuk mengamati kawasan mana di Indonesia barat yang kaya dengan awan-awan penghasil hujan.

Kalau hanya RAK semata, maka tidak banyak informasi yang dapat kita peroleh. Oleh karena itu, peran aktif seluruh radar ekuator, baik yang berada di Indonesia, maupun di luar Indonesia mutlak diperlukan. Perlu diingat bahwa RAK adalah satu dari mata rantai pemantauan iklim global ekuator. Walaupun masing-masing radar memiliki spesifikasi yang berbeda sesuai dengan tujuan pembangunan radar, namun ada keterkaitan yang erat antara radar satu dengan radar lainnya. Hal ini tentunya tidak terlepas dengan teori penjalaran gelombang. Contoh sederhana adalah untuk memantau lapisan atmosfer yang ada di bawah 1,5 km yang tidak terpantau RAK seperti pemantauan laju penyebaran polusi udara mulai dari lapisan permukaan hingga 2 km di atasnya. Dalam hal ini maka BLR dapat berperan. BLR mampu mendeteksi angin mulai dari permukaan hingga 5 km di atasnya, walupun dengan menggunakan *fixed antenna* (Hashiguchi *et al.*, 1995).

Memang data utama yang dihasilkan RAK adalah angin dan turbulensi dalam arah tiga dimensi, namun dapat dikembangkan menjadi penelitian tentang gelombang atmosfer (atmospheric waves) seperti gelombang gravitasi, gelombang Kelvin, gelombang Rossby ataupun kombinasi antara keduanya. Dengan radar ini diharapkan dapat diterangkan kapan dan dimana proses penjalaran gelombang itu terjadi, kemana arah yang dominan dan dengan kecepatan berapa proses penjalaran itu terjadi.

### 3. SPESIFIKASI RADAR ATMOSFER KATULISTIWA

Radar Atmosfer Katulistiwa (RAK) yang tidak lain merupakan pengembangan dari BLR adalah *Doppler pulse monostatic* radar yang beroperasi pada frekuensi sekitar 47 MHz dengan menggunakan antenna Yagi tiga elemen berbaris sebanyak 560 buah. Radar ini terletak di bukit Kototabang, Bukittinggi,

Sumatera Barat (100,32°BT; 0,20°LS) pada ketinggian 865 meter di atas permukaan laut. Kelebihan radar ini dibandingkan dengan radar di Indonesia lainnya adalah menggunakan antena putar (*rotatite antenna*) sehingga dalam operasinya dapat diputar ke segala arah, asalkan masih dalam rentang 30° dari sumbu vertikal.

Alat ini dirancang khusus untuk memantau arah dan kecepatan angin dan

turbulensi secara kontinu mulai lapisan 1,5 hingga 20 km dalam arah tiga dimensi (vertikal, meridional, dan zonal) dalam selang waktu dan ketinggian sekitar 2,3 menit untuk setiap ketinggian 150 meter. Selain itu radar ini mampu mendeteksi fenomena irregularitas ionosfer yang terjadi pada ketinggian sekitar 100 km. Penjabaran RAK secara rinci dapat dilihat pada Tabel 3-1 (Fukao *et al.*, 2001).

Tabel 3-1: SPESIFIKASI RAK (Fukao *et al.*, 2001)

Lokasi	100,32°BT ; 0,20°LS
Frekuensi	47 MHz
Daya keluaran	100 kW (peak envelope)
Sistem antena	560 antena Yagi tiga elemen berbaris pada area hampir lingkaran berdiameter 110 m
Lebar beam	3.4° (-3dB, one-way)
Arah beam	Ke segala arah dalam rentang 30 derajat dari sudut zenith
Jarak pengamatan	1,5 hingga 20 km untuk turbulensi atmosfer dan lebih dari 90 km untuk irregularitas ionosfer.

#### 4. SPESIFIKASI MU RADAR

Seperti halnya Radar Atmosfer Katulistiwa, MU (Middle and Upper atmosphere) radar juga merupakan *Doppler pulse monostatic* radar yang beroperasi pada VHF (Very High Frequency) band pada frekuensi 46.5 MHz yang dikarakteristikan dengan sistem

antena aktif sebanyak 475 buah dan desain fleksibel dengan menggunakan *full computer control*. Radar ini terletak di Shigaraki, Shiga, Jepang pada posisi (34,9°LU dan 136,1°BT). Spesifikasi lebih rinci radar ini dijelaskan oleh Fukao *et al.* (1985a and 1985b) seperti terlihat pada Tabel 4-1.

Tabel 4-1: SPESIFIKASI MU RADAR (Fukao *et al.*, 1985a and 1985b)

Lokasi	Shigaraki, Shiga, Japan (34,85°LU; 136,10°BT)
Sistem radar	Radar pulse monostatik, sistem aktif
Frekuensi Operasional	46.5 MHz
Antena :	Antena Yagi 475 tersusun dalam lingkaran
- Luas lingkaran	8,330 m <sup>2</sup> (103 m dalam diameter)
- Lebar beam	3.6° (setengah power untuk array penuh)
- Sistem kemudi	Kemudi dilengkapi pada setiap IPP (Inter Pulse Period)
- Arah beam	0-30° dari sudut zenith
Pemancar :	475 solid-state amplifiers (TR-modules; each with output power of 2.4 kW peak and 120 W average)
- Power maksimum	1 MW (maksimum), 50 kW (duty ratio 5 %) (maksimum)
- Power rata-rata	400 μs (mikro detik) (variable)
- IPP	
Penerima :	
- Jarak dinamik	70 dB
- A/D converter	12 bit x 8 channels
Kompresi pulsa	Pengkodean phase binari hingga 32 elemen.

**5. PERBANDINGAN HASIL RADAR ATMOSFER KATULISTIWA DENGAN MU RADAR**

Data yang digunakan untuk perbandingan keluaran RAK dan MU meliputi kecepatan radial untuk arah barat-timur (zonal) dan utara-selatan (meridional) pada tanggal 24 hingga 25 Mei 2001 mulai lapisan 1,5 km hingga 20 km untuk RAK. Sedangkan untuk MU radar digunakan data pada tanggal 5 November 1986. Data tersebut kemudian diterjemahkan ke dalam bentuk kecepatan angin zonal dengan menggunakan rumus,

$$u = (V_{rE} - V_{rW}) / 2 \sin \theta \dots\dots\dots (5-1)$$

dengan  $V_{rE}$ ,  $V_{rW}$  dan  $\theta$  masing-masing menyatakan kecepatan radial untuk arah timur dan barat serta sudut zenith. Untuk menghitung besaran  $V_{rE}$  dan  $V_{rW}$  digunakan rumus (Shibagaki *et al.*, 1996) :

$$V_{rE} = \omega \cos \theta + u \sin \theta \dots\dots\dots (5-2)$$

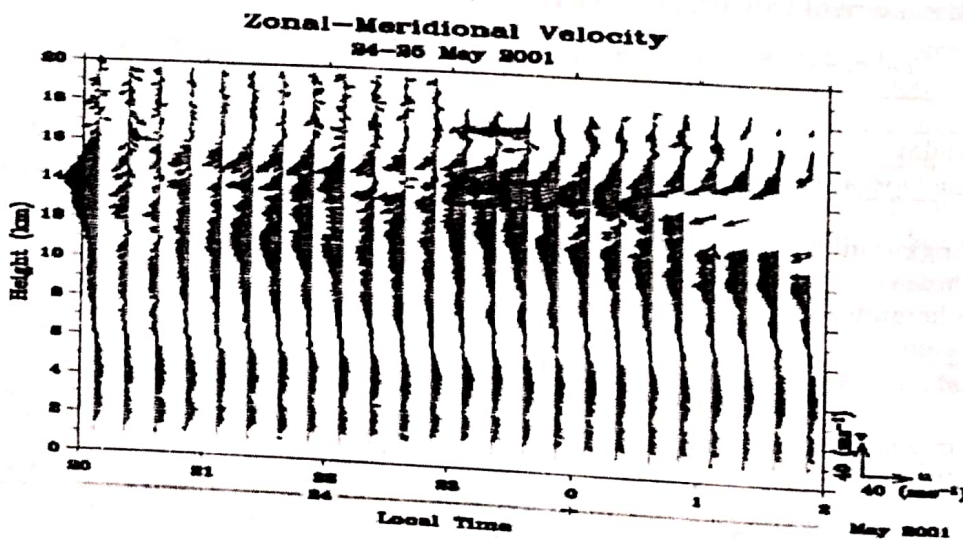
$$V_{rW} = \omega \cos \theta - u \sin \theta \dots\dots\dots (5-3)$$

dengan  $\omega$  dan  $u$  masing-masing menyatakan komponen angin vertikal dan angin zonal.

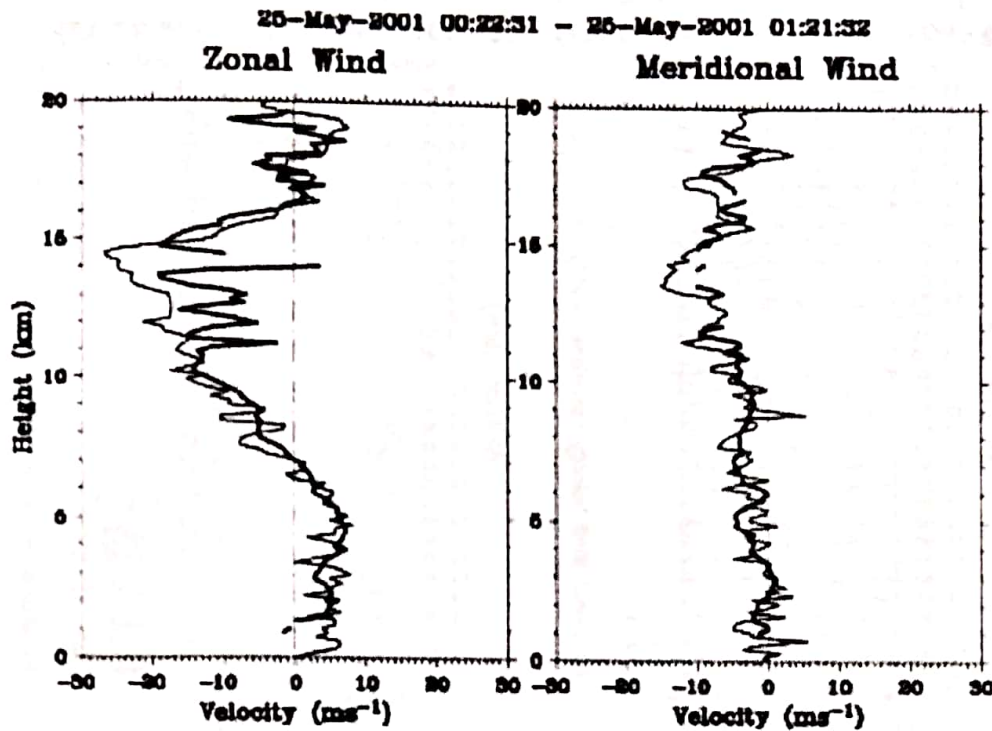
Gambar 5-1 menunjukkan *time-cross section* daripada angin zonal-

meridional untuk selang waktu pengamatan rata-rata 15 menit untuk setiap ketinggian 300 meter periode 24 hingga 25 Mei 2001. Pada gambar tersebut terlihat adanya pembalikan angin barat (Westerly) dan angin timur (Easterly) pada ketinggian sekitar 6 km. Juga terlihat ketinggian tropopause pada saat itu sekitar 16 km hasil pengamatan dengan radiosonde GPS (Global Positioning Satellite).

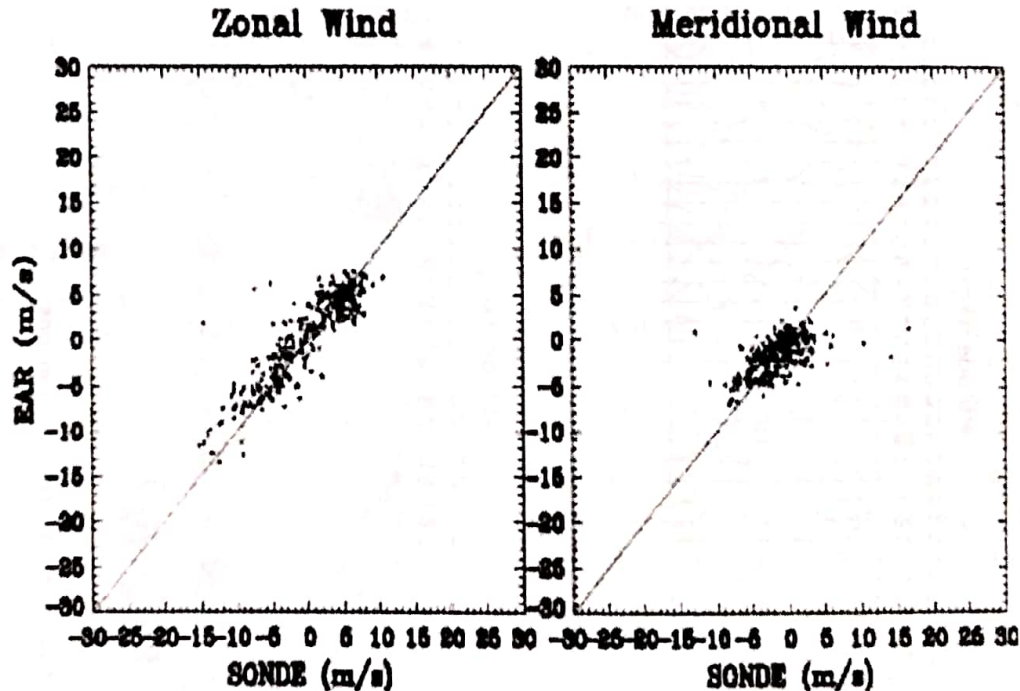
Gambar 5-2 menunjukkan profil daripada angin zonal dan meridional hasil pengukuran RAK untuk rata-rata pengamatan dari pukul 00:22 hingga 01:21 (waktu setempat) pada tanggal 25 Mei 2001 bersamaan dengan peluncuran radiosonde GPS yang letaknya berdekatan dengan RAK pada pukul 00:22 (waktu setempat). Hasilnya menunjukkan adanya korelasi yang baik antara data RAK dengan GPS radiosonde, baik untuk angin zonal maupun meridional terutama pada lapisan 1,5 km hingga 10 km dan 15 km hingga 20 km. Terjadinya sedikit perbedaan pada angin zonal, terutama pada lapisan 10 hingga 15 km berkaitan dengan lemahnya SNR (signal-to-noise ratio) dari pada RAK echo.



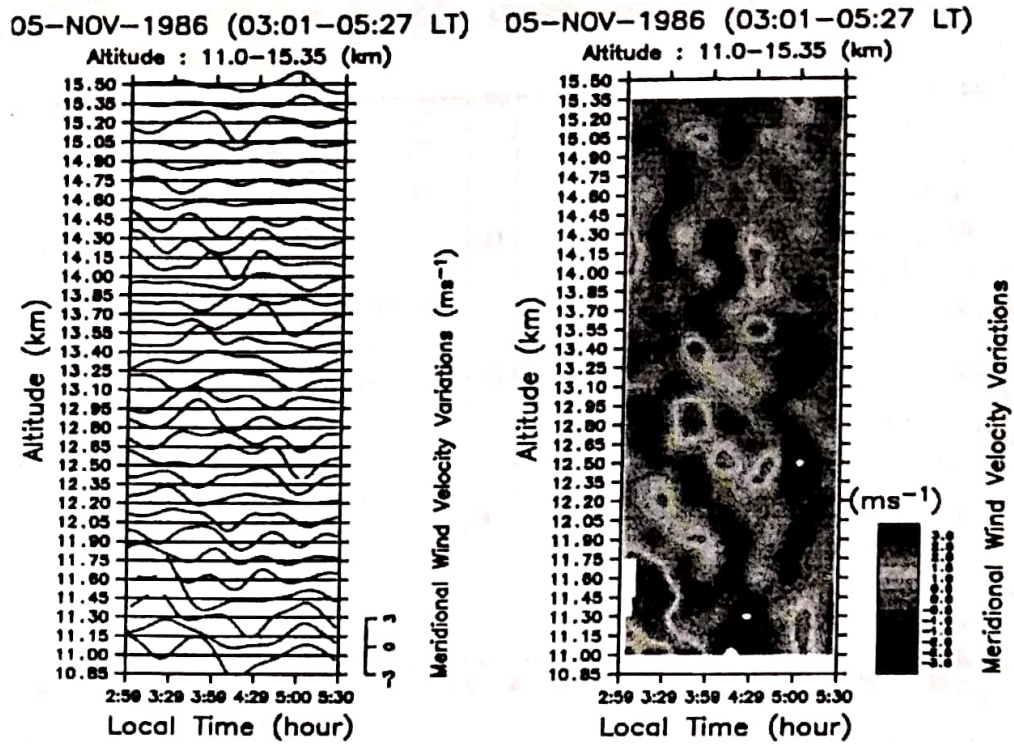
Gambar 5-1: Time-height cross section angin zonal-meridional rata-rata 15 menit pengamatan dengan RAK periode 24 hingga 25 Mei 2001 (pukul 20.00 hingga 02.00 waktu setempat) (Hashiguchi *et al.*, 2001)



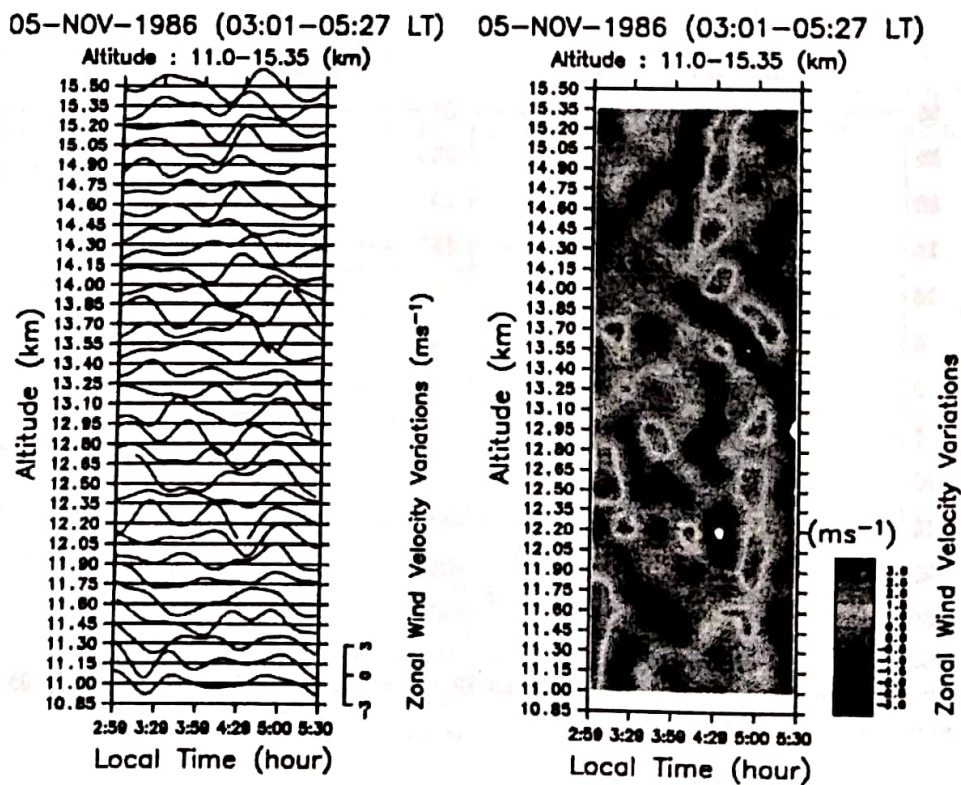
Gambar 5-2 : Tinggi profil angin zonal (kiri) dan meridional (kanan) hasil pengukuran RAK (garis tebal) rata-rata dalam selang pengamatan antara pukul 00:22 hingga 01:21 (waktu setempat) pada tanggal 25 Mei 2001 dibandingkan dengan data radiosonde GPS (garis tipis) yang diluncurkan pada pukul 00:22 (waktu setempat) pada tanggal dan tempat yang sama (Hashiguchi *et al.*, 2001)



Gambar 5-3 : Scatter plot angin zonal (kiri) dan meridional (kanan) kecepatan angin hasil pengukuran RAK dan GPS radiosonde periode 24 hingga 25 Mei, 2001 (Hashiguchi *et al.*, 2001)



Gambar 5-4: Variasi kecepatan angin meridional di atas Shigaraki (Jepang) pada tanggal 5 November 1986 (pukul 03:01 hingga 05:27 waktu setempat).



Gambar 5-5: Variasi kecepatan angin zonal di atas Shigaraki (Jepang) pada tanggal 5 November 1986 (pukul 03:01 hingga 05:27 waktu setempat).

Gambar 5-3 menunjukkan *scatter plot* angin zonal dan meridional yang dibandingkan dengan data radiosonde GPS pada tanggal 24 hingga 25 Mei 2001. Hasilnya menunjukkan adanya korelasi yang baik antara data RAK dengan GPS radiosonde. Besarnya kecepatan angin berkisar antara -10 hingga +10 m/s dan -5 hingga +5 m/s masing-masing untuk angin zonal dan meridional. Terlihat bahwa orde angin zonal relatif lebih besar dibandingkan dengan angin meridional.

Gambar 5-4 dan Gambar 5-5 masing-masing menunjukkan variasi kecepatan angin meridional dan zonal setelah dikurangi nilai rata-rata setiap ketinggian. Data tersebut merupakan hasil observasi MU radar pada tanggal 5 November 1986 antara ketinggian 11 hingga 15.35 km selama kurang lebih 2,5 jam pengamatan mulai pukul 3:01 hingga 5:27 waktu setempat. Walaupun agak sulit dijelaskan satu per satu, namun secara umum dapat kita lihat adanya penjarangan kecepatan angin terutama pada lapisan 12,65 hingga 12,95 km. Hal ini terlihat jelas terutama pada variasi angin meridional (Gambar 5-4), terutama setelah pukul 03:29 hingga pukul 05:00 waktu setempat dibandingkan dengan variasi angin zonal pada waktu dan tempat yang sama (Gambar 5-5).

## 6. KESIMPULAN

Hasil awal pengukuran RAK selama 6 jam pengamatan mulai 24 hingga 25 Mei 2001 telah diperkenalkan. Hasilnya menunjukkan bahwa RAK dan MU radar dapat mengamati perilaku angin meridional dan zonal dalam selang waktu pengamatan yang relatif pendek yakni rata-rata 15 menit untuk RAK dan 30 menit untuk MU radar untuk setiap ketinggian 300 m dan 150 m. Juga disajikan hasil validasinya dengan radiosonde GPS untuk RAK. Hasilnya menunjukkan adanya korelasi yang baik antara data RAK dan GPS radiosonde, terutama pada lapisan 1,5 km hingga 10

km pada ketinggian 15 km hingga 20 km. Memang terjadi sedikit perbedaan antara keduanya, terutama pada lapisan 10 km hingga 15 km. Hal ini disebabkan lemahnya SNR (signal-to-noise ratio) RAK echo.

RAK dirancang khusus untuk mengamati fenomena atmosfer yang selang pengamatannya relatif sangat pendek (biasanya permenit) seperti peristiwa penjarangan gelombang Rossby, gelombang Kelvin atau kombinasi keduanya. Namun, untuk masalah fenomena atmosfer yang periode osilasinya relatif panjang, seperti masalah QBO, diperlukan waktu pengamatan yang relatif lama (diperkirakan lebih dari 27 bulan pengamatan).

Walaupun kedua jenis data didapat pada waktu dan tempat yang berbeda, namun secara umum dapat dikatakan bahwa kedua jenis radar mampu mengamati peristiwa yang terjadi di lapisan troposfer dan stratosfer, khususnya perilaku angin zonal dan meridional dalam waktu yang relatif pendek, yakni rata-rata 15 menit untuk RAK dan 30 menit untuk MU radar untuk setiap ketinggian sekitar 300 m dan 150 m.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Disampaikan kepada Dr. Mezak A. Ratag atas ide dan saran yang diberikan untuk kesempurnaan makalah ini.

## DAFTAR RUJUKAN

- Fukao, S., T. Sato, T. Tsuda, S. Kato, K. Wakasugi, and T. Makihiro, 1985a, *The MU radar with an active phased array system 1. Antenna and power amplifiers*, *Radio Sci.*, **20**, 1155-1168.
- Fukao, S., T. Sato, T. Tsuda, S. Kato, K. Wakasugi and T. Makihiro, 1985b, *The MU radar with an active phased array system 2. In-house equipment*, *Radio Sci.*, **20**, 1169-1176.
- Fukao, S. M. Yamamoto, H. Hashiguchi, T. Tsuda, T. Nakamura, T. Horinouchi, T. Sato, M. Hagio, and Y. Yabugaki, 2001, *The Equatorial Atmosphere Radar (EAR), in preparation*.



- Gray, W. M., J. D. Sheaffer and J. A. Knaff, 1992, *Influence of the stratospheric QBO on ENSO variability*, *J. Met. Soc. of Japan*, **7**(5), 975-995.
- Hashiguchi, H., S. Fukao, M.D. Yamanaka and T. Tsuda, 1995, *Boundary Layer Radar Observations of the passage of the convection center over Serpong, Indonesia (6°S, 107°E) during the TOGA COARE intensive observation period*, *J. Met. Soc. of Japan*, **73**(2B), 535-548.
- Hashiguchi, H., S. Fukao, T. Tsuda, M. Yamamoto, T. Nakamura, T. Harinouchi, T. Sato, M. Hagio, Y. Yobugaki, A. Sadewo, A. Nuryanto, Muzirwan, and M. Kartasasmita, 2001, *Initial observation results with Equatorial Atmosphere Radar, in preparation*.
- Hermawan, E., T. Tsuda and T. Adachi, 1998, *MU radar observations of tropopause variations by using clear air echo characteristics*, *Earth Planets Space*, **50**, 361-370.
- Hermawan, E and T. Tsuda, 1999, *Estimation of turbulence energy dissipation rate and vertical eddy diffusivity with the MU radar RASS*, *J. Atmos. Terr. Phys.*, **61**, 1123-1130.
- Shibagaki, Y., M.D. Yamanaka, A. Watanabe, H. Uyeda, Y. Maekawa and S. Fukao, 1996, *Hierarchical structures of medium scale cyclones and cloud clusters near the Baiu Front observed by MU and meteorological radars: Outline and preliminary results of Three-week observation campaign*, *J. Geomag. Geoelectr.*, **48**, 151-160.
- Tsuda, T., T. Sato., K. Hirose., S. Fukao, and S. Kato, 1986, *MU radar observations of the aspect sensitivity of backscattered VHF echo power in the troposphere and lower stratosphere*, *Radio Sci.*, **21**(6), 971-980.