

PENGEMBANGAN METODE DUAL-FREKUENSI UNTUK MENGAMATI STRUKTUR VERTIKAL *RAINDROP SIZE DISTRIBUTION* (DSD) DI KOTO TABANG

Mutya Vonnisa^{1*}, Toshiaki Koza² and Toyoshi Shimomai³

¹Universitas Andalas, Sumatera Barat, Indonesia

²Universitas Shimane, Matshue-Shi, Jepang

³Universitas Shimane, Matshue-Shi, Jepang

*Email: mutya@fmipa.unand.ac.id

ABSTRAK

Metode untuk mengamati struktur vertikal parameter mikrofisika hujan yang dikenal dengan DSD telah dikembangkan menggunakan data *Equatorial Atmosphere Radar* (EAR) dan *Boundary Layer Radar* (BLR) di Koto Tabang, Sumatera Barat, Indonesia. Spektrum hujan dari BLR yang merupakan fungsi DSD dimodelkan dengan modifikasi fungsi gamma dan spektrum turbulen atmosfer dari EAR dimodelkan dengan fungsi Gauss. Parameter DSD dan turbulen didapatkan dengan menggunakan metode *non-linear least square fitting*. Data dari Joss-Wadvogel Disdrometer (JD) digunakan untuk memvalidasi hasil yang didapatkan dari data radar. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa metode dual-frekuensi lebih akurat dibandingkan dengan metode single-frekuensi. Hal itu ditunjukkan oleh hasil *fitting* spektrum hujan dari metode dual-frekuensi lebih tinggi dan jelas dibandingkan metode single-frekuensi. Selain itu DSD yang dihasilkan oleh metode dual-frekuensi lebih mendekati DSD dari JD dibandingkan dengan single-frekuensi.

Kata Kunci: *Raindrop Size Distribution*, EAR, BLR, Koto Tabang

1. PENDAHULUAN

Pengetahuan tentang *raindrop size distribution* (DSD) merupakan hal yang penting di dalam pemodelan atmosfer global dan iklim. Pengukuran DSD bermanfaat untuk mempelajari mikrofisika hujan, dinamika awan, termodinamika atmosfer dan panas laten serta pengembangan metode *remote sensing* untuk pengamatan hujan. Sebagai parameter dasar hujan, maka semua parameter hujan adalah fungsi DSD.

Pengukuran DSD dapat dilakukan secara langsung atau tidak langsung, di tanah atau vertikal kolom hujan. Perolehan DSD secara langsung di tanah dapat menggunakan JD atau 2DVD (*Two Dimensional Disdrometer*). Sedangkan untuk struktur vertikal juga sudah dikembangkan oleh para peneliti dari data radar atmosfer, baik menggunakan metode satu frekuensi (single-frekuensi) ataupun dua frekuensi (dual-frekuensi).

Peneliti yang menggunakan metode single-frekuensi diantaranya: Sato *et al.* (1990), dan Wakasuki *et al.* (1986). Mereka memanfaatkan single-frekuensi dari VHF radar untuk memperoleh struktur vertikal DSD. Tetapi metode single frekuensi memiliki kelemahan karena kurang sensitif terhadap hujan, oleh karena itu dikembangkan metode dual-frekuensi. Seperti yang dilakukan oleh Teraoka *et al.* (1993) yang mengamati struktur vertikal DSD melalui pengamatan secara bersamaan antara VHF dan L-Band Doppler radar di Shigaraki. Selain itu, Schafer *et al.* (2002) juga mengamati struktur vertikal DSD dari dual-frekuensi *wind profiler* menggunakan teknik dekonvolusi dan *nonlinear least square fitting*.

Namun hasil DSD yang diperoleh dari kedua metode tersebut, bukanlah hasil global di seluruh permukaan bumi. Hal itu dikarenakan DSD bervariasi secara temporal dan spasial (Ulbrich, 1983), misalnya: karakteristik DSD di Shigaraki (Jepang) belum tentu sama

dengan DSD di KotoTabang (Indonesia). Untuk penelitian struktur vertikal DSD di Koto Tabang telah dilakukan menggunakan metode single-frekuensi oleh beberapa peneliti (e.g., Koza *et al.*, 2003; Renggono *et al.*, 2006; Marzuki *et al.*, 2010). Semua penelitian sebelumnya menggunakan data *Equatorial Atmosphere Radar* (EAR). Penelitian di dalam artikel ini menghitung parameter DSD menggunakan dual-frekuensi, yaitu EAR yang beroperasi pada frekuensi 47 MHz untuk mengukur turbulen dan *Boundary Layer Radar* (BLR) yang beroperasi pada frekuensi 1357.5 MHz untuk mengukur hujan. Penelitian ini adalah yang pertama kali mengamati DSD menggunakan metode dual-frekuensi di Koto Tabang.

2. DATA DAN METODE PENELITIAN

2.1 Data dan Instrumen

Tabel 1 menunjukkan spesifikasi dari EAR dan BLR. Penjelasan lebih detail tentang spesifikasi EAR diberikan oleh Fukao *et al.* (2003) dan BLR oleh Renggono (2006).

Tabel 1. Spesifikasi dari instrumen EAR dan BLR di Koto Tabang (0.20°S, 100.32°E, 865 m ASL)

Spesifikasi Instrument	EAR	BLR
<i>Radar system</i>	Monostatic Pulse Doppler Radar	Monostatic Pulse Doppler Radar
<i>Center frekuensi</i>	47.0 MHz	1357.5 MHz
<i>Antenna gain</i>	33 dBi	27 dBi
<i>Antenna aperture area</i>	110 m x 110 m (9500 m ²)	5.9 m ²
<i>Antenna beam width</i>	3.4°	4.1°
<i>Peak transmit power</i>	100 kW	1.1 Kw
<i>Pulse width</i>	0.5 μs	1 μs
<i>IPP</i>	400 μs	100 μs

EAR merupakan sebuah VHF-band *wind profiler* berfrekuensi 47 MHz. EAR dirancang agar mampu mengukur pergerakan angin di troposfir dan stratosfir bagian bawah atau dengan cakupan pengamatan pada ketinggian di atas 20 km. Dalam kondisi tertentu, EAR dapat juga mendeteksi hujan tetapi dengan tingkat sensitivitas yang rendah (Fukao *et al.* 2003).

BLR merupakan sebuah UHF-band *wind profiler* berfrekuensi 1357.5 MHz dengan transmisi daya 1 kW. BLR didesain untuk dapat mengukur angin di troposfer bagian bawah termasuk *planetary boundary layer* (PBL) dengan resolusi waktu dan tinggi lebih kurang 1 menit dan 100 meter. Walaupun BLR didesain untuk pengamatan udara bersih, pengalaman menunjukkan bahwa BLR juga dapat digunakan untuk mendeteksi *hydrometeors*. Berbeda dengan EAR, pada saat hujan, echo hujan dari BLR lebih kuat daripada echo turbulen. BLR bisa memperoleh echo hujan di atas 60 dB lebih kuat daripada echo turbulen atmosfer Renggono (2006).

2.2 Metode Penelitian

a. Model DSD

Pada penelitian ini digunakan model gamma DSD sebagai berikut:

$$N(D) = N_0 D^\mu e^{-\Lambda D}. \quad (1)$$

dimana $N(D)$ adalah DSD, D adalah diameter butiran, N_0 adalah *intercept*, Λ adalah *slope* dan μ adalah parameter bentuk. Pers. (1) dapat dimodifikasi menjadi bentuk lain dengan menggunakan momen ke- x dari DSD (M_x) yang diberikan oleh persamaan:

$$M_x = N_0 \Gamma(\mu + x + 1) / \Lambda^{\mu+x+1}, \quad (2)$$

dimana $\Gamma(\mu+x+1)$ adalah fungsi gamma. Menggunakan Pers. (2), Pers. (1) dapat ditulis sebagai berikut:

$$N(D) = m_y \Lambda_{xy}^{x+y+1} D^\mu e^{-\Lambda_{xy} D}, \quad (3)$$

dimana $m_y = M_y / \Gamma(\mu+y+1)$ dan $\Lambda_{xy} = (m_x/m_y)^{1/(y-x)}$, $x=3.67$ dan $y=6$. Parameter DSD digambarkan oleh m_y , Λ_{xy} , dan μ . Λ_{xy} menunjukkan parameter skala Λ yang diperoleh dari M_x dan M_y . Pers. (3) didapatkan berdasarkan spektrum Doppler yang sebanding dengan $D^6 |dv(D)/dD|^{-1}$ dimana $v(D)$ adalah kecepatan terminal. *Fitting* dari spektrum Doppler bisa dibuat secara efektif dengan menggunakan parameter DSD yang mempunyai sensitivitas yang tinggi terhadap spektrum Doppler (Kozu *et al.*, 2003).

b. Model Spektrum Doppler

Untuk memperoleh DSD, membutuhkan spektrum hujan dan turbulen. Menurut Sato *et al.*, (1990), spektrum hujan tanpa turbulen atmosfer dan angin $S_p(v)$ dituliskan oleh persamaan:

$$S_p(v) = C N(D) D^6 \left| \frac{d[v(D)]}{dD} \right|^{-1}, \quad (4)$$

Dimana C adalah konstanta, $N(D)$ adalah DSD, $v(D)$ adalah kecepatan jatuh butiran. Fungsi Gauss digunakan untuk pemodelan spektrum turbulen $S_t(v)$:

$$S_t(v) = p_0 \exp\left(-\frac{(v-w)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (5)$$

dimana p_0 adalah puncak dari spektrum *power*, w adalah kecepatan angin rata-rata dari *radar beam direction*, σ lebar spektrum. Pada penelitian dual-frekuensi ini, EAR Doppler spektrum dari turbulen atmosfer $S_{EAR}(v)$ diberikan oleh:

$$S_{EAR}(v) = [S_t(v) + P_n] * W(v), \quad (6)$$

dimana P_n adalah *noise level* pada spektrum, $W(v)$ adalah sebuah invers transformasi Fourier dari *auto-correction function* dari *rectangular time window* dan “*” menunjukkan operasi integral konvolusi. Di sisi lain, BLR Doppler spektrum dari butiran hujan $S_{BLR}(v)$ ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$S_{BLR}(v) = [S_p(v) * S_0(v) + P_n] * W(v), \quad (7)$$

dimana $S_o(v)$ adalah bentuk normalisasi dari $S_i(v)$ yang diekspresikan oleh:

$$S_o(v) = \frac{1}{(2\pi)^{1/2} \sigma} \exp\left[-\frac{(v-w)^2}{2\sigma^2}\right]. \quad (8)$$

c. *Non-linear least square fitting dan Metode Dual frekuensi*

Parameter DSD didapatkan menggunakan *non-linear least square fitting* Levenberg-Marquardt. Delapan parameter yang akan diperkirakan dengan fitting empat diantaranya berasal dari EAR turbulen spektrum yakni; w , σ_E , ρ_0 , P_n dan empat lainnya dari spektrum hujan BLR yakni; m_6 , A_{xy} , μ , dan P_n .

Untuk menghubungkan data dari EAR dengan BLR pada metode dual-frekuensi, kita harus membuat sebuah *beam broadening correction*. Persamaan untuk *beam broadening correction* ditunjukkan oleh Pers. (9).

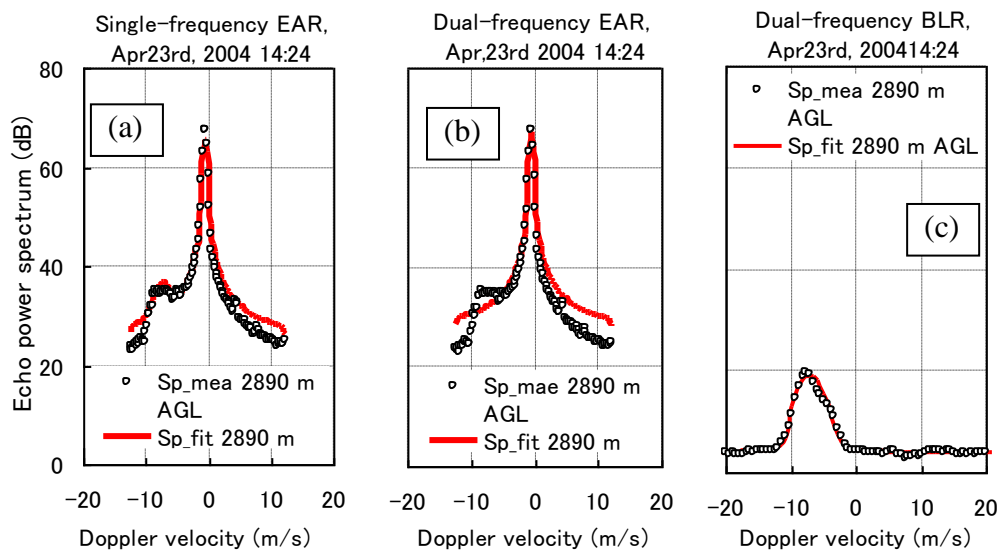
$$\sigma_B^2 = \sigma_E^2 + C v_h^2 \left\{ \left(\frac{\theta_B}{\theta_E} \right)^2 - 1 \right\}, \quad C = \frac{\theta_{B,EAR}^2}{16 \cdot \ln 2}, \quad v_h = \sqrt{v^2 + u^2} \quad (9)$$

dimana v_h adalah kecepatan udara horizontal. Nilai v_h diperoleh dari kecepatan pergerakan angin ke utara (v) dan kecepatan pergerakan angin ke timur (u). Sebagai hasilnya, didapatkan *mean Doppler spektrum* (w) dan standar deviasi spektrum BLR (σ_B) dari spectrum EAR. Setelah itu dilanjutkan ke spectrum hujan BLR untuk mendapatkan nilai μ melalui proses iterasi. Nilai μ terbaik dilihat dari nilai minimum RMS error antara spektrum pengukuran dan *fitting*. Setelah μ didapatkan, dua parameter DSD yang lain dari Pers. 3 (m_6 , A_{xy}) dapat dihitung.

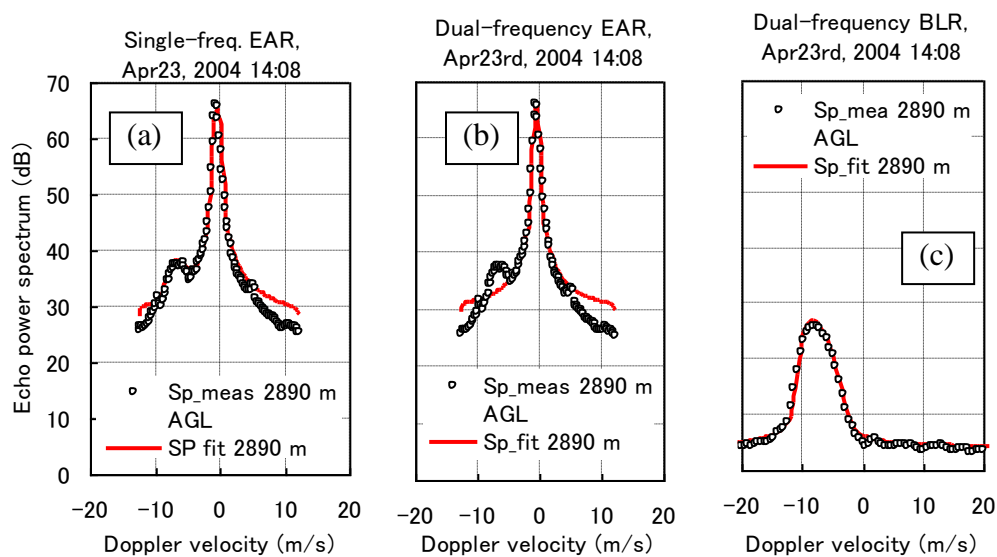
3. HASIL

3.1 Perbandingan Metode Single dan Dual Frekuensi Berdasarkan Spektrum.

Contoh spektrum pengukuran dan *fitting* dari hujan ringan (5 mm/jam) dan hujan deras (11 mm/jam) pada ketinggian 2890 m di atas permukaan tanah, secara berturut-turut dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2. Gambar 1(a) menunjukkan contoh single-frekuensi spektrum EAR yang dibandingkan dengan hasil *fitting*. Gambar 1(b) juga menunjukkan spektrum *fitting* dan pengukuran pada metode EAR dual frekuensi, dimana *fitting* hanya pada spektrum turbulen. Gambar 1(c) menunjukkan spektrum curah hujan pengukuran dan *fitting* dengan menggunakan metode BLR dual-frekuensi. Dari Gambar. 1, dilihat bahwa hasil dari metode dual-frekuensi lebih baik daripada metode single-frekuensi karena spektrum curah hujan terlihat lebih tinggi dan lebih jelas. Nilai *fitting echo power* spektrum hujan pada single-frekuensi sekitar 1 dB, sedangkan pada dual-frekuensi sekitar 16 dB. Untuk hujan deras (Gambar 2); nilai *fitting echo power* spektrum hujan pada single-frekuensi sekitar 6 dB, sedangkan pada dual frekuensi sekitar 21 dB. Puncak spektrum pada hujan deras dalam spektrum BLR lebih kuat dari pada hujan ringan dan *terfitting* dengan baik. Ini akan digunakan untuk memperoleh parameter DSD pada tahap berikutnya.



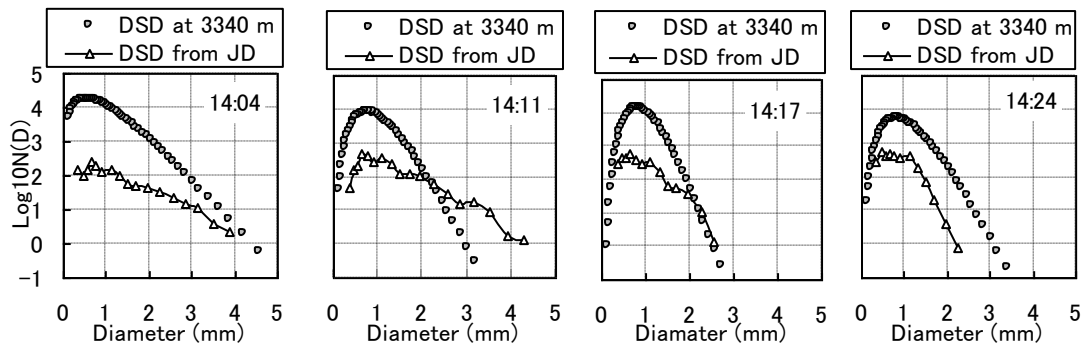
Gambar 1. Plot dari spektrum pengukuran dan *fitting* dari hujan ringan pada ketinggian 2890 m di atas permukaan tanah, Rainrate dari Joss-Disdrometer: 5.138 mm/h. (a) single frekuensi EAR (b) dual-frekuensi EAR (c) dual-frekuensi BLR. Bulatan adalah spektrum pengukuran dan garis tebal adalah *fitting* spektrum.



Gambar 2. Plot dari spektrum pengukuran dan fitting dari hujan deras pada ketinggian 2890 m di atas permukaan tanah, Rainrate Joss-Disdrometer: 11.097 mm/h. (a) single frekuensi EAR (b) dual-frekuensi EAR (c) dual-frekuensi BLR. Bulatan adalah spektrum pengukuran dan garis tebal adalah *fitting* spektrum.

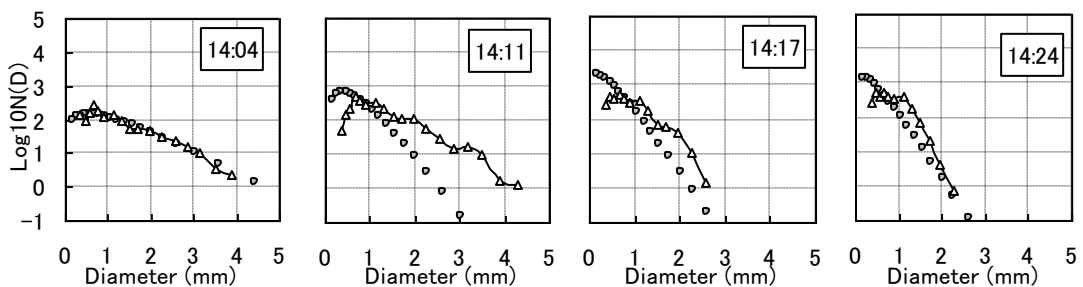
3.2 Profil DSD dari Metode Single dan Dual Frekuensi.

Gambar 3 menunjukkan DSD pada ketinggian 3340m di atas permukaan tanah untuk hujan berintensitas antara 5 dan 11mm/jam yang diperoleh dari data tanggal 23 April 2004. Terlihat dengan jelas bahwa DSD dari metode single-frekuensi sangat berbeda dari DSD yang didapatkan oleh JD.



Gambar 3. Perbandingan DSD Single-frekuensi dan Joss-Disdrometer dari data tanggal 23 April 2004 pukul 14:04 sampai 14:24.

Gambar 4 menunjukkan perbandingan DSD menggunakan metode dual-frekuensi dengan data Joss-disdrometer pada periode dan ketinggian yang sama dengan Gambar. 3. Hasil DSD dari metode dual-frekuensi terlihat lebih cocok dengan DSD yang diamati oleh Joss-disdrometer. Joss-disdrometer memiliki kemampuan untuk mengukur DSD secara langsung. Dengan demikian hasil yang ditunjukkan pada Gambar. 3 dan 4 menunjukkan bahwa vertikal profi DSD yang diperkirakan dengan menggunakan metode dual-frekuensi, menunjukkan hasil yang lebih baik daripada metode single-frekuensi.



Gambar 4. Perbandingan DSD Dual-frekuensi dan Joss-Disdrometer dari data tanggal 23 April 2004 pukul 14:04 sampai 14:24.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini telah memperlihatkan bahwa metode dual-frekuensi lebih baik dibandingkan metode single frekuensi untuk mendapatkan struktur vertikal DSD di Koto Tabang. Hal itu diperlihatkan oleh *fitting* spektrum hujan pada dual-frekuensi terlihat lebih tinggi dan lebih jelas dibandingkan single frekuensi. Selain itu, data JD sebagai pembandingan pada penelitian ini, dimana profil DSD menggunakan dual-frekuensi lebih memiliki *fitting* yang cocok dengan data Joss-disdrometer. Di dalam penelitian ini telah dianalisa hanya beberapa studi kasus saja. Oleh karena, diperlukan penelitian yang lebih lanjut dengan menggunakan data yang lebih banyak.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kozi, T., K. K. Reddy, T. Shimomai, H. Hashiguchi, Y. Ohno, and S. Minami, 2003: Estimation of raindrop size distribution profile with atmosphere radars at south India and Sumatera, Japanese URSI-F meeting, No.473, Osaka Pref. Univ.
2. Madden and Julian, 1994: Observations of the 40-50 Day Tropical Oscillation – A Review, Mon. Weather Rev., Vol. 122, 814-837.

3. Maigure, II. W. B., and S. K. Avery, 1994: Retrieval of raindrop size distributions using two Doppler wind profiler: Model sensitivity testing, *J. Appl. Meteor.*, Vol. **33**, 1623-1635.
4. Marzuki, T. Kozu, T. Shimomai, W. L. Randeu, H. Hashiguchi, and Y. Shibagaki, 2009: Diurnal variation of rain attenuation obtained from measurement of raindrop size distribution in equatorial Indonesia, *IEEE Trans. Ant. Propag.*, Vol. **57**, No.4, Pt.II, 1191-1196.
5. Renggono, F., M. K. Yamamoto, H. Hashiguchi, S. Fukao, T. Shimomai, M. Kawashima, and M. Kudsy, 2006: Raindrop size distribution observation with Equatorial Atmosphere Radar (EAR) during the CPEA-I observation campaign, *Radio Sci.*, Vol. **41**, 1-10.
6. Renggono, 2006: Study on precipitating clouds over Kototabang, West Sumatera observed by wind profilers, Renggono`s Thesis, submitted Kyoto University.
7. Sato, T., H. Doji, H. Iwai, and I. Kimura, 1990 : Computer processing for deriving drop-size distribution and vertical air velocities from VHF Doppler radar spektrum, *Radio Sci.*, Vol. **25**, 961-973.
8. Schafer, R., S. Avery, P. May, D. Rajopadhyaya, and C. Williams, 2002: Estimation of rainfall drop size distribution from Dual-frekuensi wind profiler spektrum using deconvolution and a non-linear least squares fitting technique, *J. Atmos. Ocean. Tech.* Vol. **19**, 864-874.
9. Ulbrich, C. W. (1983). Natural variations in the analytical form of the raindrop size distribution. *J. Climate Appl. Meteor.*, **22**, 1764-1775
10. Wakasugi, K., A. Mizutani, M. Matsuo, S. Fukao, and S. Kato, 1986: A direct method for deriving drop-size distributions and vertical air velocities from VHF Doppler radar spectra. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **3**, 623-629
11. Williams, C. R., W. L. Ecklund, and K. S. Gage, 1995: Classification of precipitating clouds in the Tropics using 915-MHz Wind Profiler, *J. Appl. Meteor.*, Vol. **12**, 996-1012.