

ANALISIS KARAKTERISTIK HUJAN DENGAN DISDROMETER

Findy Renggono¹

Intisari

Penelitian dengan menggunakan disdrometer untuk mengamati karakteristik hujan di wilayah Bukittinggi telah dilakukan pada bulan Agustus 2001 sampai dengan November 2001. Perbandingan hasil pengukuran curah hujan dengan penakar hujan dan distribusi butir hujan menunjukkan korelasi yang kuat. Dalam penelitian ini, distribusi butir hujan di analisis berdasarkan jenis awan hasil analisis boundary layer radar yang ada dilokasi yang sama. Perbedaan distribusi butir hujan terlihat dengan jelas antara hujan yang terjadi dari awan convective dan awan stratiform.

Abstract

Study on rainfall characteristic in Bukittinggi using disdrometer has been done during rainy season 2001. Comparison of rain gauge measurement and disdrometer is well associated. In this research, droptime distribution has also been analyzed based on cloud type which is analyzed by using boundary layer radar. The difference between drop size distribution of each cloud type can easily be seen, especially between stratiform type and convective type of cloud.

1. PENDAHULUAN

Salah satu karakteristik hujan pada suatu wilayah dapat ditemukan dari distribusi butir hujannya. Untuk memperoleh distribusi butir hujan ini digunakan suatu fungsi yang menunjukkan banyaknya jumlah butir hujan dengan diameter tertentu pada suatu unit volume ruang. Ketepatan dalam pengukuran distribusi butir hujan ini penting bagi aplikasi meteorology, termasuk didalamnya adalah estimasi curah hujan, inisialisasi dan verifikasi model awan.

Penelitian tentang hujan dengan disdrometer ini dilakukan di GAW (*Global Atmosphere Watch*) yang terletak di Kototabang, Sumatera Barat. Sejak tahun 1998 di lokasi ini telah dilakukan pengamatan dinamika atmosfer, termasuk awan hujan, dengan menggunakan sebuah *Boundary Layer Radar* (BLR) yang dipasang atas kerjasama RASC (*Radio Science Center for Space and Atmosphere*), Kyoto University, Japan dengan UPT Hujan Buatan, BPP Teknologi dan GAW, BMG (Badan Meteorologi dan Geofisika). Disdrometer dan sejumlah peralatan pengukuran meteorologi lainnya, baru dipasang pada tahun 2001 atas kerjasama dengan FORSGC (*Frontier Observational Research System for Global Change*), Jepang.

Wilayah yang terletak di atas bukit yang terletak 50 km dari pantai Barat pulau Sumatera ini mempunyai karakteristik hujan yang unik. Hamada (1997, 2001) menyebutkan bahwa wilayah tersebut mempunyai dua puncak musim hujan dalam satu tahun. Walaupun demikian perbedaan antara musim yang banyak hujan dan musim yang sedikit hujan tidaklah terlalu mencolok seperti curah hujan di pantai Utara pulau Jawa. Selain itu lokasinya yang dilalui oleh garis khatulistiwa dan juga langsung berhadapan dengan samudera Hindia, menyebabkan hujan di wilayah ini sangat menarik untuk diteliti lebih lanjut.

Pada tulisan ini akan diulas hasil pengukuran hujan dengan disdrometer dan distribusi curah hujannya pada setiap jenis awan hujan yang terjadi.

2. DATA DAN METODA

Penelitian yang dilakukan di Kototabang, Sumatera Barat ini dilaksanakan pada pertengahan bulan Agustus 2001 sampai bulan November 2001, yaitu pada musim dimana rata-rata curah hujan bulannya tinggi. Pada periode pengamatan ini total curah hujan yang terukur oleh curah hujan otomatis adalah 614 mm. Curah hujan diukur oleh *typing bucket-type raingauge* dan oleh disdrometer. Seluruh data dicatat dengan komputer.

1. Staf UPT Hujan Buatan, BPP Teknologi.
Email: findy@bppt.go.id

Tabel 1. Kelas dari butir hujan

Kelas dari butir hujan	Nilai batas terendah diameter butir hujan [mm]	Nilai rata-rata diameter butir hujan pada kelas i Di [mm]	Kecepatan jatuh butir hujan dengan diameter Di V(Di) [m/s]	Selisih nilai butir pada kelas i Di [mm]
1	0.313	0.359	1.435	0.092
2	0.405	0.455	1.862	0.100
3	0.505	0.551	2.267	0.091
4	0.596	0.656	2.692	0.119
5	0.715	0.771	3.154	0.112
6	0.827	0.913	3.717	0.172
7	0.999	1.116	4.382	0.233
8	1.232	1.331	4.986	0.197
9	1.429	1.506	5.423	0.153
10	1.582	1.665	5.793	0.166
11	1.748	1.912	6.315	0.329
12	2.077	2.259	7.009	0.364
13	2.441	2.584	7.546	0.286
14	2.727	2.869	7.903	0.284
15	3.011	3.198	8.258	0.374
16	3.385	3.544	8.556	0.319
17	3.704	3.916	8.784	0.423
18	4.127	4.350	8.965	0.446
19	4.573	4.859	9.076	0.572
20	5.145	5.373	9.137	0.455

(Gunn and Kinzer, 1949)

2.1. Disdrometer

Berbagai macam penelitian untuk mengukur distribusi butir hujan ini telah dilakukan orang sejak dahulu. Beberapa metoda dan alat pengukuran telah di coba, tapi yang paling populer adalah penelitian dengan menggunakan disdrometer yang ditemukan oleh Joss dan Waldvogel (1967). Dengan alat ini, momentum dari butir hujan yang jatuh mengenai sebuah sensor elektromekanis akan dirubah menjadi sinyal listrik. Alat ini kemudian disempurnakan oleh Sheppard (1990), yang sampai sekarang ini merupakan alat standar untuk mengukur distribusi butir hujan.

Disdrometer yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe RD-69 buatan Distrometer Ltd. (Switzerland), yang merupakan disdrometer dengan sensor elektromekanis. Alat ini mempunyai kemampuan untuk mengukur diameter butir hujan antara 0.3 mm sampai dengan 5.0 mm, yang dibagi dalam 20 kelas (19 kelas ditambah 1 kelas untuk data diatas 5.0 mm). Berdasarkan pembagian kelas ini masing-masing jumlah butir hujan dapat dihitung. Pembagian kelas untuk masing-masing ukuran butir hujan ditunjukkan pada Tabel 1.

Distribusi butir hujan biasanya dinyatakan dalam bentuk fungsi N(D), yaitu jumlah konsentrasi butir hujan dengan diameter D pada suatu volume

udara tertentu. Untuk menghitung nilai N(D) dari jumlah butir hujan yang terukur, digunakan rumus

$$N(D_i) = \frac{n(i)}{F \times t \times v_t(D_i) \times \Delta D_i} \quad (1)$$

dimana,

N(D) : Jumlah butir dengan ukuran diameter D per unit volume [$m^{-3} mm^{-1}$]

D : Diameter butir hujan [mm] (Rata-rata masing-masing kelas)

ΔD_i : Besarnya selisih diameter pada kelas i [mm]

n(i) : Jumlah butir hujan kelas i yang terukur selama waktu t

S : Luas penampang sensor pada disdrometer ($0.005 m^2$)

t : Selang waktu pengukuran (t=60 detik)

$v_t(D_i)$: Kecepatan jatuh dari butir hujan dengan diameter D_i [m/s]

Selain dapat mengukur besar butiran hujan yang turun, disdrometer juga dapat menghitung jumlah curah hujan dari jumlah total butir hujan pada masing-masing diameter butir. Untuk menghitung curah hujan digunakan rumus sebagai berikut:

$$R = \frac{P}{6} \times \frac{3.6}{10^3} \times \frac{1}{F \times t} \sum_{i=1}^{20} (n_i \times D_i^3) \quad (2)$$

dan

$$RA = R \times t / 3600 \quad (3)$$

dimana,

R = Curah hujan [mm/jam]

RA = Jumlah curah hujan [mm]

F = luas permukaan disdrometer ($F = 0.005 m^2$)

2.2. Boundary Layer Radar

BLR merupakan radar atmosfer yang beroperasi pada frekuensi 1357 MHz (L-band). Dengan daya sebesar 1 kW, radar ini mampu mengamati pergerakan udara pada saat udara cerah dan juga dapat mengamati struktur vertikal dari awan hujan pada saat terjadi hujan pada ketinggian 0.5 km sampai dengan 6.4 km (Renggono et al., 2001). Antena yang digunakan untuk dapat mengamati 3 komponen angin guna mendapatkan informasi angin secara 3 dimensi adalah 3 buah antena parabola yang diarahkan ke utara, timur dan tegak lurus ke atas.

Pada tulisan ini, data dari BLR digunakan untuk menentukan jenis awan hujan yang turun pada saat pengukuran distribusi butir hujan dengan

disdrometer. Dalam menentukan jenis awan hujan, digunakan metode Williams (1995) dengan beberapa perubahan seperti yang digunakan oleh Renggono (2000). Metode ini menggunakan ketiga paramater yang diperoleh dari beam vertical dari BLR, yaitu reflektifitas, kecepatan Doppler dan lebar spektrum, untuk menentukan apakah awan hujan yang terpantau adalah awan hujan jenis *stratiform*, *convective*, campuran dari keduanya (*stratiform-convective*) atau *shallow convective*. Untuk lebih jelasnya lagi mengenai pembagian jenis awan hujan ini, dapat dilihat pada Renggono *et al.* (2001) atau Williams (1995).

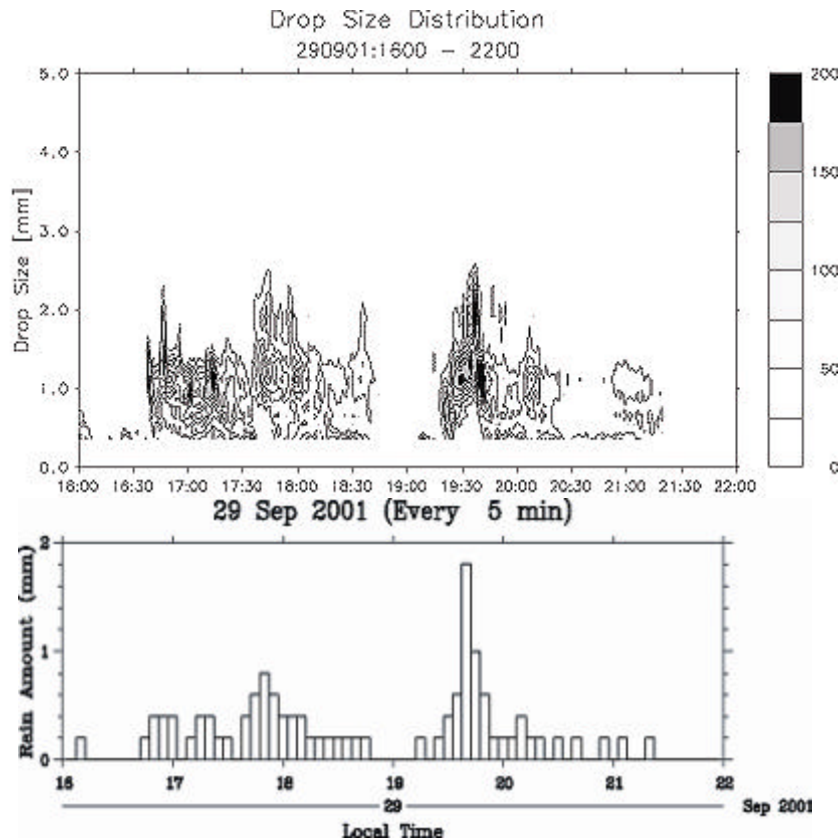
3. PENGAMATAN HUJAN DENGAN PENAKAR OTOMATIS DAN DISDROMETER

Pengamatan kejadian hujan dengan menggunakan penakar hujan otomatis dan disdrometer dilakukan untuk membandingkan hasil pengukuran suatu kejadian hujan dengan dua alat yang berbeda sistim kerjanya. Sebagai contoh kasus, digunakan kejadian hujan yang terjadi pada tanggal 29 September 2001 pukul 16:00-22:00 (waktu setempat). Hasil pengukuran dengan

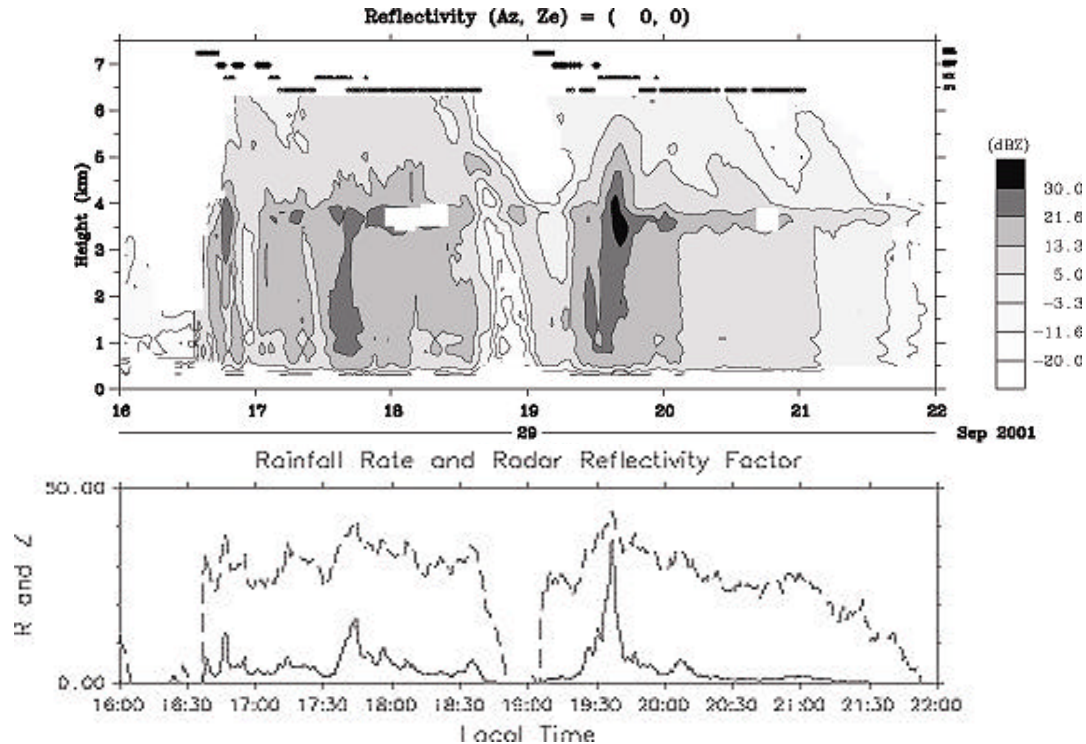
kedua alat ini ditunjukkan pada gambar 1.

Gambar bagian atas adalah jumlah butir hujan pada masing-masing diameter yang diukur oleh disdrometer, sedangkan gambar bagian bawah adalah jumlah curah hujan setiap 5 menit yang diukur oleh penakar hujan otomatis. Sumbu horizontal pada gambar atas adalah waktu dan sumbu tegaknya merupakan diameter butir hujan. Warna kontur menunjukkan nilai N(D) pada masing-masing ukuran butir, yang dihitung dengan menggunakan rumus (1). Gambar bawah adalah jumlah curah hujan tiap 5 menit hasil pengukuran dengan penakar hujan otomatis (*typing bucket*).

Dari gambar ini terlihat bahwa hasil pengukuran dengan disdrometer dan penakar hujan otomatis menunjukkan hasil yang sama, yaitu pada saat penakar hujan mendeteksi ada hujan, disdrometer juga mencatat adanya kejadian hujan di waktu yang sama. Pada saat curah hujan terpantau cukup besar di permukaan, distribusi butir hujan pun semakin melebar. Selain itu, juga terlihat pada gambar ini, bahwa penyumbang curah hujan terbanyak adalah dari butir hujan yang besar. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 bahwa butir hujan yang sampai ke permukaan pada kejadian hujan sekitar pukul 17:40 dan pukul 19:40,



Gambar 1. Distribusi Curah Hujan yang terukur oleh disdrometer pada tanggal 29 September 2001 16:00 – 22:00 (atas) dan akumulasi curah hujan yang diukur oleh penakar otomatis tipe *Typing bucket*.



Gambar 2. Bidang waktu dan ketinggian untuk reflektifitas BLR (gambar atas) tanggal 29 September 2001 pukul 16:00 – 22:00 waktu setempat. Pada bagian atas dari grafik (tanda +, *, o, x) adalah jenis awan berdasarkan analisis data BLR. Berturut-turut dari bawah keatas adalah *stratiform*, *mixed stratiform-convective*, *deep convective* dan *shallow convective*. Gambar bawah adalah curah hujan (garis tegas) [mm/jam] dan faktor reflektifitas radar (garis putus-putus) [dB] yang dihitung berdasarkan pengukuran dengan disdrometer.

berukuran lebih dari 2 mm. Dari rumus hubungan antara curah hujan dengan diameter (rumus 2), jelas ditunjukkan bahwa ukuran butir hujan yang besar akan mengakibatkan curah hujan yang besar, karena R berbanding lurus dengan D^3 .

4. PERBANDINGAN DISTRIBUSI CURAH HUJAN TERHADAP JENIS AWAN HUJAN

Dari bab sebelumnya telah ditunjukkan bahwa distribusi butir hujan juga mempengaruhi jumlah curah hujan yang terukur di permukaan. Pada bab ini akan diperlihatkan hubungan antara distribusi butir hujan yang terukur di permukaan dengan jenis awan yang menghasilkan hujan tersebut. Dalam melakukan penelitian ini digunakan data dari BLR yang terletak di lokasi yang sama dengan disdrometer untuk melihat struktur vertikal dari awan hujan, sehingga dapat diketahui jenis awannya.

Sebagai contoh, digunakan kejadian hujan yang sama dengan contoh pada bab sebelumnya, yaitu kejadian hujan tanggal 29 September 2001. Hasil pengukuran dengan disdrometer dan hasil pengamatan struktur awan dengan BLR pada saat

kejadian hujan tanggal tersebut untuk pukul 16:00-22:00 ditunjukkan pada gambar 2. Gambar atas adalah kontur reflektivitas radar untuk ketinggian 500 m sampai dengan 6.4 km dari permukaan tanah. Pada bagian atas gambar ini ditunjukkan jenis awan hujan dari masing-masing waktu pengamatan. Berturut-turut dari atas kebawah adalah *shallow convective*, *deep convective*, *mixed stratiform-convective* dan *stratiform*. Dapat dilihat pada gambar ini bahwa reflektifitas kuat yang terlihat menjulang ke atas (pukul 16:50, 17:40, dan 19:30) disebabkan karena pantulan oleh butir hujan dari awan convective/mixed, sedangkan yang mendatar (pukul 17:40-18:40, dan 19:50-21:00) ditimbulkan oleh awan jenis *stratiform*.

Pada gambar bawah adalah laju curah hujan (garis tegas) dan besar reflektifitas (garis putus-putus) yang dihitung dari pengukuran dengan disdrometer. Nilai curah hujan dihitung dengan menggunakan rumus 2, sedangkan nilai reflektifitas (Z) dihitung berdasarkan rumus:

$$Z = \frac{1}{F \times t} \times \sum_{i=1}^{20} \left(\frac{n_i}{v(D_i)} \times D_i^6 \right) \quad (3)$$

biasanya reflektifitas dinyatakan dalam satuan dB:

$$ZDB = 10 \log Z \quad (4)$$

Nilai $V(D)$ dihitung dengan menggunakan rumus:

$$v_i(D_i) = -[9.65 - 10.3 \exp(-6D_i)] \quad (5)$$

nilai ini didapat dari hasil penelitian Gunn and Kinzer (1949).

Pada gambar ini terlihat bahwa pada saat muncul awan *convective* (atau *mixed*), curah hujan terlihat tinggi dan reflektifitas juga akan tinggi. Sebagai contoh pada pukul 1935 tampak reflektifitas radar yang kuat dari 800 m sampai sekitar 6 km. Pada waktu tersebut curah hujan yang terukur oleh disdrometer cukup tinggi, dan dari distribusi butir hujannya, seperti yang ditunjukkan pada gambar 1, tampak bahwa butir hujan yang sampai ke tanah juga mempunyai ukuran diameter butir yang lebih dari 2 mm. Sedangkan pada hujan yang diakibatkan oleh awan-awan *stratiform* hanya mempunyai diameter butir yang kecil. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa awan *convective* mempunyai laju curah hujan yang tinggi dan mempunyai ukuran butir hujan yang besar (Houze, 1995).

Untuk mengetahui pola distribusi butir hujan pada masing-masing jenis awan hujan yang menghasilkannya, dilakukan pengamatan data disdrometer yang dihitung setiap menit. Pada saat yang sama dengan terdeteksinya hujan oleh disdrometer, kecepatan Doppler dan lebar spektrum dari beam BLR yang tegak lurus di analisis struktur vertikal dari awan hujan tersebut. Metoda yang digunakan untuk menganalisis jenis awan hujan pada penelitian ini sama dengan yang digunakan oleh Williams (1995), tetapi pada tulisan ini digunakan data radar setiap menit, bukan rata-rata 30 menit. Dengan cara ini diharapkan dapat diketahui hubungan antara struktur awan dan distribusi butir hujan di permukaan.

Dari data setiap menit ini, nilai $N(D)$ dihitung dan ditampilkan dalam bentuk grafik D vs. $N(D)$ seperti yang terlihat pada gambar 3. Gambar bagian atas adalah distribusi butir hujan untuk bulan September 2001 (kiri) dan Oktober 2001 (kanan), sedangkan di bagian bawah adalah untuk bulan Nopember 2001 (kiri) dan jumlah keseluruhan data dari ketiga bulan tersebut (kanan). Di bagian atas dari masing-masing gambar dicantumkan juga jumlah data (menit) untuk masing-masing jenis awan hujan. Data bulan Agustus tidak ditampilkan disini karena data yang terkumpul untuk bulan tersebut (yang hanya 10 hari) terlalu sedikit.

Pada bulan September, hujan yang terjadi kebanyakan dari jenis awan *stratiform* (garis tebal putus-putus), seperti yang terlihat pada tabel 2,

Tabel 2. Jumlah kejadian hujan [menit] untuk masing-masing jenis awan hujan untuk bulan September, Oktober, Nopember, dan total hujan bulan Agustus sampai Nopember 2002

	str	mix	cnv	shlw
Sep	559	169	205	129
Oct	505	32	128	405
Nov	879	71	151	362
Total	1943	280	484	966

yaitu sebanyak 52.6% dari seluruh kejadian hujan bulan tersebut. Meskipun demikian, jika dibandingkan dengan kurva yang lain, kurva distribusi butir hujan dari awan *stratiform* ini tertinggi hanya pada ukuran butir hujan yang kurang dari 0.5 mm. Pada ukuran butir diatas 1 mm, nilainya selalu dibawah kurva yang lain.

Awan *convective* (garis tebal) mempunyai distribusi butir hujan yang lebar, yaitu dari ukuran butir yang terkecil sampai lebih dari 5.0 mm. Jumlah butirnya pada masing-masing ukuran juga paling tinggi, kecuali untuk ukuran sedang, yaitu antara 1.0 mm sampai 2.8 mm, dimana hujan dari jenis awan *mixed stratiform-convective* mempunyai jumlah kemunculan tertinggi. Sedangkan hujan dari awan *shallow convective* mempunyai bentuk kurva yang hampir sama dengan awan *convective*, kecuali pada ukuran butir dibawah 1.2 mm, hujan dari jenis awan ini adalah yang paling sedikit.

Grafik distribusi butir hujan pada bulan Oktober dan Nopember 2001 (gambar kanan-atas dan kiri-bawah) mempunyai bentuk kurva yang tidak jauh berbeda dengan grafik bulan September. Butir hujan dari awan *stratiform* tidak lebih dari 3.5 mm dan kebanyakan dari ukuran butir yang kecil, sedangkan butir hujan dari awan *deep convective* kebanyakan berukuran besar.

Pada gambar kanan bawah, yaitu grafik diameter butir hujan terhadap jumlah butirnya untuk masing-masing jenis awan periode pertengahan bulan Agustus sampai Nopember 2001, terlihat kurva yang lebih halus dibandingkan gambar sebelumnya. Jumlah total kejadian hujan dari awan *stratiform*, *mixed stratiform-convective*, *deep convective* dan *shallow convective*, berturut-turut adalah 1943 menit, 280 menit, 484 menit dan 966 menit (tabel 2). Disini terlihat bahwa awan *convective* (garis tebal) mempunyai distribusi diameter butir yang cukup besar, dan hampir mencapai ukuran 5 mm, sedangkan untuk awan *stratiform* (garis tebal putus-putus) hanya mempunyai ukuran maksimum kurang dari 3.5 mm. Pada awan *stratiform*, butir hujan dengan diameter yang kecil ($\ll 0.5$ mm) mempunyai jumlah yang lebih banyak dibandingkan awan *convective*. Sedangkan butir hujan dari awan hujan *mixed* dan *shallow* mempunyai kurva yang terletak diantara *stratiform* dan *deep convective*.

5. KESIMPULAN

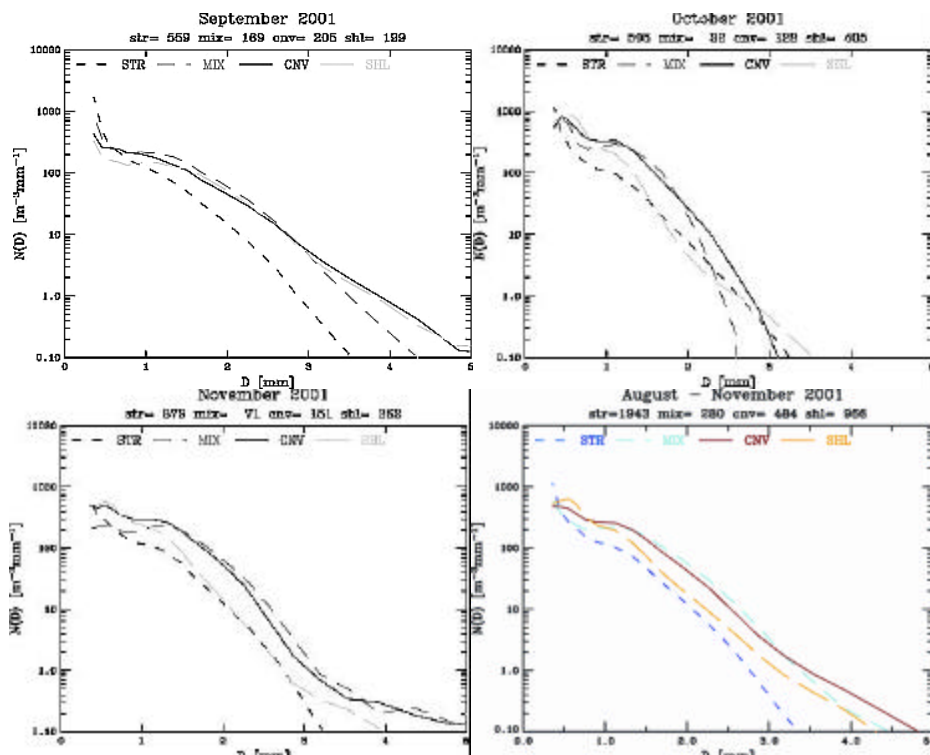
Penelitian tentang karakteristik hujan dengan menggunakan BLR dan disdrometer telah dilakukan untuk bulan September sampai Nopember 2001, yaitu pada salah satu puncak musim hujan dari dua puncak musim hujan yang terjadi di Bukittinggi. Dengan menggabungkan hasil pengukuran dengan dua alat yang berbeda sistem dan obyek pengamatannya ini, dapat diperoleh hasil analisis tentang karakteristik hujan. BLR, yang merupakan L-band radar, dapat mengamati struktur vertikal awan hujan dengan mendeteksi adanya butir hujan dan kecepatan jatuhnya. Sedangkan disdrometer, digunakan untuk mengamati distribusi butir hujan dipermukaan.

Hasil perbandingan pengukuran antara penakar hujan otomatis dengan disdrometer menunjukkan kesamaan waktu terjadinya hujan pada kedua pengukuran tersebut. Perbedaan waktu kejadian hujan yang terjadi antara kedua pengukuran tersebut sangat kecil sekali yang disebabkan karena perbedaan kemampuan teknis dari kedua alat ini. Dari hasil pengamatan ini juga dapat ditunjukkan bahwa ukuran butir hujan mempengaruhi besar curah hujan. Semakin besar ukuran butir hujan, semakin besar pula curah hujan di permukaan. Dalam rumus (2) ditunjukkan

bahwa curah hujan berbanding lurus dengan ukuran butir hujan pangkat tiga.

Curah hujan juga bergantung dari jenis awan hujan yang menghasilkannya. Hujan yang timbul dari awan *convective* mempunyai curah hujan yang tinggi, sedangkan hujan dari awan *stratiform* mempunyai curah hujan yang rendah. Dari hasil pengamatan ini terlihat pula bahwa ukuran butir hujan yang sampai dipermukaan berbeda-beda tergantung pada jenis awan hujannya. Untuk awan-awan *convective*, butir hujan bervariasi dari ukuran butir yang paling kecil sampai yang paling besar. Akan tetapi, ukuran butir hujan yang kecil, jumlahnya lebih sedikit bila dibandingkan dengan butir hujan dari awan *stratiform*. Ukuran butir hujan dari awan *stratiform* tidak lebih dari 3.5 mm, namun demikian bila dibandingkan dengan hujan dari jenis awan hujan lainnya, hujan dari jenis awan *stratiform* dengan ukuran butir < 0.5 mm mempunyai prosentasi kemunculan yang paling besar.

Dengan disdrometer, distribusi butir hujan yang sampai di permukaan dapat diketahui. Untuk melakukan penelitian awan hujan lebih detail lagi diperlukan distribusi butir hujan pada tiap ketinggian, bukan hanya di permukaan. Beberapa penelitian untuk mendapatkan distribusi butir hujan secara vertikal telah dilakukan dengan menggunakan videosonde (Takahashi et al., 2001). Cara ini cukup berhasil, akan tetapi membutuhkan



Gambar 3. Distribusi butir hujan untuk masing-masing jenis awan hujan pada bulan September 2001 (kiri-atas), Oktober 2001 (kanan-atas), November 2001 (kiri-bawah) dan keseluruhan data dari pertengahan bulan Agustus sampai November 2001 (kanan-bawah).

dana yang besar, dan resolusi kerapatan data juga cukup besar. Cara lain yang banyak digunakan adalah menggunakan VHF radar untuk menghitung jumlah dan ukuran butir hujan di berbagai ketinggian. Salah satu VHF radar yang ada di Indonesia adalah EAR yang terletak di Bukittinggi. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut mengenai distribusi butir hujan dapat menggunakan EAR.

6. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kepada Prof. Shoichiro Fukao dan Prof. Hiroyuki Hashiguchi atas diskusi-diskusinya yang sangat berguna bagi tulisan ini. Terimakasih yang sebesar-besarnya ditujukan kepada Dr. S. Mori dari FORSGC (Frontier Observational Research System for Global Change), Jepang, yang telah membantu memberikan data Disdrometer. Terimakasih juga diberikan kepada RASC (Radio Science for Space and Atmosphere), Jepang, atas izin penggunaan data BLR Bukittinggi. Penelitian ini mendapat dana dari JSPS dalam program Ronpaku tahun 2002.

DAFTAR PUSTAKA

Gunn, R. and G.D. Kinzer, 1949: The Terminal Velocity of Fall for Droplets in Stagnant Air, *J. Meteor.*, Vol. 6, 243-248

Hamada, J., M.D. Yamanaka, J. Matsumoto, H. Hashiguchi, S. Fukao, P.A. Winarso, and T. Sribimawati, 1997: Characteristic temporal

scales and their localities of rainfall variations over Indonesia, Abstracts: IAMAS-IAPSO Joint International Meeting, Melbourne.

- Hamada, J., M.D. Yamanaka, J. Matsumoto, S. Fukao, P.A. Winarso, T. Sribimawati, 2002: Spatial and Temporal Variations of the Rainy Season over Indonesia and their Link to ENSO, *J. Meteor. Soc. Japan*, **80**, 285-310.
- Houze, R.A. Jr., 1993: Cloud Dynamics, Academic Press, P 560.
- Joss, J., and A. Waldvogel, 1967: Ein Spektrograph fuer Niederschlagstropfen mit automatischer Auswertung. *Pure Appl. Geophys.*, **68**, 240-246.
- Renggono, F., 2000: Master Thesis, Department of Geophysics Science Faculty of Science, Kyoto University.
- Renggono, F., H. Hashiguchi, S. Fukao, S.-Y. Ogino, N. Okamoto, F. Murata, B.P. Sitorus, M. Kudsy, M. Kartasasmita, and G. Ibrahim, 2001: Precipitating clouds observed by L-band boundary layer radars in equatorial Indonesia, *Ann. Geophys.*, **19**, 889-897
- Sheppard, B. E., and P. I. Joe, 1994: Comparison of raindrop size distribution measurements by a Joss-Waldvogel disdrometer, a PMS 2DG spectrometer, and a POSS Doppler radar. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **11**, 874-887.
- Takahashi, T., N. Yamaguchi, T. Kawano, 2001: Videosonde observation of torrential rain during Baiu season, *Atmos. Res.*, **58**, 205-228.
- Williams, C.R., W.L. Ecklund and K.S. Gage, 1995: Classification of precipitating clouds in the tropics using 915-MHz wind profilers, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **12**, 996-1012.

DATA PENULIS

FINDY RENGGONO. Lahir di Tasikmalaya, tanggal 11 Maret 1968. Memperoleh gelar S1 dari fakultas teknik jurusan elektronika, Kyoto University tahun 1993. Pada tahun 1998 melanjutkan S2 di fakultas sains jurusan geophysics, Kyoto university, lulus tahun 2000. Mulai tahun 2001 mengikuti program JSPS-Dissertation Doctor (Ronpaku) di Radio Science Center for Space and Atmosphere, Kyoto university. Sejak tahun 1993 sampai sekarang, bekerja di UPT Hujan Buatan, BPP Teknologi.