

**Mikrofisika dari Drop Size Distribution (DSD)
yang Diamati oleh 2DVD di Koto Tabang, Sumatera Barat**

*Marzuki¹, Siti Chadijah¹, Arif Budiman¹
¹Jurusan Fisika, Universitas Andalas, Padang, Indonesia

Abstrak

Akurasi pengukuran distribusi butiran hujan atau yang lebih dikenal sebagai *raindrop size distribution* (DSD) sangat penting untuk memperkirakan pelemahan (*attenuation*) sinyal gelombang mikro yang disebabkan oleh hujan, khususnya pada aplikasi gelombang mikro dengan frekuensi tinggi. Penelitian ini mempelajari karakteristik DSD di daerah ekuator (Koto Tabang, Sumatera Barat) yang diukur dengan *two dimensional video disdrometer* (2DVD). Variasi dari parameter DSD yang dihitung dengan dua distribusi (eksponensial dan gamma) telah dianalisa. Penurunan semua parameter gamma dan eksponensial dengan peningkatan intensitas curah hujan teramati dalam penelitian ini. Lompatan N_0 *Waldvogel* jelas terlihat, dan memperlihatkan hubungan N_0 - R yang berbeda dari hasil penelitian pada daerah lain yang dilakukan peneliti sebelumnya. Dari analisa Gamma DSD, juga teramati bahwa hujan di Koto Tabang banyak mengandung butiran hujan yang kecil yang diindikasikan oleh kecilnya nilai m . Hasil ini memberikan kesimpulan awal bahwa proses fisika yang terlibat dalam pembentukan dan evolusi DSD di Koto Tabang berbeda dengan daerah lain. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut yang memadukan data radar diperlukan untuk membuktikan hal ini.

**Microphysics of Raindrop Size Distribution
observed by 2DVD at Koto Tabang, West Sumatera**

Marzuki¹, Siti Chadijah¹, Arif Budiman¹
¹Department of Physics, Andalas University, Padang, Indonesia

Abstract

Accurate measurements of raindrop size distribution (DSD) are important for prediction of microwave signal attenuation due to rain, especially for high microwave frequency application. This study shows the characteristics of the DSD in the equatorial region (Koto Tabang, west Sumatera), measured with a two dimensional video disdrometer (2DVD). The variation of the DSD parameters calculated from two distributions (exponential and gamma) is analyzed. A decrease in all parameters of gamma and exponential distribution with increasing rain rate is observed in this study. The Waldvogel N_0 jump is clearly shown and N_0 - R relation of Koto Tabang precipitation is different from other relations found by other investigators. Analysis of averaged DSD spectra shows that the precipitation at Koto Tabang is associated with many small drops indicated by small value of m . Besides many small drops, there is also an increase in the number of large drops in increasing rain intensity, indicated by increasing D_m . In the future, detail analysis about the microphysical process affecting the DSD formation at Koto Tabang needs to be conducted.

Key words: DSD, attenuation

*Corresponding author address: Marzuki
Jurusan Fisika, Universitas Andalas
Kampus Limau Manis, Padang, Sumatera Barat
E-mail: marzuki@fipa.unand.ac.id

1. Pendahuluan

Akurasi pengukuran distribusi butiran hujan yang dalam meteorologi dan fisika atmosfer disebut *drop size distribution* (DSD) merupakan satu hal yang sangat penting dalam fisika awan untuk mempelajari proses-proses yang terlibat dalam pembentukan dan pemodifikasian DSD. Pengukuran curah hujan yang dalam hal ini kita istilahkan *rainfall* menggunakan teknologi radar tergantung dari pengetahuan akan DSD. Secara mendasar, penggunaan radar memerlukan sebuah hubungan antara *reflectivity* terukur Z dan *rainfall* terhitung R . Hubungan tersebut, yang dalam istilah radar lebih dikenal dengan hubungan Z - R (Z - R relations) dapat dihitung dari pengamatan terhadap DSD dalam waktu yang lama dengan menggunakan *disdrometer*. Selain hal di atas, attenuasi gelombang elektromagnetik juga merupakan fungsi DSD. Oleh karena itu, pengetahuan DSD juga penting dalam teknologi telekomunikasi khususnya yang menggunakan frekuensi tinggi.

Karakteristik dari DSD akan mencerminkan karakteristik hujan dari suatu daerah. Rosenfeld dan Ulbrich (2002) melaporkan bahwa hubungan Z - R memperlihatkan variasi baik terhadap lokasi maupun terhadap intensitas curah hujan. Karena Z dan R adalah fungsi dari DSD, maka hal ini tentu saja mempertegas bahwa DSD itu sendiri tentu juga bervariasi terhadap daerah iklim dan tipe hujan. Dengan demikian, maka sangat diperlukan untuk mengumpulkan data dan melakukan penelitian mengenai karakteristik DSD pada berbagai kondisi iklim yang berbeda di berbagai belahan dunia.

Indonesia yang terletak di garis khatulistiwa merupakan salah satu dari negara di dunia yang atmosfernya masih belum terpahami dengan baik. Cuaca di Indonesia tidaklah terprediksi sebagaimana halnya di negara-negara yang terletak di lintang tengah. Cuaca di Indonesia bervariasi dalam skala waktu yang sangat pendek. Hal inilah yang kemudian dikenal dengan istilah bahwa atmosfer Indonesia itu aktif. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengkaji fenomena atmosfer di Indonesia (e.g., Renggono *et al.* 2001; Kozu *et al.* 2005; Marzuki *et al.* 2005). Meskipun demikian, penelitian mengenai karakteristik DSD yang menganalisis banyak data masih sangat terbatas. Salah satu daerah yang menjadi perhatian banyak ilmuwan dunia saat ini adalah Koto Tabang, Sumatra Barat, Indonesia (0.20°S , 100.32°E , 865 m di atas permukaan laut). Di daerah ini telah dibangun pusat pengamatan atmosfer ekuator yang dilengkapi berbagai fasilitas baik *active* maupun *passive sensor*. Penelitian ini memanfaatkan salah satu dari peralatan yang ada di sana, yaitu *2D-Video Disdrometer* (2DVD) untuk mempelajari karakteristik dari DSD di daerah

ini. Data 2DVD yang digunakan dalam penelitian ini disediakan oleh *Remote Sensing Laboratory* (RSL) Universitas Shimane, Jepang sebagai pemilik 2DVD di Koto Tabang.

2. Metodologi

2.1 Sumber data

Pengamatan terhadap DSD dilakukan dengan menggunakan sebuah *two-dimensional video disdrometer* (2DVD). Keterangan lebih rinci mengenai komponen dan sistem kerja alat ini dapat dilihat dalam tulisan Tokay *et al.* (2001). 2DVD dapat mengukur ukuran butiran hujan dengan akurasi nominal ± 0.2 mm. Melalui pengalaman, butiran (*drop*) yang tercatat lebih kecil dari 0.2 mm distribusinya tidak wajar seperti juga ditemukan oleh Tokay *et al.* (2001). Dalam penelitian ini kami mengolah DSD untuk interval satu menit, mengadopsi 0.1 mm *channel interval* dari 0.25 mm sampai 7.45 mm. Data yang intensitas curah hujannya lebih kecil dari 0.1 mm/h tidak dianalisa seperti juga dilakukan oleh Tokay *et al.* (2001). Penelitian ini menganalisa data selama tiga tahun (2003-2005) dengan jumlah data 61115.

2.1 Parameterisasi DSD

Banyak metode telah dikembangkan dalam mempelajari karakteristik dari pada DSD. Dalam penelitian ini, gamma DSD yang telah diterima secara luas digunakan untuk memodelkan DSD. Karakteristik mikrofisika dari DSD di daerah ini diteliti dengan mempelajari karakteristik dari parameter-parameter DSD seperti N_0 , m dan A . Parameter m yang dikenal sebagai *shape parameter* memperlihatkan kecembungan atau kecekungan dari pada DSD. Kozu dan Nakamura (1991) telah mengembangkan teknik untuk menghitung parameter gamma DSD yang dikenal dengan metode pendekatan pangkat (*method of moments approach*). Untuk DSD yang distribusinya gamma, pangkat ke $-x$ dari DSD yang kita simbolkan dengan M_x dapat ditulis sebagai

$$M_x = N_0 \frac{\Gamma(m+x+1)}{\Lambda^{m+x+1}} \quad (1)$$

Dengan menggunakan $x_1 = 3$, $x_2 = 4$, $x_3 = 6$, maka kita bisa mendapatkan parameter DSD sebagai fungsi gamma sebagai berikut:

$$m = \frac{11G - 8 + [G(G+8)]^{1/2}}{2(1-G)} \quad (2)$$

yang mana
$$G = \frac{M_4^2}{M_3^2 M_6}, \quad (3)$$

$$N_0 = \frac{\Lambda^{m+4} M_3}{\Gamma(m+4)}, \quad (4)$$

$$\Lambda = \frac{(m+4)M_3}{M_4} = \frac{(m+4)}{D_m}, \quad (5)$$

dimana $D_m = \frac{M_4}{M_3}$.

Seperti yang dijelaskan pada pendahuluan bahwa DSD juga bergantung kepada intensitas curah hujan (*rainrate*). Dalam penelitian ini diteliti juga variasi karakteristik DSD dalam hubungannya dengan *rainrate* (R).

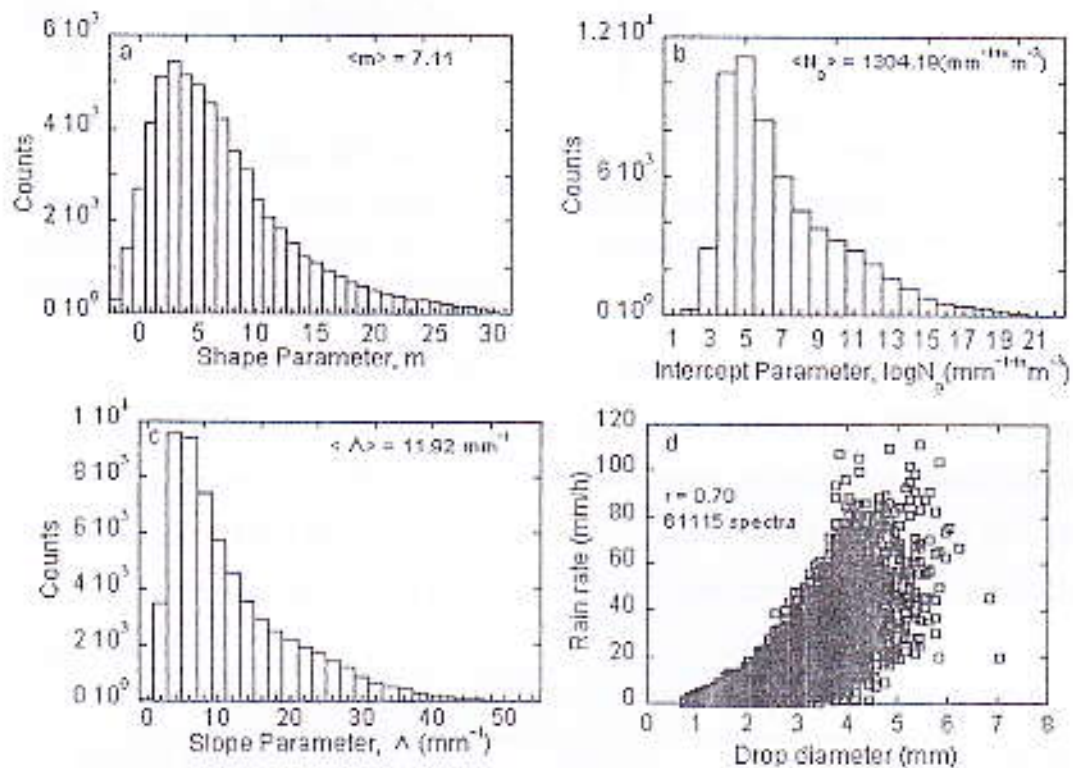
3. Hasil

Gambar 1. memperlihatkan histogram dari distribusi parameter gamma dari hujan di Koto Tabang. Nilai rata-rata dari setiap parameter juga diperlihatkan. Rata-rata N_0 dihitung sebagai $N_0 = \exp(n^{-1} \sum \log N_{0,i})$ seperti yang dilakukan Tokay dan Short (1996). Modus dari pada nilai parameter *shape*, *intercept*, dan *slope* berkisar pada 4.26, $1.3 \times 10^3 \text{ mm}^{-1-m} \text{ m}^{-3}$ dan 4.65 mm^{-1} . Parameter dari distribusi gamma ini konsisten dengan temuan sebelumnya (e.g., Tokay dan Short, 1996; Tokay *et al.*, 2001). Untuk semua data *disdrometer*, parameter *shape* (m) yang berada pada interval $-3.28 \leq m \leq 15$ teramati sekitar 89 % dari data. Nilai m yang terdapat dalam berbagai literatur adalah $-3 < m < 15$ (e.g., Tokay and Short, 1996; Willis *et al.*, 1989; Kozu and Nakamura, 1991; Bringi *et al.*, 2003).

3.1 Lompatan N_0 (" N_0 jump")

Banyak penelitian mengenai DSD telah mengamati suatu peningkatan nilai N_0 secara tiba-tiba, baik pada *exponential* dan *gamma* DSD yang berhubungan dengan perubahan tipe hujan dari *convective* ke *stratiform* (e.g., Wadvogel, 1974; Tokay *et al.*, 1996). *Convective* dan *stratiform* merupakan dua bentuk pengelompokan hujan yang umum di dalam meteorologi yang keduanya dibedakan karena proses fisika pembentukannya yang berbeda. Meskipun demikian, dalam penelitian ini tidak akan dikelompokkan hujan menjadi dua tipe tersebut. Beberapa penelitian (e.g., Stewart *et al.*, 1984; Huggel *et al.*,

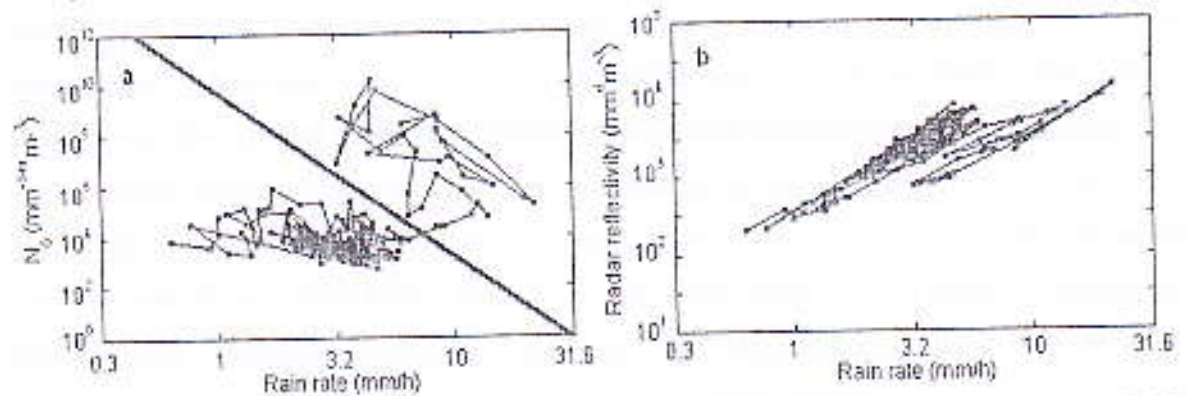
1996;) mendemonstrasikan hubungan yang jelas antara proses *riming* pada awan dengan nilai N_0 dari spectra butiran hujan, yang mana terjadi perubahan yang dramatis dengan peningkatan *riming* tanpa perubahan yang berarti pada intensitas curah hujan. Oleh karena itu, kita bisa melogikakan awan *convective* dicirikan dengan butiran hujan yang kecil (nilai N_0 yang besar) dan butiran hujan yang besar (N_0 kecil) sebagai *stratiform*. Tokay *et al.* (1996) menemukan bahwa persamaan $N_0 = 4 \times 10^9 R^{4.3}$ merupakan sebuah batasan yang bagus untuk membedakan antara *convective* dan *stratiform* untuk *oceanic tropical rainfall* yang diamati oleh *Joss and Waldvogel disdrometer*. Dalam penelitian yang lain, Roy *et al.* (2005) mendapatkan persamaan $N_0 = 5.8 \times 10^7 R^{4.45}$ memisahkan data hujan tropis di selatan India. Nilai ini lebih rendah dari yang didapatkan Tokay *et al.* (1996).



Gambar 1. Frekuensi distribusi dari parameter gamma DSD dari hujan di Koto Tabang (a) *shape*, m ; (b) *intercept*, N_0 ; (c) *slope*, Λ ; (d) diameter butiran.

Menggunakan satu-menit spectra, lompatan N_0 juga teramati pada DSD di ekuator (Koto Tabang). Gambar 2 memperlihatkan diagram garis antara rainrate (R) dan N_0 (a) dan diagram antara R dan Z untuk hujan tanggal 7 April 2004. Teramati dengan jelas dari Gambar 2 bahwa ada pemisahan yang jelas nilai N_0 kedalam dua kelompok. Meskipun pergeseran nilai N_0 tidak selalu tidak ambigu, garis $N_0 = 5.8 \times 10^9 R^{6.6}$, ditemukan sebagai pemisah antara dua kelompok data yang memiliki " N_0 jump". Hubungan N_0 - R dihitung

dengan meneliti beberapa hujan yang memiliki peningkatan dan penurunan nilai N_0 yang jelas tanpa perubahan yang signifikan dari pada *rainrate*. Untuk masa yang akan datang, hubungan N_0 - R yang didapatkan di dalam penelitian ini akan diujicobakan untuk mengelompokkan jenis-jenis hujan (*convective* dan *stratiform*) yang terjadi di Koto Tabang, untuk melihat apakah hujan di daerah ekuator dapat dikelompokkan dengan didasarkan "No jump" atau tidak.



Gambar 2. Sebuah studi kasus tanggal 7 April 2004, Parameter N_0 dari gamma DSD sebagai sebuah fungsi *rainrate*. Garis tebal mengindikasikan nilai $N_0 = 5.8 \times 10^9 R^{-6.6}$ yang membagi data ke dalam dua kelompok.

3.2 Ketergantungan DSD parameter dengan *rainrate*

Dalam bagian ini, akan dibahas ketergantungan karakteristik DSD terhadap intensitas curah hujan (*rainrate*). DSD dari setiap hujan selama periode pengamatan dikelompokkan ke dalam kelas-kelas kecil dan kemudian dirata-ratakan. Ketergantungan dari karakteristik DSD terhadap intensitas curah hujan dipelajari dengan menggunakan distribusi gamma dan ekponensial.

Tabel 1. Parameter DSD untuk beberapa intensitas curah hujan

<i>Rainrate</i> (mm/h)	Gamma				Ekponensial	
	D_0	m	A	N_0	A	N_0
$0.1 \leq R < 1$	0.74	1.47	6.91	80590	5.31	13596
$1 \leq R < 2$	0.97	0.95	4.76	19975	3.98	8240
$2 \leq R < 5$	1.23	0.95	3.77	11329	3.15	5858
$5 \leq R < 10$	1.43	2.50	4.32	32426	2.86	7694
$10 \leq R < 20$	1.71	2.49	3.60	17875	2.39	6665
$20 \leq R < 40$	2.10	2.12	2.75	7266	1.92	4937
$R \geq 60$	2.36	1.21	2.07	4967	1.65	4693
Semua	1.54	-0.39	2.13	2042	2.31	2395

Tabel 2. memperlihatkan parameter distribusi gamma. Parameter eksponensial juga diperlihatkan sebagai perbandingan. Untuk memparameterisasi distribusi eksponensial, momen ke-3 dan ke 6 dari spectra digunakan (Wadvogel, 1974). Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa, dua buah parameter baik dari distribusi gamma dan eksponensial (N_0 , A) menurun dengan peningkatan intensitas curah hujan. Juga terlihat bahwa m seperti yang teramati pada Table 2, mula-mulanya menurun kemudian naik seiring dengan peningkatan intensitas curah hujan. Kami juga mencatat bahwa nilai D_0 meningkat dengan peningkatan intensitas curah hujan, mengindikasikan sebuah pelebaran dari DSD. Sauvageout dan Lacaux (1995) memperlihatkan sebuah peningkatan yang sistematis dari N_0 , dan penurunan A dengan peningkatan intensitas curah hujan. Dalam penelitian yang lain, Tokay dan Short (1996) menemukan bahwa semua parameter gamma DSD meningkat dengan peningkatan curah hujan. Perbedaan hasil yang didapatkan di dalam penelitian ini dengan yang dilakukan peneliti sebelumnya, kami duga sebagai indikasi awal yang menunjukkan perbedaan proses fisika yang terlibat dalam pembentukan dan evolusi dari DSD di Koto Tabang dengan daerah lain. Oleh karena itu, analisa yang lebih mendalam, tentang proses mikrofisika yang mempengaruhi DSD di Koto Tabang perlu untuk dilakukan pada waktu yang akan datang.

4. Kesimpulan dan diskusi

Akurasi pengukuran distribusi butiran hujan atau yang lebih dikenal sebagai *raindrop size distribution* (DSD) di dalam radar meteorologi sangat penting untuk memperkirakan pelemahan (*attenuation*) sinyal gelombang mikro yang disebabkan oleh hujan, khususnya pada aplikasi gelombang mikro dengan frekuensi tinggi. Dengan menggunakan data yang teramati oleh *two dimensional video disdrometer* (2DVD), telah dipelajari karakteristik DSD di daerah ekuator (Koto Tabang, Sumatera Barat). Tiga tahun data (2003-2005) telah dianalisa dengan menggunakan distribusi gamma dan eksponensial. Lompatan N_0 *Waldvogel* teramati dengan jelas pada beberapa hujan di Koto Tabang dan garis $N_0 = 5.8 \times 10^9 R^{-6.6}$, ditemukan sebagai pemisah antara dua kelompok data yang memiliki " N_0 jump".

Ketergantungan karakteristik DSD terhadap intensitas curah hujan juga telah dipelajari. Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa, dua buah parameter baik dari distribusi gamma dan eksponensial (N_0 , A) menurun dengan peningkatan intensitas curah

hujan. Dari hasil penelitian ini, dapat disimpulkan sementara bahwa hujan di Koto Tabang mengandung butiran hujan yang kecil dalam jumlah yang banyak (nilai m yang kecil). Meskipun demikian, juga terjadi peningkatan butiran hujan yang besar seiring dengan peningkatan curah hujan yang ditunjukkan dengan peningkatan nilai D_0 . Perbedaan hasil yang didapatkan di dalam penelitian ini dengan yang dilakukan peneliti sebelumnya, kami duga sebagai indikasi awal yang menunjukkan perbedaan proses fisika yang terlibat dalam pembentukan dan evolusi dari DSD di Koto Tabang dengan daerah lain. Oleh karena itu, analisa yang lebih mendalam, tentang proses mikrofisika yang mempengaruhi DSD di Koto Tabang perlu untuk dilakukan pada waktu yang akan datang.

2DVD, khususnya pada saat hujan lebat yang diikuti angin kencang, kadangkala mengamati jumlah butiran hujan berukuran kecil dalam jumlah yang tidak wajar (Tokay *et al.*, 2001). Butiran yang demikian dikenal dengan istilah *spurious drops*. Hal ini perlu diteliti lebih lanjut, apakah banyaknya butiran berukuran kecil yang didapatkan dalam penelitian ini terkontaminasi oleh *spurious drops* atau tidak. Kalau ternyata data dalam penelitian ini, terkontaminasi oleh *spurious drops* maka proses penyaringan (*filter*) harus dikembangkan pada waktu yang akan datang.

Aknowledgement

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Prof. Toshiaki Kozu dan Dr. Toyoshi Shimomai di *Shimane University*, atas bantuan mereka dalam pengadaan data dan masukan-masukan yang berharga di dalam penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Dr. Matthias Steiner di *Princeton University*; Prof. Roland List di *University of Toronto*; Dr. Ali Tokay di *NASA Goddard Space Flight Center*, atas diskusinya dalam beberapa bagian dari penelitian ini. Pengamatan 2DVD di Koto Tabang didanai oleh *Grant-in-Aid for Scientific Research on Priority Areas* oleh *the Ministry of Eduaction, Culture, Sports, Science, and Technology Japan(MEXT)*. Analisa data di dalam penelitian ini didanai oleh Dana DIPA Unand 2006 dengan nomor kontrak No. 065/J.16/PU/DIPA/V/2006.

DAFTAR PUSTAKA

- Bringi, V.N., V. Chandrasekar, J. Hubbert, E. Gorgucci, W.L. Randeu, and M. Schoenhuber, Raindrop size distribution in different climatic regimes from disdrometer and dual-polarized radar analysis, *J. Atmos. Sci.*, **60**, pp. 354-365, Jan. 2003.
- A. Huggel, W. Schmid, and A. Waldvogel, Raindrop size distribution and the radar bright band, *J. Appl. Meteor.*, **35**, pp. 1688-1701, Oct. 1996.
- Kozu, Toshiaki, Toyoshi Shimomai, Zainul Akramin, Marzuki, Yoshiaki Shibagaki, and Hiroyuki Hashiguchi, 2005: Intraseasonal Variation of Raindrop Size Distribution at Koto Tabang, West Sumatra, Indonesia. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L07803, doi: 10.1029/2004GL022340.
- _____ and K. Nakamura, Rainfall parameter estimation from dual radar measurements combining reflectivity profile and path-integrated attenuation, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **8**, pp. 259-271, 1991.
- Marzuki, Toshiaki Kozu, Toyoshi Shimomai, Zainul Akramin, 2005: Vertical Structure of Precipitation from Zenith-Looking Radars at Koto Tabang, West Sumatra, submitted to *J. Appl. Meteor.*
- Renggono, F., H. Hashiguchi, S. Fukao, M.D. Yamanaka, S.Y. Ogino, N. Okamoto, F. Murata, B. P. Sitorus, M. Kudsy, M. Kartasmita, and G. Ibrahim, 2001: Precipitating clouds observed by 1.3-GHz boundary layer radar in equatorial Indonesia. *Ann. Geophys.*, **19**, 889-897.
- Roy, Soma Sen, R. K. Datta, R. C. Bathia and A. K. Sharma, Drop size distribution of tropical rain over south India, *Geofizika*, **22**, pp. 105-130, 2005.
- Stewart, R.E., J.D. Marwitz, J.C. Pace, and R.E. Carbone, Characteristics through the melting layer of stratiform cloud, *J. Atmos. Sci.*, **41**, pp. 3227-3237, 1984.

Sauvageot, Henri and Jean-Pierre Lacaux, The shape of averaged drop size distributions, *J. Atmos. Sci.*, **52**, pp. 1070-1083, April 1995.

Tokay, Ali and D. Short, Evidence from tropical raindrop spectra of the origin of rain from stratiform and convective clouds, *J. Appl. Meteor.*, **35**, no. 3, pp. 355-371, March 1996.

_____, Anton Kruger and Witold F. Krajewski, Comparison of drop size distribution measurements by impact and optical disdrometer, *J. Appl. Meteor.*, **40**, pp. 2083-2097, Nov. 2001.

Willis, P.T., P. Tattelman, Drop size distribution associated with intense rainfall, *J. Appl. Meteor.*, **28**, pp. 3-15, 1989.

Wadvogel, A. The N_0 jump of raindrop spectra, *J. Atmos. Sci.*, **31**, pp. 1067-1077, May 1974.