

KARAKTERISTIK BUTIR AIR HUJAN PERMUKAAN DAN LAPISAN ATAS ATMOSFER PADA PUNCAK MUSIM HUJAN DI TANGERANG SELATAN

Characteristics of Surface Raindrops and Upper Atmosphere at The Peak of The Rainy Season in South Tangerang

Sara Aisyah Syafira^{1)*}, Nyayu Fatimah Zahroh¹⁾, Saraswati Dewi¹⁾, Findy Renggono¹⁾

¹⁾Balai Besar Teknologi Modifikasi Cuaca – Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Gedung Ir. Mohammad Soebagio, GEOSTECH (820), Kawasan PUSPIPTEK, Serpong, Tangerang Selatan

*E-mail: sara.aisyah@bppt.go.id

Intisari

Beberapa penelitian terkait kejadian hujan menggunakan beberapa jenis alat seperti Micro Rain Radar (MRR) dan Disdrometer. Kombinasi kedua instrument tersebut dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kejadian hujan mulai dari lapisan atas atmosfer hingga permukaan. Penelitian ini mengamati beberapa kejadian hujan pada puncak musim hujan tahun 2017 dan pergantian tahun 2019/2020 di Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan dengan menggunakan instrumen MRR dan Disdrometer untuk mengetahui karakteristik distribusi ukuran butir air hujan. Hasil penelitian ini menunjukkan pola sebaran butir air hujan yang berbeda, antara kejadian hujan dengan intensitas sangat lebat dan sangat ringan hingga lebat, baik pada lapisan atas atmosfer maupun permukaan. Selain itu, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kejadian hujan sangat lebat berasal dari kumpulan awan konvektif dengan durasi hujan selama 15-60 menit. Sedangkan, kejadian hujan ringan hingga sedang pada umumnya berasal dari kumpulan awan nimbostratus di level menengah atmosfer dengan durasi hujan sekitar 2-3 jam.

Kata Kunci: Disdrometer, MRR, Profil Vertikal, Sebaran Butir Air

Abstract

Several studies used some equipment types to observe rain events, such as the Micro Rain Radar (MRR) and Disdrometer. Combining the two can provide a more comprehensive picture of rain events from the upper atmosphere to the surface. This study observed several rain events at the peak of the rainy season in 2017 and the turn of the year 2019/2020 in the Puspiptek Serpong Area, South Tangerang, using MRR and Disdrometer instruments to determine the characteristics of the droplet size distribution. This study's results indicate a different droplet size distribution pattern, between the incidence of rain with very heavy intensity and very light to dense, both in the upper atmosphere and surface. Besides, this study's results indicate that the very heavy rain events come from convective clouds with a 15-60 minutes rain duration. Meanwhile, light to moderate rain events generally come from a group of nimbostratus clouds in the medium-level atmosphere with a rain duration of roundabout 2-3 hours.

Keywords: Disdrometer, MRR, Vertical Profile, Droplet Size Distribution

1. PENDAHULUAN

Distribusi ukuran butir awan dan butir hujan merupakan parameter yang berkaitan erat dengan jenis hujan yang dihasilkan. Jenis hujan tersebut selanjutnya sangat berpengaruh terhadap dampak yang dihasilkan pada wilayah yang bersangkutan, yang juga erat hubungannya dengan kejadian banjir di daerah rawan banjir seperti DKI Jakarta. Berdasarkan penelitian Prabawadhani *et al.* (2016), selama periode *Intensive Observation Period* (IOP) BPPT dan BMKG pada 18 Januari–16 Februari 2016, wilayah sekitar DKI Jakarta yang memiliki

curah hujan tertinggi berada di sekitar Jakarta Selatan, Depok, dan Tangerang Selatan. Oleh karena itu, Serpong yang merupakan bagian dari kota Tangerang Selatan merupakan wilayah yang penting untuk diamati karakteristik awan dan hujannya.

Distribusi ukuran butir awan atau *drop size distribution* merupakan fungsi dari jumlah tetes awan per satuan ukuran dan satuan volume (Campos, 1999). Penelitian terkait distribusi hujan ini bermanfaat untuk berbagai aplikasi seperti pelemahan komunikasi gelombang mikro oleh hujan, radar cuaca, erosi tanah, dan pemahaman

tentang mekanisme mikrofisika awan (Campos, 1999; Kumar et al. 2003).

Meshesha et al. (2017) memanfaatkan Disdrometer optik (*Laser Precipitation Monitor*, LPM) untuk mengetahui karakteristik hujan yang meliputi intensitas dan distribusi ukuran butir airnya untuk kemudian dikaitkan pengaruhnya terhadap erosi tanah. Dalam penelitiannya tersebut, Meshesha et al. mengevaluasi prinsip kerja operasional dan kemampuan Disdrometer dalam melakukan pengukuran dan karakterisasi curah hujan dengan intensitas berbeda. Hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa Disdrometer optik merupakan perangkat yang efisien dan cocok untuk karakterisasi curah hujan pada resolusi satu menit. Penelitian serupa juga dilakukan oleh Carvalho SCP et al. (2014) yang mengukur distribusi ukuran butir air hujan alami dan air hujan simulator terkait dengan studi erosi tanah.

Mazari et al. (2017) menginvestigasi variabilitas vertikal dari hujan di suatu kolom atmosfer menggunakan *micro rain radar* (MRR). Selain itu, Mazari et al. menguji akurasi estimasi curah hujannya terhadap curah hujan berdasarkan pengukuran langsung dengan penakar hujan. Dua resolusi ketinggian pengukuran, yaitu 35 m dan 100 m, serta dua penempatan MRR, yaitu dari ketinggian 70 m hingga 300 m. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa resolusi ketinggian 100 m dan penempatan 300 m memiliki performa yang lebih baik.

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Renggono (2017) yang membandingkan data curah hujan dan distribusi ukuran butir hujan dengan menggunakan Disdrometer dan MRR pada kejadian hujan tahun 2016. Penelitian ini menggunakan data MRR pada ketinggian terendah yaitu 250 mm. Sedangkan Disdrometer mengukur butir air yang jatuh di permukaan. Dengan perbedaan ketinggian serta metode pengukuran kedua alat tersebut, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa data MRR cenderung menunjukkan nilai lebih tinggi pada saat hujan dibandingkan dengan data Disdrometer. Namun, terdapat korelasi linear yang cukup tinggi antara nilai curah hujan akumulasi 10 menit MRR dan Disdrometer. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa kedua alat tersebut dapat digunakan bersamaan untuk mengetahui karakteristik hujan lapisan atas atmosfer dan permukaan.

Penelitian ini bertujuan mempelajari lebih dalam karakteristik distribusi ukuran butir air hujan di permukaan serta membandingkannya dengan distribusi ukuran dan profil vertikal butir air di lapisan atas atmosfer pada puncak musim hujan di Tangerang Selatan pada tahun 2017 serta pada kejadian banjir 2020 saat pergantian tahun 2019/2020 menggunakan *micro rain radar* (MRR) dan Disdrometer.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Geostech, Kawasan Puspittek Serpong, Tangerang Selatan, dengan menggunakan dua instrumen yaitu, MRR dan Disdrometer yang diletakkan di atap gedung Ir. Mohammad Soebagio, Balai Besar Teknologi Modifikasi Cuaca, Geostech 820 dengan ketinggian gedung sekitar 10 m. Penelitian ini dilakukan selama puncak musim hujan tahun 2017 dan pergantian tahun 2019/2020.

2.2. Pengoperasian MRR

Micro Rain Radar (MRR) merupakan alat untuk mengukur distribusi butir hujan pada berbagai ketinggian mulai dari 15 m hingga 7.000 m yang dibagi menjadi 32 level ketinggian. Alat ini diproduksi oleh METEK Meteorologische Messtechnik GmbH, Jerman dengan tipe MRR2. Menurut Renggono (2017), MRR ini hanya efektif untuk 30 level ketinggian karena kurang efektif pada level paling rendah (permukaan) dan level paling tinggi disebabkan banyak *noise*.

MRR dioperasikan setiap hari selama 24 jam dari pukul 00-24 UTC (pukul 07 pagi hingga 07 pagi esok harinya) selama bulan Januari 2017, dengan ketinggian lapisan pengukuran mulai dari ketinggian 250 m hingga 7750 m dengan interval kelipatan 250 m. Dengan begitu terdapat masing-masing 31 lapisan yang diamati dalam 1 kali pengukuran.

2.3. Pengoperasian Disdrometer

Disdrometer merupakan sebuah *laser precipitation monitor*, yang bekerja untuk mengamati butir hujan yang jatuh melewati sinar inframerah dan data yang dihasilkan digunakan untuk mengukur ukuran butir dan distribusi curah hujan. Disdrometer yang digunakan merupakan produk dari Thies Clima dengan tipe 5.4110.01.200.

Disdrometer dioperasikan setiap hari selama 24 jam dari pukul 00-24 UTC (pukul 07 pagi hingga 07 pagi esok harinya) selama bulan Januari 2017. Pengukuran oleh Disdrometer ini dilakukan setiap menit.

2.4. Pengolahan Data

Data mentah MRR diolah menggunakan program internal instrumen, yaitu METEK Graphic Software, sedangkan data mentah Disdrometer, diolah menggunakan suatu program yang juga merupakan bawaan instrumen, yaitu LNM View. Kedua program, baik METEK Graphic software, maupun LNM view, digunakan untuk penyajian data secara visual. Sementara itu, program Microsoft Excel digunakan untuk menyajikan data Disdrometer dalam bentuk tabel.

2.5. Pengamatan pada Pergantian Tahun 2019/2020

Pengamatan menggunakan MRR dan Disdrometer pada pergantian tahun 2019/2020 dilakukan di lokasi, instrumen, serta cara yang sama seperti yang dilakukan pada tahun 2017. Visualisasi data diperoleh dari <http://bbtmc.bpppt.go.id/instrumentasi/> dengan menampilkan parameter ukuran diameter butir air hujan (mm) dan curah hujan (mm).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan pola hujan ekstrem di wilayah Jabodetabek menjadi penting karena akan berdampak pada aktivitas yang berlangsung di daerah tersebut. Terlebih lagi jika badan air di Jabodetabek sudah tidak mampu lagi menampung limpasan air hujan dan menyebabkan bencana banjir. Berdasarkan penelitian Aldrian (2001), wilayah Jabodetabek termasuk ke dalam tipe iklim monsunal yang berarti memiliki puncak musim hujan bulan Desember, Januari, dan Februari (DJF). Hal tersebut karena besarnya pengaruh *Intertropical Convergence Zone* (ITCZ) dan pola *outgoing longwave radiation* (OLR) yang menunjukkan keberadaan awan-awan konvektif.

3.1. Hasil Pengukuran Butir Air di Permukaan dengan Disdrometer

Gambar 1 merupakan grafik intensitas curah hujan terhadap waktu, di kawasan Puspiptek Serpong selama bulan Januari 2017, yang terukur di permukaan oleh Disdrometer. Bagian grafik yang diarsir abu-abu merupakan hari yang mana data tidak tersedia karena tidak beroperasinya Disdrometer. Dari data yang tersedia selama bulan Januari 2017, dipilih 3 hari yang didalamnya terdapat kejadian hujan dengan intensitas curah hujan tertinggi untuk diamati lebih lanjut karakteristiknya, yaitu tanggal 3 Januari (Tabel 1), 4 Januari (Tabel 2), dan 31 Januari 2017 (Tabel 3).

Ketiga hari hujan tersebut dipilih untuk dilakukan pengamatan distribusi ukuran butir air hujan dengan menggunakan data Disdrometer. Untuk masing-masing hari dengan data per jam, dipilih tiga data kejadian hujan dengan intensitas curah hujan tertinggi. Jika tidak ada kejadian hujan pada jam-jam tertentu, maka tidak ada data yang diinput untuk jam-jam tersebut. Selanjutnya, pada masing-masing data yang terkumpul, dilakukan pengolahan lebih lanjut terhadap data distribusi ukuran butir hujannya, yakni penentuan nilai rata-rata, modus, median, nilai minimum (x_{\min}) dan nilai maksimum (x_{\max}).

Selain itu, dari masing-masing tanggal yang diamati, dipilih data kejadian hujan dengan

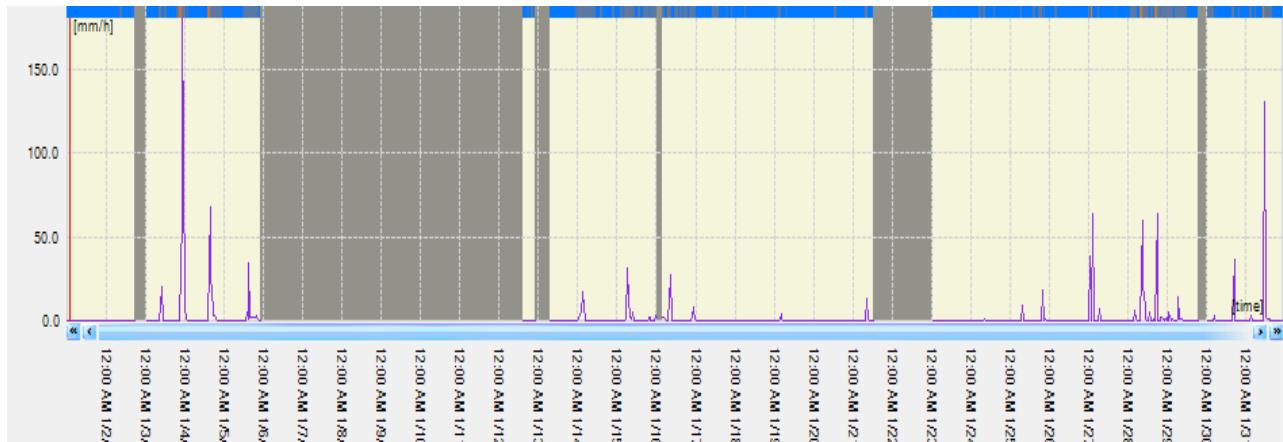
intensitas curah hujan tinggi, (kisaran 20-200 mm/jam, diarsir warna abu-abu pada Tabel 1-3) dan data kejadian hujan dengan intensitas curah hujan yang lebih rendah (kisaran 0.5-7 mm/jam, diarsir warna coklat pada Tabel 1-3) yang akan diamati lebih lanjut dan kemudian untuk tiap data dibandingkan antara profil *Liquid Water Content* (LWC) dan *Droplet Size Distribution* (DSD) satu sama lain. Data tersebut dipilih berdasarkan kemudahan pengamatan profil LWC secara visual sebagaimana pada Gambar 1, 2, dan 3.

Berdasarkan Tabel 1, 2, dan 3, terlihat bahwa semakin besar intensitas curah hujan yang turun di permukaan, semakin banyak jumlah butir hujan yang terukur. Secara keseluruhan, ukuran butir hujan yang teramati adalah berkisar 0.125 mm (x_{\min}) hingga 8 mm (x_{\max}). Sementara itu, nilai rata-rata per menit ukuran butir air hujan yang turun secara umum berkisar 0.3 hingga 0.7 mm. Tidak ada kejadian hujan per menit dengan ukuran butir rata-rata kurang dari 0.3 mm dan hanya terdapat 8 kejadian dengan rata-rata ukuran butir hujan per menit lebih dari 0.7 mm, mencapai 1.5 mm.

Berdasarkan klasifikasi oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Indonesia, curah hujan sangat ringan kurang dari 1 mm/jam, curah hujan ringan dari 1-5 mm/jam, curah hujan sedang 5-10 mm/jam, lebat 10-20 mm/jam, dan sangat lebat lebih dari 20 mm/jam.

Tabel 1. Distribusi ukuran butir air hujan per menit di permukaan dari data Disdrometer pada tanggal 3 Januari 2017

Waktu(UTC)	Intensitas(mm/jam)	Jumlah Butir	Distribusi ukuran butir (mm)				
			Rata-rata	Modus	Median	Xmin	Xmax
09:38	11,487	696	0,3966	0,125	0,25	0,125	7,5
09:40	19,613	1621	0,4563	0,125	0,25	0,125	4
09:41	19,719	1687	0,5625	0,125	0,25	0,125	3,5
10:26	0,017	24	0,3594	0,375	0,375	0,125	0,5
10:27	0,032	50	0,3400	0,375	0,375	0,125	0,5
10:28	0,015	26	0,3365	0,375	0,375	0,125	0,5
13:07	0,078	22	0,5625	0,5	0,5	0,125	1,25
13:08	0,088	29	0,5647	0,5	0,5	0,125	1,25
13:10	0,102	35	0,5178	0,5	0,5	0,125	1,25
19:58	0,043	31	0,4758	0,5	0,5	0,175	0,75
19:59	0,294	123	0,5112	0,5	0,5	0,125	1,5
20:01	0,534	215	0,5366	0,5	0,5	0,125	1
20:18	0,612	121	0,6539	1	0,75	0,125	1,25
20:19	0,517	157	0,5892	0,75	0,5	0,125	1,5
21:56	32,521	14322	0,3059	0,125	0,25	0,125	5
21:57	34,988	9854	0,3230	0,125	0,25	0,125	6
21:58	21,742	3794	0,3992	0,125	0,25	0,125	3,5
22:26	170,574	19424	0,3752	0,125	0,25	0,125	8
22:29	148,642	16003	0,4129	0,125	0,25	0,125	8
22:30	188,025	16042	0,4239	0,125	0,25	0,125	8
23:47	6,673	907	0,4767	0,25	0,25	0,125	3
23:49	5,842	877	0,4547	0,25	0,25	0,125	3
23:50	5,819	758	0,5134	0,25	0,25	0,125	3



Gambar 1. Profil hujan permukaan selama bulan Januari 2017 dari data Disdrometer

Tabel 2. Distribusi ukuran butir air hujan per menit di permukaan dari data Disdrometer tanggal 4 Januari 2017.

Waktu (UTC)	Intensitas (mm/jam)	Jumlah Butir	Distribusi ukuran butir (mm)				
			Rata-rata	Modus	Median	Xmin	Xmax
00:16	2,804	293	0,5456	0,125	0,25	0,125	3
00:21	2,806	259	0,5212	0,125	0,25	0,125	4
00:26	2,983	331	0,4811	0,25	0,25	0,125	3
01:00	1,425	176	0,5753	0,125	0,25	0,125	2
01:01	0,981	90	0,6347	0,125	0,5	0,125	2,5
01:02	1,114	74	0,7061	0,25	0,5	0,125	2,5
15:43	67,665	11826	0,3925	0,125	0,25	0,125	8
15:44	47,638	8932	0,3711	0,125	0,25	0,125	5,5
15:45	27,173	5415	0,3910	0,125	0,25	0,125	4,5
16:29	9,814	1191	0,4815	0,25	0,25	0,125	3,5
16:54	5,089	672	0,6791	0,5	0,5	0,125	2
16:55	5,958	849	0,6486	0,125	0,5	0,125	2
17:00	2,748	452	0,6866	0,75	0,75	0,125	1,75
17:01	3,479	512	0,7000	0,5	0,75	0,125	2
17:27	3,155	442	0,3897	0,125	0,25	0,125	3
18:49	1,789	383	0,4360	0,125	0,25	0,125	2
18:50	1,973	363	0,4783	0,25	0,25	0,125	2
18:51	1,569	383	0,4360	0,125	0,25	0,125	2
19:02	1,032	146	0,6096	0,75	0,5	0,125	2,5
19:04	0,914	188	0,5691	0,25	0,5	0,125	2
19:05	1,205	173	0,6604	0,5	0,5	0,125	2,5
20:08	0,021	15	0,4083	0,5	0,5	0,125	0,75
20:11	0,021	16	0,4063	0,5	0,375	0,125	0,5
20:17	0,021	13	0,4808	0,5	0,5	0,125	0,75
21:40	0,2	28	0,75	0,5	0,5	0,375	1,5
21:42	0,198	30	0,6958	0,5	0,5	0,125	1,5
21:44	0,136	21	0,8905	1	1	0,375	1
23:09	0,009	4	0,5	0,5	0,5	0,25	0,75
23:10	0,013	11	0,4545	0,5	0,5	0,375	0,5
23:11	0,018	4	0,6563	-	-	0,375	1

Mengacu pada Tabel 1, 2, dan 3, pada kejadian hujan sangat lebat dengan kisaran 20-200 mm/jam, rata-rata ukuran butir air setiap menit berkisar antara 0.3-0.5 mm. Sementara itu, hujan dengan intensitas yang lebih rendah (kurang dari 20 mm/jam), nilai rata-rata ukuran butir air setiap menit sedikit lebih bervariasi, yaitu sekitar 0.3-1.5 mm. Hal serupa juga terjadi pada nilai modus yang mana butir hujan dengan jumlah terbanyak berada pada menit-menit kejadian hujan sangat lebat dengan ukuran butir sebesar 0.125 mm. Sementara itu, pada saat kejadian hujan dengan intensitas yang lebih rendah, nilai modus tiap menitnya bervariasi pada kisaran 0.125-1 mm.

Tabel 4 merupakan nilai rata-rata ukuran butir hujan per menit pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3 dikelompokkan berdasarkan klasifikasi curah hujan per jam BMKG. Berdasarkan Tabel 4,

terlihat bahwa terdapat kecenderungan bahwa kejadian hujan dengan intensitas curah hujan lebih rendah memiliki nilai rata-rata ukuran butir yang lebih besar. Pada saat kejadian hujan sangat lebat, nilai rata-rata ukuran butir air hujan yang terukur kurang dari 0.4 mm, sedangkan pada kejadian hujan sangat ringan hingga lebat, rata-rata ukuran butir hujan yang terukur berada pada kisaran 0.4-0.7 mm.

Tabel 3. Distribusi ukuran butir air hujan per menit di permukaan dari data Disdrometer tanggal 31 Januari 2017.

Waktu (UTC)	Intensitas	Jumlah Butir	Distribusi ukuran butir (mm)				
			Rata-rata	Modus	Median	Xmin	Xmax
03:42	2,338	431	0,6850	0,75	0,75	0,125	1,5
03:43	2,898	388	0,6540	0,5	0,5	0,125	3
03:44	0,964	239	0,5340	0,5	0,5	0,125	2
04:03	0,145	11	1,0027	0,75	1	0,5	2
04:04	1,211	110	0,8330	0,75	0,75	0,125	2
04:05	0,284	62	0,6694	0,75	0,75	0,125	1,25
07:00	0,097	2	1,5	1; 2	1,5	1	2
07:03	0,025	4	0,6563	0,125;	0,625	0,125	1,25
07:15	0,012	6	0,5	0,5	0,5	0,25	0,75
11:56	43,292	4253	0,4625	0,125	0,25	0,125	5
11:57	42,421	6710	0,4126	0,125	0,25	0,125	5
11:59	51,895	13996	0,3557	0,125	0,25	0,125	8
12:00	130,242	14067	0,3857	0,125	0,25	0,125	8
12:01	27,729	6104	0,3889	0,125	0,25	0,125	5
12:04	24,196	2214	0,5212	0,125	0,25	0,125	4,5
13:13	0,579	83	0,6235	0,5	0,5	0,125	2
13:14	0,651	85	0,6162	0,25;	0,5	0,125	2
13:28	0,541	93	0,6694	0,5	0,5	0,125	2
14:15	0,66	122	0,5840	0,25	0,5	0,125	2
14:18	0,603	123	0,5498	0,125	0,375	0,125	1,5
14:42	0,664	83	0,7139	0,75; 1	0,75	0,125	2
15:06	0,167	50	0,6075	0,5;	0,5	0,125	1
15:07	0,171	44	0,6051	0,5	0,5	0,125	1,25
15:08	0,159	41	0,6341	0,75	0,75	0,125	1
16:22	0,197	24	0,7604	0,75	0,75	0,25	1,75
16:24	0,124	23	0,5815	0,125	0,5	0,125	1,5
16:27	0,136	11	1	1	1	0,5	1,75
17:00	0,007	4	0,4688	0,5	0,5	0,125	0,75
17:02	0,007	7	0,375	0,25;	0,375	0,125	0,75
17:21	0,006	7	0,3393	0,375	0,375	0,125	0,5

Dalam penelitian ini, jumlah data yang digunakan masih kurang banyak dan kurang sebanding. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan Schuur et al. (2001) dalam artikel oleh

Das (2017), ukuran butir hujan yang besar tidak selalu berhubungan dengan kejadian hujan lebat. Butir hujan dengan ukuran yang besar kadang terdapat di bagian inti konvektif awan atau terletak di wilayah stratiform (secara sporadis) dengan intensitas hujan rendah. Hasil pengamatan Das (2017) di Ghat Barat, India menggunakan Disdrometer menunjukkan nilai rata-rata diameter butir air hujan dari berbagai jenis awan, yaitu *stratiform*, *shallow convective*, *convective*, dan *mixed convective-stratiform*, secara berurutan adalah sebesar 1.3 mm, 1.1 mm, 1.8 mm, dan 1.5 mm.

Tabel 4. Nilai rata-rata ukuran butir hujan setelah dikelompokkan berdasarkan intensitas curah hujan.

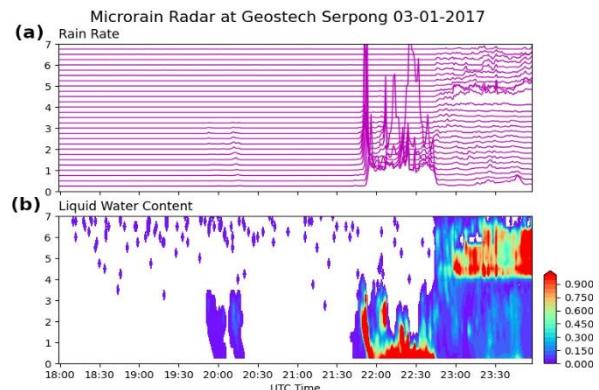
Kategori Hujan	Intensitas Curah Hujan	Tanggal	Jumlah menit	Jumlah data (jumlah butir)	Ukuran butir rata-rata (mm)	Jumlah*ukuran butir
Sangat ringan < 1 mm/jam	3 Januari	11	833	0.54	449.82	
	4 Januari	11	420	0.60	252.00	
	31 Januari	20	1062	0.61	647.82	
	Jumlah data		2315		1349.64	0.58
Rata-rata ukuran butir (mm)						
Ringan 1-5 mm/jam	3 Januari	tidak ada	tidak ada	tidak ada	tidak ada	2152.98
	4 Januari	13	3987	0.54	2152.98	
	31 Januari	3	929	0.70	650.30	
	Jumlah data		4916		2803.28	0.57
Rata-rata ukuran butir (mm)						
sedang 5-10 mm/jam	3 Januari	3	2542	0.48	1220.16	
	4 Januari	3	2712	0.58	1572.96	
	31 Januari	tidak ada	tidak ada	tidak ada	tidak ada	
	Jumlah data		5254		2793.12	0.53
Rata-rata ukuran butir (mm)						
lebat 10-20 mm/jam	3 Januari	3	4004	0.49	1961.96	
	4 Januari	tidak ada	tidak ada	tidak ada	tidak ada	
	31 Januari	tidak ada	tidak ada	tidak ada	tidak ada	
	Jumlah data		4004		1961.96	0.49
Rata-rata ukuran butir (mm)						
sangat lebat > 20 mm/jam	3 Januari	6	79439	0.37	29392.43	
	4 Januari	3	47344	0.38	17990.72	
	31 Januari	6	26173	0.39	10207.47	
	Jumlah data		152956		57590.62	0.38
Rata-rata ukuran butir (mm)						

Meskipun nilai rata-ratanya cenderung lebih rendah, rentang nilai ukuran butir air pada saat kejadian hujan intensitas tinggi lebih luas dibandingkan pada saat kejadian hujan intensitas rendah. Hal ini dapat diketahui dengan membandingkan nilai x_{\min} dan x_{\max} pada masing-masing kejadian hujan tersebut (Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3). Pada kejadian hujan lebat dan sangat lebat (intensitas curah hujan 10-200 mm/jam), ukuran butir-butir airnya berkisar dari 0.125 mm hingga 8 mm. Sementara itu, pada kejadian hujan dengan intensitas curah hujan yang lebih rendah, rentang ukuran butir hujan yang terukur lebih sempit. Pada kejadian hujan sangat ringan (intensitas curah hujan kurang dari 1 mm/jam), rentang ukuran butir airnya adalah 0.125-3 mm. Hal ini sesuai dengan penelitian Renggono (2017) bahwa sebaran ukuran butir hujan saat intensitas curah hujan tinggi yang dihasilkan oleh awan konvektif lebih luas dibandingkan dengan sebaran ukuran butir hujan yang dihasilkan dari awan stratiform yang cenderung memiliki intensitas curah hujan yang rendah. Das (2017) menjelaskan bahwa lebarnya rentang ukuran butir hujan pada hujan

konvektif disebabkan oleh beberapa fenomena seperti tumbukan-penggabungan, pertumbuhan, dan agregasi.

3.2. Hasil Pengukuran 24 Jam Butir Air di Lapisan Atas oleh MRR

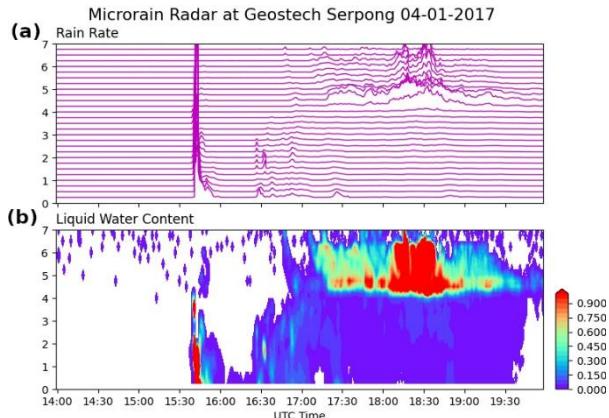
Gambar 2, 3, dan 4, merupakan grafik yang memperlihatkan nilai *rain rate* (a) dan *liquid water content* (LWC) (b) terhadap waktu pada setiap lapisan ketinggian pengukuran mulai dari yang terendah 250 m hingga 7750 m, secara berturut-turut pada tanggal 3 Januari, 4 Januari, dan 31 Januari 2017. Berdasarkan ketiga gambar tersebut, terlihat bahwa pada kejadian hujan dengan intensitas curah hujan tinggi di permukaan (terlihat pada bagian Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3 yang diarsir abu-abu), sebaran butir air yang terdeteksi sebagai nilai LWC oleh MRR tersebar mulai dari lapisan pengukuran pertama (paling bawah) hingga lapisan ketinggian sekitar 3500-3750 m. Sementara itu, pada saat kejadian hujan dengan intensitas curah hujan rendah di permukaan (terlihat pada bagian Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3 yang diarsir coklat), sebaran LWC nya berada pada lapisan mulai ketinggian sekitar 4250 m hingga ketinggian sekitar 6250 m. Selain itu, dengan membandingkan data MRR pada Gambar 2, 3, dan 4 dengan data Tabel 2, 3, dan 4 butir hujan yang terdeteksi di permukaan oleh Disdrometer dengan intensitas kurang dari 0.5 mm/jam tidak terdeteksi profil LWC nya oleh MRR.



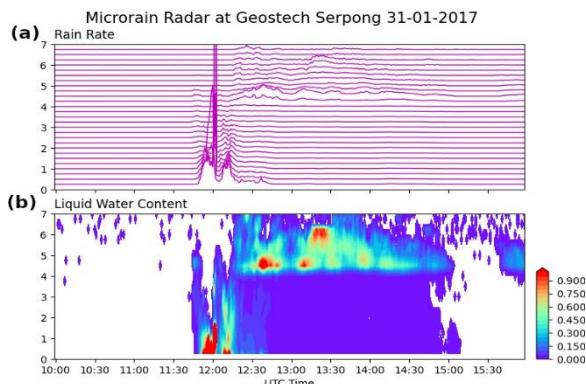
Gambar 2. Rain rate terhadap waktu (mm/jam) (a) dan profil liquid water content (LWC) (b) tanggal 3 Januari 2017 pada pukul 18:00-24:00 UTC.

Sementara itu, berdasarkan Gambar 2 (a), 3 (a), dan 4 (a), diketahui pula bahwa nilai *rain rate* tertinggi di lapisan 250 m ke atas pada tanggal 3 Januari 2017 mencapai 18 mm/jam pada kisaran waktu terjadinya hujan sangat lebat, dan sekitar 6-9 mm/jam pada kisaran waktu terjadinya hujan sedang. Pada tanggal 4 Januari 2017, nilai *rain rate* tertinggi pada kejadian hujan sangat lebat adalah lebih dari 30 mm/jam, sedangkan pada kejadian

hujan ringan, nilai tertinggi adalah kurang dari 3 mm/jam. Nilai-nilai ini serupa dengan kejadian hujan pada tanggal 31 Januari 2017.



Gambar 3. Rain rate terhadap waktu (mm/jam) (a) dan profil liquid water content (LWC) (b) tanggal 4 Januari 2017 pada pukul pada pukul 14:00-20:00 UTC.



Gambar 4. Rain rate terhadap waktu (mm/jam) (a) dan profil liquid water content (LWC) (b) tanggal 31 Januari 2017 pada pukul 10:00-16:00 UTC.

3.3. Perbandingan Profil LWC oleh MRR

Hasil pengamatan LWC dapat dilihat pada Gambar 2(b), 3(b), dan 4(b). Pada gambar ini terlihat dua pola yang mencolok. Untuk pola yang pertama, LWC terukur dalam durasi waktu yang lebih singkat dan menyebar dari lapisan bawah troposfer hingga ketinggian sekitar 3.5-4 km, dengan jenis hujan berdasarkan intensitas curah hujan yang terukur di permukaan oleh Disdrometer adalah hujan sangat lebat (Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3). Hal ini terlihat pada kejadian-kejadian hujan tanggal 3 Januari 2020 di kisaran waktu 21:45-22:45 UTC (sekitar 1 jam), tanggal 4 Januari 2020 di kisaran waktu 15:45-16:00 UTC (sekitar 15 menit), dan tanggal 31 Januari 2020 di kisaran waktu 11:45-12:15 UTC (sekitar 30 menit). Nilai LWC pada pola-pola ini mencapai lebih dari 0.9

g/m³. Kemungkinan besar jenis awan pada kejadian-kejadian hujan ini adalah awan konvektif.

Sementara itu, terdapat pula pola LWC dengan nilai maksimum mencapai sekitar 0.9 g/m³ tersebar mulai dari lapisan menengah troposfer dengan ketinggian mulai dari sekitar 4 km hingga sekitar 6.5 km. Berbeda dengan pola sebelumnya, pada pola LWC kali ini, keberadaan LWC terlihat berkelanjutan dengan durasi yang lebih lama dibandingkan pola sebelumnya, yaitu lebih dari 2 jam (sekitar pukul 23:00 UTC tanggal 3 Januari 2020 hingga pukul 01:00 UTC tanggal 4 Januari 2020; sekitar pukul 17:15-19:30 UTC tanggal 4 Januari 2020; dan sekitar pukul 12:15-15:00 UTC tanggal 31 Januari 2020). Untuk pola LWC ini, hujan yang terukur di permukaan oleh Disdrometer masuk ke dalam kategori hujan sangat ringan hingga sedang. Kejadian-kejadian hujan ini kemungkinan besar berasal dari jenis awan stratiform.

Selain kedua jenis hubungan pola LWC dan intensitas curah hujan di atas, pada tanggal 4 Januari 2020 pada kisaran pukul 16:00-17:15 UTC (sekitar 1 jam 15 menit), terdeteksi pula hujan ringan hingga sedang oleh Disdrometer (Tabel 2), dengan nilai LWC yang tersebar di lapisan bawah hingga lapisan menengah sekitar 4 km dan dengan nilai LWC maksimum mencapai sekitar 0.75 g/m³ di ketinggian 1.5-2.5 km. Kemungkinan kejadian hujan ini berasal dari awan konvektif yang tidak terlalu kuat, khususnya dibandingkan dengan awan pada kejadian hujan sangat lebat dalam penelitian ini.

Menurut Pruppacher dan Klett (1997) sebagaimana dituliskan oleh Calheiros AJP dan Machado LAT (2014), nilai LWC pada awan berada pada kisaran 0.2 g/m³ untuk tahap awal awan cumulus hingga 14 g/m³ pada kondisi cuaca ekstrem. Dengan merujuk pada at cotton *et al.* (2010) dan Hogan *et al.* (2005), Pruppacher dan Klett (1997) menuliskan bahwa nilai LWC untuk awan-awan stratus berkisar 0.05 hingga 0.25 g/m³, meskipun beberapa kasus dapat mencapai 0.6 g/m³, sedangkan nilai maksimum untuk awan-awan cumulus biasa adalah 1 g/m³ dan mencapai 1.5 g/m³ untuk sistem yang mengalami perkembangan vertikal lebih lanjut seperti cumulonimbus.

Sementara itu, penelitian Calheiros AJP dan Machado LAT (2014) sendiri memperlihatkan hasil-hasil sebagai berikut: pada awan-awan hangat, lapisan dengan nilai LWC tertinggi, yaitu sekitar 0.08 g/m³, berada pada kisaran ketinggian 2 km; pada awan-awan stratiform, nilai LWC maksimum mencapai 0.20 g/m³, berada pada ketinggian 4 km; dan pada awan konvektif, nilai LWC maksimum mencapai kisaran 1.3-2.5 g/m³ berada pada lapisan ketinggian sekitar 1 km.

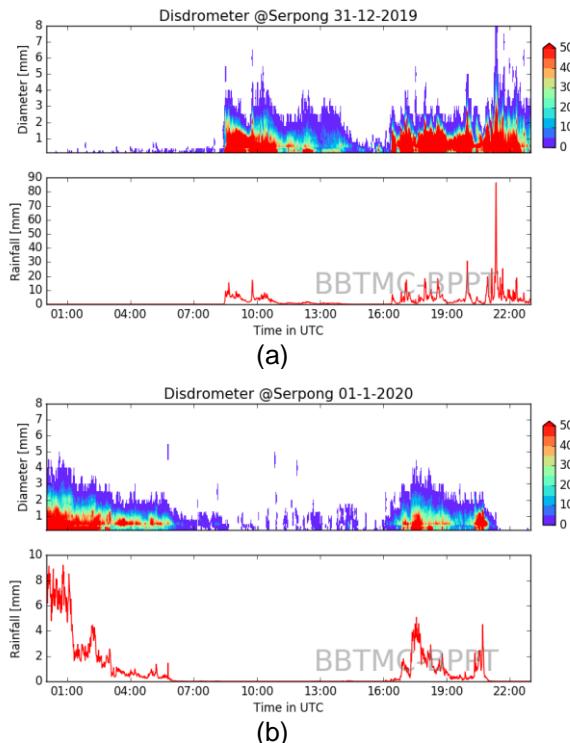
Untuk hujan sangat ringan hingga sedang yang diduga berasal dari jenis awan stratiform pada penelitian kali ini, terlihat bahwa nilai LWC maksimum yang terukur lebih besar (mencapai 0.9

g/m^3) daripada nilai-nilai LWC awan-awan stratiform berdasarkan beberapa literatur yang telah dibahas pada paragraf sebelumnya (mencapai 0.6 g/m^3), terutama pada tanggal 3 dan 4 Januari 2020. Pada tanggal 31 Januari 2020, nilai-nilai LWC pada awan-awan stratiform ini lebih banyak berada pada kisaran $0.60-0.75 \text{ g/m}^3$. Berdasarkan ketinggian lapisan tersebutnya LWC dengan nilai-nilai maksimum, awan-awan stratiform penghasil hujan pada penelitian kali ini berada pada lapisan tengah troposfer (awan-awan menengah, *middle level clouds*).

3.4. Kejadian Banjir DKI Jakarta 2020

Pada tanggal 1 Januari 2020, DKI Jakarta dan sekitarnya diguyur hujan dengan intensitas yang cukup tinggi. Data dari BMKG menunjukkan bahwa curah hujan yang tercatat pada tanggal tersebut mencapai 377 mm di Halim Perdana Kusuma, Jakarta yang merupakan curah hujan tertinggi selama 24 tahun terakhir di Jakarta.

Dari pengamatan butir hujan menggunakan Disdrometer di Kawasan Puspittek Serpong, Tangerang Selatan terlihat bahwa pada tanggal 31 Desember 2019 (Gambar 5 (a)) hujan dimulai sekitar jam 8 UTC atau jam 15.00 WIB. Kemudian, intensitas hujan mulai meninggi pada dini hari di tanggal 1 Januari 2020.



Gambar 5. Profil diameter butir hujan (mm) dan curah hujan (mm) pada tanggal (a) 31 Desember 2019 dan (b) 1 Januari 2020.

Pada Gambar 5b dapat dilihat bahwa hujan pada tanggal 1 Januari 2020 mulai mereda hingga siang hari. Kejadian hujan yang hampir berdurasi 24 jam ini telah memberikan dampak adanya 41 titik banjir di Jakarta dengan ketinggian hingga setinggi paha orang dewasa (data BNPB tanggal 1 Januari 2020 jam 14.30).

Berdasarkan Gambar 5, terlihat bahwa hubungan antara intensitas curah hujan dan distribusi ukuran butir hujan pada kejadian hujan di pergantian tahun 2019 dan 2020 masih cukup konsisten dengan hasil pada tahun 2017 di pembahasan sebelumnya. Terlihat bahwa pada kejadian hujan intensitas tinggi, bukan hanya jumlah butir hujan yang lebih banyak, tetapi juga rentang ukuran butir yang terbaca semakin melebar hingga mencapai lebih dari 8 mm dengan distribusi ukuran butir terbanyak berada pada kisaran hingga 2 mm.

4. KESIMPULAN

Dari pengukuran butir air permukaan dengan menggunakan Disdrometer dapat diketahui bahwa semakin tinggi intensitas hujan yang turun di permukaan maka semakin banyak jumlah butir hujan yang terobservasi. Selain itu, kejadian hujan dengan intensitas ringan memiliki rata-rata ukuran butir air yang lebih beragam yaitu sekitar $0.3-1.5 \text{ mm}$, sedangkan kejadian hujan dengan intensitas tinggi hanya berkisar antara $0.3-0.5 \text{ mm}$. Namun, berdasarkan nilai maksimum dan minimum, rentang nilai ukuran butir air pada saat kejadian hujan intensitas tinggi lebih luas dibandingkan pada saat kejadian hujan intensitas rendah, yaitu berkisar $0.125-8 \text{ mm}$ untuk intensitas tinggi dan $0.125-3 \text{ mm}$ untuk intensitas rendah.

Sebaran butir air yang terdeteksi sebagai nilai LWC oleh MRR pada curah hujan tinggi tersebar mulai dari lapisan pengukuran paling bawah hingga lapisan $3500-3750 \text{ m}$ dan untuk intensitas rendah berada pada level $4250-6250 \text{ m}$. Sementara itu, *rain rate* tertinggi di lapisan 250 m ke atas mencapai $18-30 \text{ mm/jam}$ pada kisaran waktu terjadinya hujan sangat lebat, dan sekitar $3-9 \text{ mm/jam}$ pada hujan sedang.

Terdapat 2 pola LWC yang terobservasi dari data penelitian ini. Pertama, pada curah hujan intensitas tinggi, LWC memiliki durasi yang lebih singkat dan menyebar dari lapisan bawah troposfer (ketinggian sekitar $3.5-4 \text{ km}$) dan nilai LWC mencapai lebih dari 0.9 g/m^3 yang berasal dari awan konvektif. Kedua, pola LWC dengan nilai maksimum mencapai sekitar 0.9 g/m^3 dan durasi yang lebih lama tersebar mulai dari lapisan menengah troposfer (ketinggian sekitar $4-6.5 \text{ km}$) yang berasal dari jenis awan stratiform.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E. (2001). Pembagian Iklim Indonesia Berdasarkan Pola Curah Hujan dengan Metoda "Double Correlation". *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 2(2), 11-18. doi: 10.29122/jstmc.v2i1.2142
- Calheiros, A.J.P., Machado, L.A.T. (2014). Cloud and rain liquid water statistics in the CHUVA campaign. *Atmospheric Research*. 144: 126-140. doi: 10.1016/j.atmosres.2014.03.006
- Campos, E. (1999). On measurements of drop size distribution. *Top. Meteor. Oceanogr.*, 6(1):24-30,1999
- Carvalho, S.C.P., de Lima, J.L.M.P., de Lima, M.I.P. (2014). Using meshes to change the characteristics of simulated rainfall produced by spray nozzles. *International Soil and Water Conservation Research*, 2(2): 67-78. doi: 10.1016/S2095-6339(15)30007-1
- Cotton, W.R., Bryan, G.H., Van den Heever, S.C. (2010). *Storm and Cloud Dynamics*, 2nd ed. 99. Burlington, MA: Academic Press.
- Das, S.K., Konwar, M., Chakravarty, K., Deshpande, S.M. (2017). Raindrop size distribution of different cloud types over the Western Ghats using simultaneous measurements from Micro-Rain Radar and Disdrometer. *Atmospheric Research*. 186, 72-82. doi: 10.1016/j.atmosres.2016.11.003
- Hogan, R.J., Gaussiat, N., Illingworth, A.J. (2005). Stratocumulus liquid water content from dual-wavelength radar. *J. Atmos. Ocean. Technol.* 22(8): 1207-1218. doi: 10.1175/JTECH1768.1
- Kumar, V.S., Sampath, S., Vinayak, P.V.S.S.K. (2003). On measurements of drop size distribution. *Indian Journal of Radio & Space Physics* Vol. 32, 217-220.
- Mashasha, D., Tsunekawa, A., Ayehu, N. (2017). Application of optical Disdrometer to characterize simulated rainfall and measure drop size distribution. *Geophysical Research Abstract*. 19: 116
- Mazari, N., Sharif, H.O., Xie, H., Tekeli, A.E., Zeitler, J., Habib, E. (2017). Rainfall observations and assessment using vertically pointing radar and X-band radar. *Journal of Hydroinformatics*. 19(4): 538-557. doi: 10.2166/hydro.2017.080
- Prabawadhani, D.R., Harsoyo, B., Seto, T.H., Prayoga, M.B.R. (2016). Karakteristik temporal dan spasial curah hujan penyebab banjir di wilayah DKI Jakarta dan Sekitarnya. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 17(1): 21-24. doi: 10.29122/jstmc.v17i1.957
- Pruppacher, H.R., Klett, J.D. (1997). *Microphysics of Clouds and Precipitation*, 2nd Edn. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Rengongo, F. (2017). Pengamatan Kejadian Hujan Dengan Disdrometer dan Micro Rain Radar di Serpong. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*. 18(1): 1-7. doi: 10.29122/jstmc.v18i1.2199
- Schuur, T.J., Ryzhkov, A.V., Dusan, S., Zrnić, D.S., Schönhuber, M. (2001). Drop size distribution measured by a 2D video Disdrometer: comparison with dual polarization radar data. *J. Appl. Meteor.*, 40(6): 1019-1034. Doi: 10.1175/1520-0450(2001)040<1019:DSDMBA>2.0.CO;2