

maka data satelit sekali lagi kami gunakan untuk mendapatkan gambaran tersebut.

2.1 Data Satelit

Data yang digunakan dalam pekerjaan ini berasal dari pengamatan oleh instrumen MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) yang berada pada platform Aqua dan Terra dari NASA. Data yang dikumpulkan oleh pengamatan satelit selanjutnya diproses melalui suatu algoritma tertentu, yang akhirnya menghasilkan produk data, yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi penginderaan jauh, khususnya untuk studi iklim dan meteorologi.

Produk data tersebut antara lain memberikan profil temperatur atmosfer, fraksi awan, aerosol, pwv, albedo, dan sebagainya, yang disimpan dalam format data hirarkis (*hierarchical data format*, hdf) dengan resolusi spasial dan temporal tertentu, yang dibedakan lagi oleh level data mulai dari Level 0 sampai dengan Level 3 (lihat, misalnya pada http://people.cs.uchicago.edu/~yongzh/papers/CM_In_Lg_Scale_Production.doc untuk penjelasan mengenai tingkatan data tersebut; data Level 0 adalah data mentah dari satelit). Untuk data Level 2, terdapat dua MODIS *Water Vapor data product*, yaitu MOD05_L2 yang didapat dari platform Terra dan MYD05_L2 yang diperoleh dari platform Aqua. Data Level 2 ini memberikan resolusi spasial 1-km melalui *near-infrared algorithm* untuk siang hari dan resolusi piksel 1-km 5×5 (~5 km) untuk siang dan malam hari menggunakan *infrared algorithm* (Gao & Kaufman 1998). Data Level 3 merupakan data yang diolah lebih lanjut dalam arti mengalami *geolocated*, *resampled*, dan dirata-rata dalam ruang, serta diinterpolasi dalam waktu. Akibatnya resolusi spasialnya menurun menjadi 1°×1° (Hubanks et al. 2008).

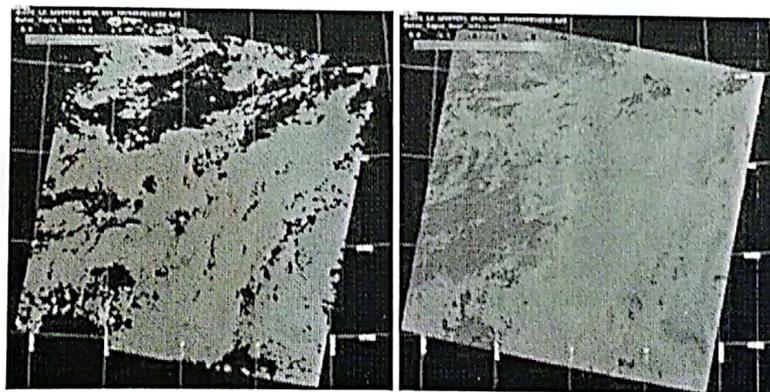
Data yang dipelajari dalam pekerjaan ini adalah data Level 3 rata-rata bulanan, yaitu MOD08_M3 (http://modis.atmos.gsfc.nasa.gov/MOD08_M3/index.html), selama 5 tahun, 2005 – 2009. Dalam hal ini kami menganalisis data “*mean*” dan “*high mean*” (lihat, sebagai contoh, Gambar 1).



Gambar 1. Contoh data pwv level 3 (dalam satuan cm) untuk seluruh globe, yang didapatkan dari pengamatan pada tanggal 1 Juni 2010. Tampak bahwa daerah ekuator sangat basah dibandingkan dengan daerah lain.

Data “*mean*” terkait dengan pwv total yang diintegrasikan dari permukaan ke atmosfer bagian atas sampai kontribusinya nol. Data “*high mean*” terkait dengan kontribusi dari level tekanan 700 mbar sampai dengan 300 mbar (atau terkait dengan altitude sekitar 3100 m sampai dengan 9200 m. Oleh karena itu, data ini digunakan untuk memberikan gambaran situasi pada daerah pegunungan yang cukup tinggi.

Untuk data Level 2, karena volume data yang sangat besar, dalam pekerjaan ini, hanya diambil rentang 3 tahun saja, yaitu 2007-2009, untuk data dengan resolusi 5 km (lihat contoh data pada Gambar 2).



Gambar 2. Contoh data *granule* Level 2 yang didapatkan pada tanggal 1 April 2009 untuk sebagian wilayah Indonesia: resolusi spasial 5 km (kiri) dan 1 km (kanan).

2.2 Situs yang Dipilih

Sebanyak 35 lokasi di Indonesia, tersebar di pulau-pulau besar (kecuali Kalimantan) dan kepulauan di Nusa Tenggara, telah dipelajari secara terperinci dari sisi tutupan awan (Hidayat et al. 2009). Untuk studi sebaran uap air di sini, hanya lima lokasi yang dipilih (lihat Tabel 1), untuk mendapatkan gambaran kecenderungan nilai kandungan uap air (Hidayat 2011).

Tabel 1. Lima situs yang dipilih untuk perbandingan.

No	Situs	Lon (°)	Lat (°)	Alt (m)
1.	Sinabung	98.4 E	+3.2	2400
2.	Lembang	107.6 E	-6.8	1300
3.	Rinjani	116.5 E	-8.4	3520
4.	Kupang	123.6 E	-10.2	25
5.	Puncak Jaya	137.2 E	-4.1	4700

Perhatikan bahwa Kupang, suatu lokasi di tepi pantai (altitude 25 m), dipilih di sini sebagai situs rujukan untuk perbandingan relatif terhadap wilayah/situs yang berada di daerah pegunungan, yang tentunya lebih tepat sebagai lokasi untuk observatorium astronomi. Kupang, menurut studi terdahulu, menunjukkan beberapa kecenderungan iklimatik yang relatif baik, misalnya ditinjau dari sisi tutupan awan, presipitasi, kestabilan temperatur, dan sebagainya (Hidayat et al. 2010). Lembang juga dipilih di sini sebagai *reassessment* kondisi iklimatik bagi Observatorium Bosscha, termasuk sebagai rujukan perbandingan bagi wilayah pegunungan yang lain.

3 ANALISIS DAN DISKUSI

Hidayat (2011) telah melakukan analisis pendahuluan distribusi uap air berdasarkan pada data Level 3 dari MODIS untuk lima lokasi seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Studi pendahuluan tersebut mengambil Mauna Kea sebagai referensi, dan diperoleh bahwa Mauna Kea secara sistematis menunjukkan kandungan uap air yang kecil (rata-rata kurang dari 3 mm), yang berarti sesuai dengan situasi Mauna Kea sebagai salah satu lokasi situs astronomi yang sangat baik (lihat pula hasil pengukuran Naylor et al. 2000). Hal ini juga menunjukkan konsistensi serta validasi data satelit yang kita gunakan di sini, sekalipun resolusi spasialnya relatif rendah. Studi Hidayat (2011) memberikan variasi bulanan dari kelima lokasi tersebut untuk tahun 2007-2009, yaitu suatu periode dengan rentang waktu 3 tahun.

Dalam analisis berikut ini, kita hanya mengambil nilai rata-rata tahunan dan mencari nilai minimum pada periode data yang dianalisis,

mengingat nilai rata-rata di Indonesia atau daerah tropis pada umumnya berkisar antara 50 sampai 100 mm. Standar deviasi dari nilai rata-rata dapat dilihat pada Hidayat (2011) dan Farid (2011).

3.1 Distribusi Uap Air Rata-rata dari Data Level 3

Tabel 2 menunjukkan hasil sebaran uap air rata-rata dari data Level 3. Rata-rata selama 5 tahun di Sinabung adalah 47.38 mm; Lembang 46.37 mm; Rinjani 48.94 mm; Kupang 44.71 mm; Puncak Jaya 35.68 mm.

Tabel 2. Rata-rata tahunan PWV di lima situs antara tahun 2005-2009 (dalam mm) dari data Level 3.

No	Situs	2005	2006	2007	2008	2009
1.	Sinabung	47.89	47.24	48.43	46.42	46.93
2.	Lembang	48.48	44.62	46.40	46.37	45.99
3.	Rinjani	48.24	47.88	50.29	50.03	48.25
4.	Kupang	44.24	44.60	45.00	45.74	43.95
5.	Puncak Jaya	36.57	36.48	36.34	32.93	36.06

Kupang, walau berada pada altitude rendah, memiliki nilai tak jauh berbeda dengan wilayah lain, sementara Puncak Jaya memiliki nilai terkecil yang menunjukkan efek dari ketinggian.

3.2 Distribusi Uap Air Rata-rata dari Data Level 2

Tabel 3 memberikan rata-rata tahunan dari data Level 2. Rata-rata selama 3 tahun di Sinabung adalah 42.80 mm; Lembang 35.55 mm; Rinjani 39.54 mm; Kupang 41.92 mm; Puncak Jaya 18.56 mm.

Tabel 3. Rata-rata tahunan PWV di lima situs antara tahun 2007-2009 (dalam mm) dari data Level 2.

No	Situs	2007	2008	2009
1.	Sinabung	43.99	40.98	43.43
2.	Lembang	35.67	35.28	35.70
3.	Rinjani	39.97	38.95	39.61
4.	Kupang	43.03	41.74	41.00
5.	Puncak Jaya	18.92	17.86	18.89

Sekali lagi, efek ketinggian terlihat pada Puncak Jaya yang memiliki nilai pwv terkecil. Kupang tidak jauh berbeda dengan Rinjani, yang justru nilainya lebih tinggi daripada Lembang.

3.3 Uap Air Minima

Untuk mendapatkan situasi "terbaik" (terkering), yaitu nilai pwv terkecil, Tabel 4 memberikan nilai minimum pwv dari data Level 3 dan 2, untuk kelima lokasi yang ditinjau. Terlihat bahwa data Level 2 umumnya memberikan nilai yang lebih kecil. Namun, Puncak Jaya tidak selalu

Tabel 4. Nilai minimum pww tahun 2007-2009 (dalam mm) dari data Level 3 dan 2 untuk perbandingan.

Situs	2007		2008		2009	
	L3	L2	L3	L2	L3	L2
Sinabung	29.19	28.68	30.73	25.89	27.31	28.82
Lembang	19.23	13.82	21.98	16.42	22.20	15.09
Rinjani	22.18	16.38	26.96	15.59	25.32	20.72
Kupang	18.02	16.55	19.80	19.32	20.51	18.93
Puncak Jaya	13.70	18.87	9.88	7.96	13.24	14.09

memberikan nilai terkecil, dan angka di bawah 10 mm pernah dicapai tahun 2008.

3.4 Uap Air Minima di Altitude Tinggi

Selanjutnya Tabel 5 memberikan nilai minimum yang pernah dicapai untuk level pressure di atas 700 mbar (yang tersedia untuk Level 3). Nilai di bawah 3 mm tercatat untuk Lembang, Rinjani, dan Kupang. Puncak Jaya justru lebih basah. Catat juga bahwa Sinabung di Sumatera Utara secara sistematis selalu basah. Hasil ini menunjukkan bahwa uap air di Indonesia umumnya terkonsentrasi pada level tekanan lebih besar dari 700 mbar, atau di bawah ketinggian 3100 m.

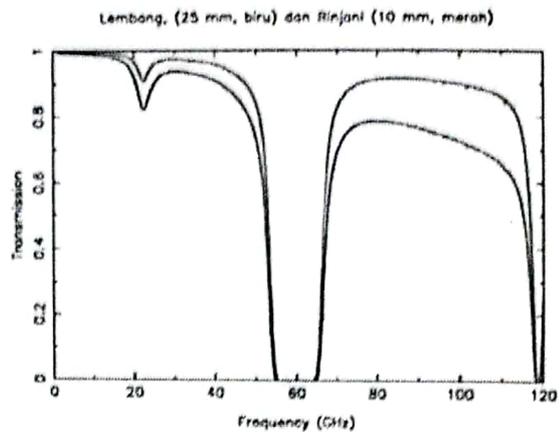
Tabel 5. Nilai minimum pww (dalam mm) di atas tekanan 700 mbar dari data Level 3.

No	Situs	2007	2008	2009
1.	Sinabung	6.01	6.88	7.15
2.	Lembang	2.35	2.86	3.00
3.	Rinjani	1.47	2.79	2.31
4.	Kupang	1.01	1.61	1.05
5.	Puncak Jaya	6.38	7.19	4.94

4 PENUTUP

Hidayat (2011) memberikan estimasi pww permukaan di Lembang berdasarkan pengukuran temperatur, tekanan, dan kelembaban relatif, melalui sensor meteorologi (pendamping GPS), dan mendapatkan nilai rata-rata sekitar 25 mm. Angka ini sekitar 40% lebih kecil dibandingkan dengan hasil pengukuran satelit.

Dengan menelaah data pada Pasal 3, terlihat bahwa kondisi terkering pada 5 wilayah di Indonesia umumnya hanya berkisar antara 13-16 mm, sementara nilai rata-ratanya merentang antara 30-45 mm. Puncak Jaya, secara umum, karena merupakan situs tertinggi, menunjukkan nilai pww rata-rata terkecil. Namun, studi terdahulu (Hidayat et al. 2009) menunjukkan bahwa cakupan awannya sangat besar. Oleh karena itu, dengan menilik hasil



Gambar 3. Transparansi atmosfer pada jendela radio untuk kondisi Lembang (biru) dan Rinjani (merah).

di Kupang dan Rinjani, pencarian dapat lebih difokuskan ke daerah Nusa Tenggara, khususnya di daerah timur.

Dengan hasil ini, kurva transparansi dapat dihitung menggunakan model Pardo et al. (2001), ditunjukkan pada Gambar 3. Perhitungan mengasumsikan kondisi rata-rata Lembang dan kondisi "terbaik" di Rinjani. Dengan demikian, jangkauan sampai ke frekuensi 115 GHz kemungkinan masih dapat dipertimbangkan.

5 PUSTAKA

- Dermawan, B., Mahasena, P., Hidayat, T., & Irfan, M. 2010, *JMS*, 15, 29-33
- Farid, F. Y. 2011, *Tugas Akhir S1*, Program Studi Astronomi, ITB, Bandung
- Gao, Bo-Cai & Kaufman, Y. J. 1998, The MODIS Near-IR Water Vapor Algorithm, Products: MOD05_L2, MOD08_D3, MOD08_E3, MOD08_M3. ATBD Reference Number: ATBD-MOD-03 <http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/MOD05_L2/atbd.html>
- Hidayat, T. 2011, *Proc. of the 3rd ICMNS 2010*, 1264
- Hidayat, T., Mahasena, P., & Dermawan, B. 2009, Laporan Insentif Riset, Riset Dasar, KNRT
- Hidayat, T., Mahasena, P., & Dermawan, B. 2010, *JMS*, 15, 16-22
- Hubanks, P. A., King, M. D., Platnick, S., & Pincus, R., 2008, MODIS Atmosphere L3 Gridded Product Algorithm Theoretical Basis Document. ATBD Reference Number: ATBD-MOD-30 <http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/MOD08_M3/atbd.html>
- Naylor, D. A., Davis, G. R., Gom, B. G., Clark, T. A., & Griffin, M. J. 2000, *A&A* 315, 622-628.
- Pardo, J. R., Cernicharo, J., & Serabyn, E., 2001, *IEEE Trans. on Ant. & Prop.* 49, 1683-1694.