

PEMANFAATAN DATA GELOMBANG MIKRO PASIF DAN INFRAMERAH DALAM PEMISAHAN BUTIRAN AWAN KONVEKTIF DAN STRATIFORM

STUDY OF PASSIVE MICROWAVE AND INFRARED DATA ON SEPARATION OF CONVECTIVE AND STRATIFORM CLOUDS

Dodo Gunawan¹, Endarwin², Radyan Putra Pradana¹

¹Puslitbang BMKG, Jl. Angkasa 1 No. 2, Kemayoran Jakarta Pusat 10720

²Pusat Meteorologi Publik BMKG, Jl. Angkasa 1 No. 2, Kemayoran Jakarta Pusat 10720

E-mail: dodo.gunawan@bmkg.go.id

Naskah masuk: 12 April 2013; Naskah diperbaiki: 9 September 2013; Naskah diterima: 10 Oktober 2013

ABSTRAK

Di wilayah tropis, jenis awan dapat dibagi atau dipisahkan menjadi 2 kelompok yakni konvektif dan stratiform. Pada penelitian ini dilakukan pemisahan dengan menggunakan 3 metode pemisahan yakni *Convective Stratiform Technique* (CST), *Variability Index* (VI) dan *Window Channel Difference* (WCD). Ketiga metode tersebut memanfaatkan data satelit cuaca baik satelit gelombang mikro pasif maupun inframerah sebagai masukan utamanya. Verifikasi menggunakan metode tabel kontingensi dari ketiga metode tersebut dilakukan dengan menggunakan data radar cuaca. Penggunaan data radar cuaca sebagai pembanding didasarkan atas kemampuan data radar yang lebih baik dari satelit dalam mendeteksi kondisi hidrometeor. Penelitian dilakukan di wilayah Jawa Barat, Banten dan DKI Jakarta untuk tujuh hari pengamatan yang dilaksanakan pada awal Januari 2010. Selama tujuh hari pengamatan diperoleh 180 titik yang bersesuaian waktu dan posisi antara data satelit dan radar. Berdasarkan hasil verifikasi di 180 titik tersebut diketahui bahwa metode CST adalah metode terbaik untuk melakukan pemisahan yang selanjutnya diikuti oleh VI dan terakhir WCD.

Kata kunci : konvektif, stratiform, pemisahan, gelombang mikro pasif, inframerah

ABSTRACT

Separation of 2 main groups of tropical rainfall namely convective and stratiform was conducted in this research. There are 3 methods of separation i.e. *Convective Stratiform Technique* (CST), *Variability Index* (VI) and *Window Channel Difference* (WCD). These methods utilized the passive microwave and infrared weather satellite data. Verification using contingency table method of separation results from those methods has also been done in this research to assess the quality of separation. To verify the separation results, the same methods were applied to radar data. Utilization of radar data for verification was considered due to its ability on observing the hydrometeor which is more sensitive than satellite. From seven observation days in early January 2010 there were found 180 points with appropriate position and time among passive microwave satellite, infrared satellite and radar in West Java, Banten and Jakarta area. Based on the verification results at those points, the CST give the best outcome, followed by VI and WCD.

Keywords: convective, stratiform, separation, passive microwave, infrared

1. Pendahuluan

Curah hujan di tropis pada umumnya terjadi dalam bentuk sistem konvektif skala meso yang terorganisir yang dikenal sebagai *Mesoscale Convective System* (MCSs). Sistem ini ditandai oleh adanya 2 kelompok yang berbeda yakni kelompok konvektif dan stratiform, dimana kelompok konvektif mempunyai kisaran skala sekitar beberapa kilometer hingga 30 km [1] dan memiliki *updraft* dan *downdraft* yang kuat serta dikaitkan dengan curah hujan yang lebat dan juga gerakan vertikal udara yang besar. Adapun kelompok stratiform mempunyai kisaran skala hingga ratusan kilometer dan tidak memiliki *updraft* dan *downdraft* yang kuat serta dikaitkan dengan curah hujan yang ringan dan juga gerakan vertikal udara yang lemah [1-3].

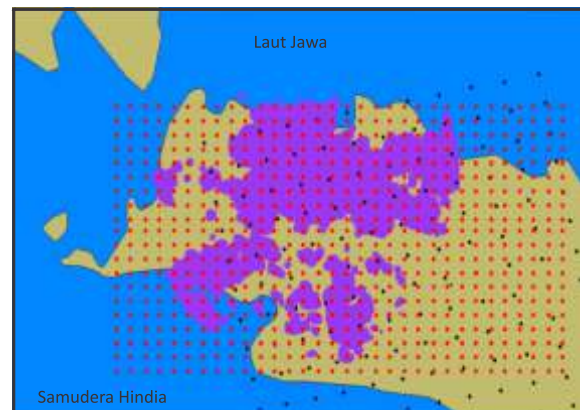
Karakteristik dan proses fisik jenis awan konvektif dan stratiform berbeda dalam hal butiran awan/hujan. Pertumbuhan butiran hujan dalam awan stratiform lambat, dan hujannya terdiri dari butiran kecil, sedangkan curah hujan konvektif butiran awannya lebih berat dan tetes hujan lebih besar [4].

Upaya untuk mengidentifikasi terhadap kedua kondisi tersebut sangat penting untuk dilakukan karena hal tersebut dapat dimanfaatkan untuk keperluan analisis kondisi cuaca baik dalam skala lokal maupun global, dan juga dapat dimanfaatkan untuk membantu memahami sistem bumi, atmosfer dan hidrosfer, serta variabilitas iklim secara luas [1], serta dapat digunakan untuk menentukan estimasi curah hujan yang dapat digunakan untuk keperluan mitigasi bencana maupun untuk syarat awal model numerik [5].

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengidentifikasi atau memisahkan (separasi) kedua kelompok tersebut (konvektif dan stratiform) adalah dengan memanfaatkan data satelit cuaca sebagai pertimbangan utamanya. Dalam hal ini terdapat 2 jenis data satelit cuaca yang dapat digunakan, yakni data satelit gelombang mikro pasif yang diperoleh dari pengamatan satelit gelombang mikro pasif (*passive microwave*) dari satelit yang berorbit polar serta data satelit inframerah yang diperoleh dari pengamatan satelit inframerah (*infrared*) dari satelit yang berorbit geostasioner. Adapun beberapa metode yang dapat digunakan untuk melakukan pemisahan dengan memanfaatkan data satelit cuaca tersebut diantaranya adalah *Variability Index* (VI), *Window Channel Difference* (WCD) serta *Convective Stratiform Technique* (CST), dimana diantara metode-metode tersebut ada yang termasuk ke dalam kelompok metode gelombang mikro pasif yakni metode-metode yang memanfaatkan data satelit gelombang mikro pasif [6-8] serta ada yang termasuk ke dalam kelompok metode inframerah yakni metode-metode yang memanfaatkan data satelit inframerah [6,8,9].

Untuk mengetahui kemampuan serta tingkat kualitas dari ke-3 metode tersebut dalam melakukan

pemisahan maka pada penelitian ini dilakukan pengujian melalui upaya verifikasi. Pengujian dilakukan dengan melibatkan beberapa metode lainnya yang memanfaatkan data radar cuaca. Hal ini dilakukan dikarenakan radar cuaca diketahui memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mendeteksi kondisi hidrometeor mengingat pengamatan yang dilakukan adalah bersifat aktif disamping radar cuaca juga menggunakan gelombang mikro (*microwave*) di dalam melakukan pengamatan [10]. Dalam penelitian ini digunakan lima metode pemisahan yang memanfaatkan data radar cuaca. Keterlibatan jumlah yang cukup banyak dari metode pemisahan dengan menggunakan data radar dalam melakukan pengujian dikarenakan oleh adanya sejumlah alternatif metode yang tersedia dimana pada setiap metode terdapat penetapan nilai ambang serta langkah yang berbeda dalam melakukan pemisahan. Penelitian dilakukan di wilayah Jawa Barat, Banten dan DKI Jakarta seperti ditunjukkan pada Gambar 1, untuk tujuh hari pengamatan yang dilakukan pada awal Januari 2010. Selama tujuh hari pengamatan tersebut dilakukan pemisahan konvektif dan stratiform di sejumlah titik yang memiliki kesamaan atau ketepatan waktu dan posisi diantara tiga jenis data yang digunakan yaitu data satelit gelombang mikro pasif, data satelit inframerah serta data radar cuaca. Adanya kesamaan atau ketepatan waktu dan posisi dari ke-3 jenis data tersebut diharapkan dapat merepresentasikan kesamaan kondisi pengamatan sehingga hasil pemisahan yang diperoleh dengan menggunakan tiga data tersebut dapat saling dibandingkan serta dapat dilakukan verifikasi.



Gambar 1. Wilayah penelitian beserta sebaran tiga jenis data yang digunakan dalam pemisahan yakni satelit gelombang mikro pasif (hitam), satelit inframerah (merah) dan radar cuaca (ungu).

2. Metode Penelitian

Terdapat beberapa jenis data yang akan digunakan dalam penelitian ini, diantaranya adalah data citra satelit cuaca kanal inframerah 1 (IR1). Data citra satelit cuaca yang digunakan adalah data *brightness temperature* (temperatur kecerahan) hasil dari pengamatan satelit cuaca MTSAT-1R milik Jepang yang berorbit geostasioner. Data citra satelit ini tersedia di situs web cuaca milik Kochi University (<http://weather.is.kochi-u.ac.jp/archive-e.html>). Resolusi waktu citra satelit ini adalah 1 jam dan resolusi spasialnya 5,5 km.

Data lainnya adalah citra satelit cuaca kanal gelombang mikro (*microwave*), hasil pengamatan dari satelit cuaca NOAA 15, 16 dan 17 milik Amerika Serikat yang berorbit polar dan tersedia di situs web CIRA AMSU (<http://amsu.cira.colostate.edu>). Resolusi waktu dari data citra satelit rata-rata sekitar 12 jam, sedangkan resolusi spasialnya untuk wilayah dekat ekuator bervariasi antara 8 hingga 13 km.

Selanjutnya adalah data radar cuaca. Data radar cuaca yang digunakan adalah data hasil pengamatan Radar Doppler C Band yang terdapat di Serpong Tangerang, yang diperoleh melalui situs <http://meteorama.forumotion.com/t33-cdr-serpong-rainrate-cappi-2km-ascii>. Resolusi waktu dari data radar adalah 6 menit dan resolusi spasialnya adalah 0,5 km.

Metode Convective Stratiform Technique Modifikasi (CST). Metode ini digunakan untuk melakukan estimasi curah hujan dengan memanfaatkan data satelit dari kanal inframerah, tetapi dalam metode CST ini terdapat upaya pemisahan yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan perbandingan dengan yang dihasilkan oleh metode lainnya. Metode ini memanfaatkan data citra satelit MT-SAT pada kanal inframerah (10 – 12 μ m) dalam melakukan pemisahan konvektif dan stratiform. Pemanfaatan teknik ini dilakukan melalui identifikasi inti konvektif dari data yang digunakan [11,12].

Metode Variability Index (VI). Metode ini digunakan untuk melakukan pemisahan antara presipitasi konvektif dan stratiform. Data yang digunakan adalah data temperatur kecerahan (*brightness temperature*) yang diperoleh dari data citra satelit kanal gelombang mikro (*microwave*). Penentuan indeks pada metode ini didasarkan pada penjelasan bahwa kelompok hujan konvektif dihubungkan dengan ketidak stabilan dan *updraft* serta *downdraft* yang kuat yang menghasilkan turbulensi dalam awan. Turbulensi ini mempunyai kontribusi yang signifikan terhadap kondisi kandungan air beku dan cair serta curah hujan di permukaan. Untuk kelompok hujan, stratiform dihubungkan dengan kecepatan vertikal yang rendah dan variabilitas yang kecil dari kandungan air cair dan beku serta curah hujan di permukaan [5].

Metode Window Channel Difference (WCD). Metode ini merupakan alternatif metode yang juga

dapat digunakan untuk melakukan pemisahan presipitasi antara yang konvektif dan stratiform. Data yang digunakan adalah temperatur kecerahan (*brightness temperature*) yang diperoleh dari citra satelit kanal gelombang mikro (*microwave*).

Penentuan indeks pada metode ini didasarkan pada selisih temperatur kecerahan (ΔT) antara dua frekuensi yang berbeda yakni 89 GHz dan 150 GHz. Berdasarkan kondisi tersebut maka rendahnya temperatur terkait dengan tingginya tingkat sebaran (*scattering*) yang terjadi untuk awan konvektif yang tebal akan menghasilkan temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan awan hujan biasa [13].

Metode Rigo dan Liasat, Metode Churchill dan Houze, Metode Steiner dan Houze, Metode Tridon dkk dan Metode Steiner dkk. Metode-metode ini merupakan metode yang digunakan dalam penelitian untuk melakukan pemisahan dengan menggunakan data radar cuaca. Tidak ada nama khusus untuk metode ini, namun untuk semua metode ini masing-masing disampaikan oleh Rigo dan Liasat [14], Churchill dan Houze [15,16], Steiner dan Houze [16], Tridon dkk [17] dan Steiner dkk [16]. Pemanfaatannya ditunjukkan pada Tabel 1.

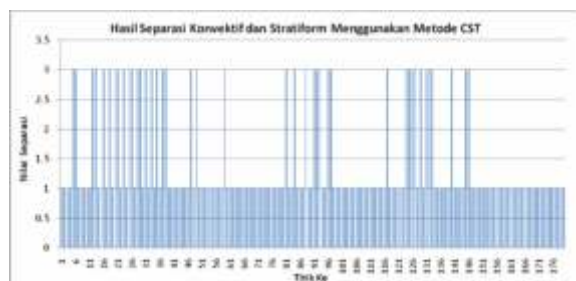
Tabel 1. Pemanfaatan metode dan syarat penentuan konvektif yang disampaikan oleh Rigo dan Liasat, Churchill dan Houze, Steiner dan Houze, Tridon dkk dan Steiner dkk

Metode	Jenis Ambang	Nilai Ambang
Rigo dan Liasat	Reflectivity (Z) Threshold	$Z > 43 \text{ dBZ}$
	Background Reflectivity (Z_{bg})	$Z - Z_{bg} \geq (1/a) * \cos(\pi Z_{bg} / 2 * b)$ with $a=24$; $b=44$
Churchill dan Houze	Reflectivity Difference (ΔZ)	$\Delta Z > 4$
Steiner dan Houze	Reflectivity Difference (ΔZ)	$\Delta Z > 4.5$
Tridon dkk	Reflectivity Difference (ΔZ)	$\Delta Z \geq a \cos(1/b * \pi/2 * Z_{bg})$ with $a = 24$ and $b = 44$
Steiner dkk	Reflectivity Difference	10 , if $Z_{bg} < 0$
	Reflectivity Difference	$10 - Z_{bg}^2 / 180$, if $0 < Z_{bg} < 42.43$
	Reflectivity Difference	0 , if $Z_{bg} > 42.43$

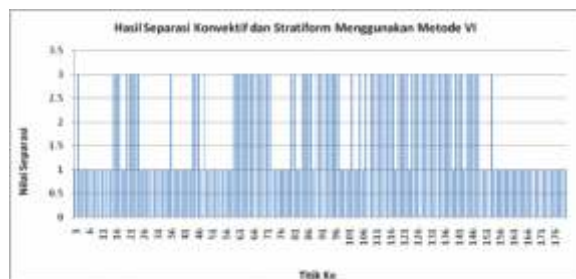
Tabel Kontingensi. Metode ini digunakan untuk melakukan verifikasi terhadap hasil pemisahan yang diperoleh dengan menggunakan data satelit dan data radar cuaca. Melalui metode ini dapat diketahui nilai akurasi (*hit score*) yang diperoleh dari perbandingan setiap hasil pemisahan tersebut [11]. Pada penelitian ini kategori yang digunakan adalah 2 kategori, yakni ya atau tidak.

3. Hasil dan Pembahasan

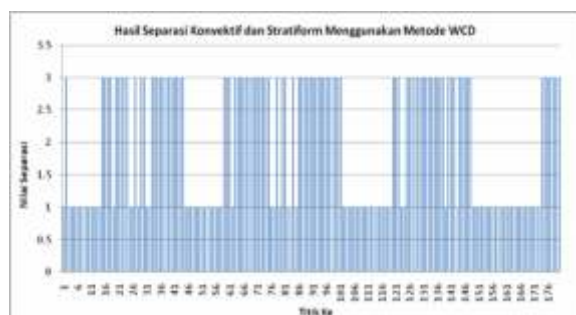
Selama tujuh hari pengamatan diperoleh 180 titik di seluruh wilayah Jawa Barat, Banten dan Jakarta yang memiliki kesamaan atau ketepatan waktu dan posisi untuk tiga jenis data yang digunakan. Setelah melalui proses pengolahan pemisahan dengan menggunakan delapan metode yang tersedia, selanjutnya dapat diketahui hasil pemisahan yang diperoleh dari setiap metode tersebut seperti ditunjukkan pada Gambar 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, dan 9. Pada gambar-gambar tersebut hasil pemisahan hanya diwakili oleh nilai 1 dan 3. Nilai 1 menunjukkan bahwa hasil pemisahan adalah stratiform sedangkan nilai tiga menunjukkan bahwa hasil pemisahan adalah konvektif.



Gambar 2. Hasil Pemisahan Menggunakan Metode CST



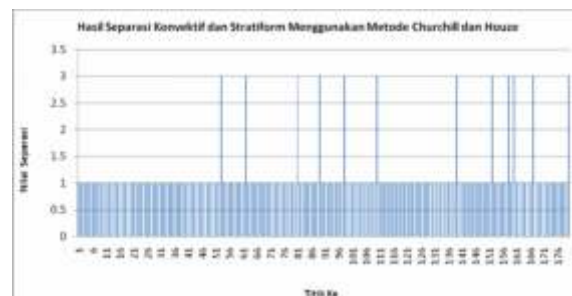
Gambar 3. Hasil Pemisahan Menggunakan Metode VI



Gambar 4. Hasil Pemisahan Menggunakan Metode WCD.



Gambar 5. Hasil Pemisahan Menggunakan Metode Rigo dan Liasat.



Gambar 6. Hasil Pemisahan Menggunakan Metode Churchill dan Houze.



Gambar 7. Hasil Pemisahan Menggunakan Metode Steiner dan Houze.



Gambar 8. Hasil Pemisahan Menggunakan Metode Tridon.



Gambar 9. Hasil Pemisahan Menggunakan Metode Steiner.

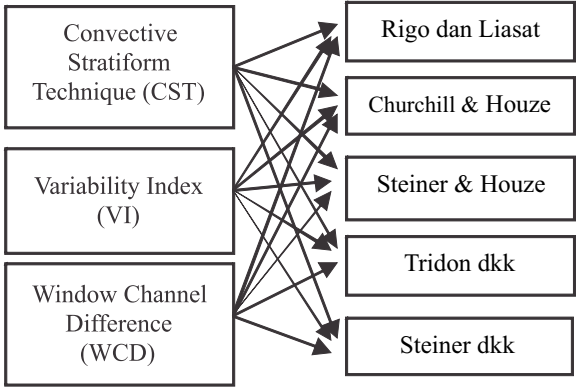
Berdasarkan hasil yang diperoleh dari setiap metode seperti ditunjukkan pada Gambar 2 hingga 9, dapat diketahui bahwa hasil pemisahan yang diperoleh dari setiap metode tidaklah persis sama dan selalu terdapat perbedaan. Namun demikian jika dilihat secara keseluruhan dapat diketahui bahwa pemisahan yang memanfaatkan data satelit cuaca baik gelombang mikro pasif maupun inframerah cenderung menentukan hasil pemisahan konvektif yang cukup banyak dibandingkan dengan memanfaatkan data radar cuaca. Secara kuantitatif perbandingan jumlah pemisahan menjadi konvektif dan stratiform berturut-turut sesuai metode di atas adalah sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Sejauh ini meskipun hasil pemisahan dari setiap metode menunjukkan hasil yang berbeda namun dapat diketahui bahwa data satelit dapat digunakan dalam melakukan pemisahan konvektif dan stratiform. Hal ini dibuktikan dari Tabel 2 yang secara jelas menunjukkan bahwa data satelit setelah diproses dengan beberapa metode dapat membedakan jenis awan. Untuk selanjutnya guna mengetahui kualitas dari hasil pemisahan yang dihasilkan maka langkah verifikasi terhadap hasil tersebut perlu dilakukan.

Mengingat yang menjadi rujukan atau yang dianggap benar dalam melakukan pemisahan adalah hasil yang diperoleh dengan menggunakan data radar, maka sejauh ini dapat diketahui bahwa hasil yang diperoleh dengan menggunakan data satelit relatif menunjukkan kesalahan yang cukup banyak. Pernyataan bahwa data radar lebih baik dalam menduga curah hujan dibandingkan satelit adalah berdasarkan hasil penelitian [10]. Namun demikian guna mengetahui tingkat akurasi dari setiap metode yang menggunakan data satelit dapat diketahui dengan obyektif, maka dilakukan verifikasi terhadap metode tersebut dengan alur sesuai dengan yang ditunjukkan pada Gambar 10.

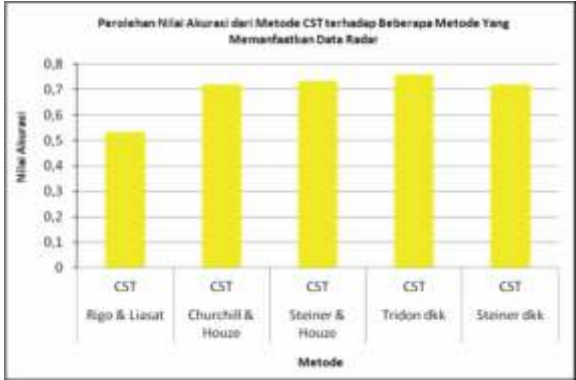
Tabel 2. Perbandingan jumlah pemisahan menjadi konvektif dan stratiform sesuai dengan masing-masing metode yang digunakan.

Metode	Jumlah konvektif	Jumlah Stratiform
CST	41 (22,8 %)	139 (77,2 %)
VI	83 (46,1 %)	97 (53,9 %)
WCD	93 (51,7 %)	87 (48,3 %)
Rigo dan Liasat	83 (46,1 %)	97 (53,9 %)
Churchill dan Houze	12 (6,7 %)	168 (93,3 %)
Steiner dan Houze	9 (5 %)	171 (95 %)
Tridon	2 (1,1 %)	178 (98,9 %)
Steiner	11 (6,1 %)	169 (93,9 %)

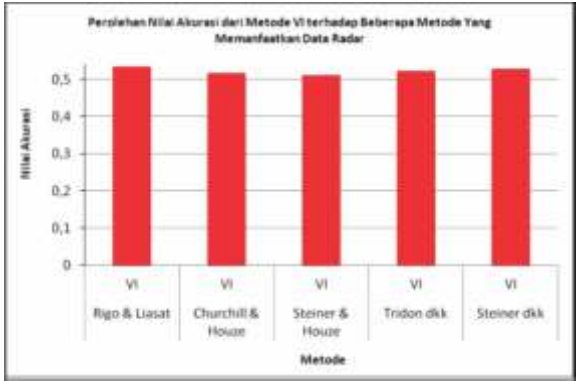


Gambar 10. Urutan langkah verifikasi

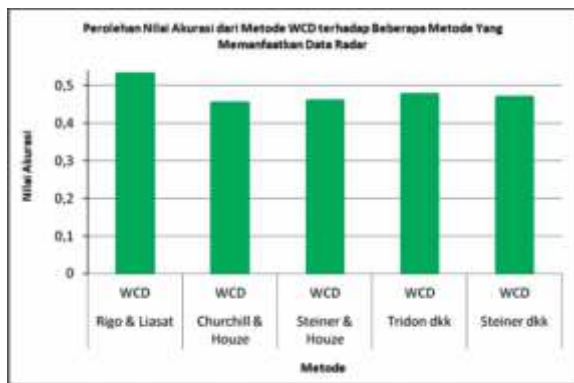
Selanjutnya verifikasi terhadap ke-3 metode yang memanfaatkan data satelit dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode table kontingensi dua kategori yakni **ya** dan **tidak**. Verifikasi dilakukan terhadap lima metode lainnya yang memanfaatkan data radar. Melalui langkah ini dapat diketahui tingkat akurasi atau metode yang paling sesuai dalam melakukan pemisahan. Hasil verifikasi untuk setiap metode yang memanfaatkan data satelit cuaca ditunjukkan pada Gambar 11, 12, 13. Pada gambar-gambar tersebut sumbu vertikal menunjukkan nilai akurasi tanpa satuan namun dapat dinyatakan dalam persen dengan perkalian seratus.



Gambar 11. Perolehan nilai akurasi untuk metode CST



Gambar 12. Perolehan nilai akurasi untuk metode VI



Gambar 13. Perolehan nilai akurasi untuk metode WCD.

Berdasarkan hasil verifikasi tersebut dapat diketahui bahwa metode *Convective Stratiform Technique* (CST) menunjukkan kemampuan yang lebih baik dari VI dan WCD dalam melakukan pemisahan atau dengan kata lain metode CST adalah yang terbaik dari 2 metode lainnya. Hal ini dapat dilihat dari perolehan nilai akurasi dimana pada umumnya dapat mencapai lebih besar dari 0.6 (60%) untuk verifikasi terhadap seluruh metode yang memanfaatkan data radar cuaca. Akurasi terbaik selanjutnya adalah metode *Variability Index* (VI) yang pada umumnya ditunjukkan dengan nilai akurasi yang berada diantara 0.5 dan 0.55 (50% dan 55%), sedangkan akurasi yang terakhir atau yang ke-3 ditunjukkan oleh metode *Window Channel Difference* (WCD), dimana nilai akurasi yang diperoleh pada umumnya berada di bawah 0.5 (50%).

Hasil pemisahan data radar menggunakan lima metode (Gambar 5-9) menunjukkan bahwa metode Rigo dan Liasat (Gambar 6) memperlihatkan hasil yang lebih variatif dalam menentukan kelompok awan, dibandingkan dengan empat metode lainnya yang lebih didominasi oleh kelompok awan stratiform. Berdasarkan jumlah hari pengamatan selama kajian tampak bahwa jumlah kelompok awan dengan metode Rigo dan Liasat hampir sama yaitu 46% jenis konvektif dan 54% jenis stratiform (perbedaan jumlah kurang dari 10%). Sementara untuk empat metode lainnya perbandingan perbedaan kedua kelompok awan ini mencapai lebih dari 80%, bahkan untuk metode Tridon perbedaannya lebih dari 90%.

4. Kesimpulan

Tingkat akurasi pemisahan dengan teknik *Convective Stratiform Technique* (CST) menunjukkan hasil terbaik dari 2 metode lainnya, yakni *Variability Index* (VI) dan *Window Channel Difference* (WCD) yang mewakili metode gelombang mikro pasif. Metode *Variability Index* (VI) merupakan metode terbaik ke-2 setelah CST di dalam melakukan pemisahan konvektif dan stratiform dan selanjutnya diikuti oleh WCD. Hasil pemisahan dari data radar menunjukkan bahwa variabilitas yang tinggi antara konvektif dan stratiform adalah metode Rigo dan Liasat, sedangkan metode Tridon menunjukkan variabilitas yang kecil dimana awan konvektif lebih sedikit dibandingkan stratiform.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG yang telah memberikan dukungan dan saran-saran pada pelaksanaan penelitian ini. Kepada Kementerian Riset dan Teknologi, ucapan terima kasih disampaikan atas dukungan dana sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

Daftar Pustaka

- [1] Hong, Ye., Kummerow, E.D., & Olson, W.S. (1999). Separation of Convective and Stratiform Precipitation Using Microwave Brightness Temperature, *Journal of Applied Meteorology*, 38, 1195-1213.
- [2] Lang, S., Tao, W.K., Simpson, J., & Ferrier, B. (2003). Modeling of Convective-Stratiform Precipitation Processes: Sensitivity to Partitioning Methods, *Journal of Applied Meteorology*, 42, 505-527.
- [3] Yong, S.X., Jia, L., & Li, X. (2012): Evaluation of Convective Stratiform Rainfall Separation Schemes by Precipitation and Cloud Statistics, *Journal of Tropical Meteorology*, 18(1), 98-107.
- [4] Steiner, M. & R.A. Houze Jr., (1997). Sensitivity of estimated monthly convective rain fraction to the choice of Z-R relation. *J Appl. Meteor.*, 36, 452-462.
- [5] Joyce, R.J., Janowiak, J.E., Arkin, P.A., & Xie, P. (2004). CMORPH: A Method that Produces Global Precipitation Estimates from Passive Microwave and Infrared Data at High Spatial and Temporal Resolution, *Journal of Hydrometeorology*, 5, 487 – 503.
- [6] Levizzani, V. (2003). Satellite rainfall estimates: New Perspectives for Meteorology and Climate from the EURAINSAT Project, *Annals of Geophysics*, 46(2), 363-372.
- [7] Strangeways, I. (2007). *Precipitation Theory, Measurement and Distribution*, Cambridge.
- [8] Kimani, M.W. (2011). Rain Rate Estimation Of NorthWest Europe and Kenya from Sevir Sensor: Comparison of Precipitation Properties Visible and near Infrared and Hydro Estimator Algorithms, *M.Sc Thesis*, Faculty of Geo Information Science and Earth Observation of the University of Twente.
- [9] Negri, A.J. & Adler, R.F. (1993). An Intercomparison of Three Satellite Infrared Rainfall Techniques over Japan and Surrounding Waters, *Journal of Applied Meteorology*, 32, 357-373.
- [10] Tuttle, J.D., Carbone, R.E., & Arkin, P.A. (2008). Comparison of Ground-Based Radar and Geosynchronous Satellite Climatologies of Warm-Season Precipitation over United States, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47, 3264-3270.
- [11] Ihwan, A. (2007). Rainfall Estimation Some Areas in Indonesia Using Infrared MTSAT Data, *Magister Thesis*, Institut Teknologi

- Bandung.
- [12]Islam, Md.N., Islam, A.K.M.S., Hayashi, T., Terao, T., & Uyeda, H. (2002). Application of A Method to Estimate Rainfall in Bangladesh Using GMS-5 Data, *Journal of Natural Disaster Science*, 24(2), 83-89.
- [13] Laviola, S. & Levizzani, V. (2010). Passive Microwave Remote Sensing of Rain from Satellite Sensors, *Advanced Microwave and Millimeter Wave Technologies Semiconductor Devices Circuit and System*, Intech, page 642.
- [14]Rigo, T. & Liasat, M.C. (2004). A Methodology The Classification of Convective Structure using Meteorological Radar: Application to Heavy Rainfall Events on The Mediterranean Coast of the Iberian Peninsula, *Natural Hazard and Earth System Sciences*, 4, 59-68.
- [15]Churchill, D.D. & Houze, R.A. (1984). Development and Structure of Winter Monsoon Cloud Cluster on 10 Desember 1978, *Journal of The Asmospheric Sciences*, 41(6), 933-960.
- [16] Steiner, M., Houze, R.A., & Yuter, S.E. (1995). Climatological Characterization of Three Dimensional Storm Structure from Operational Radar and Rain Gauge Data, *Journal of Applied Meteorology*, 34, 1978-2007.
- [17]Tridon, F., Van Baelen, J., & Pointin, Y. (2010). Identification of Convective and Stratiform Areas towards Improved Precipitation Estimation with a Local Area X-band Radar, ERAD 2010 - The Sixth European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology