

VARIASI SPASIOTEMPORAL DAN PROFIL VERTIKAL HIDROMETEOR DI INSTALASI UJI TERBANG ROKET LAPAN DAN SEKITARNYA

Arief Suryantoro, Krismianto, dan Erma Yulihastin.

Bidang Pemodelan Iklim, Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim LAPAN
Jl.dr.Djundjuran 133, Bandung, 40173 Telp. (022)6037445, 6012602; Fax. (022)6037443
e-mail : ariefsurya@bdg.lapan.go.id; ariefs_40215@yahoo.com

Abstract

In addition to the parameters or elements of the weather, such as wind speed and direction, temperature and humidity, clouds and lightning, then the vertical profile and spatial and temporal variations of density of hydrometeor is also an important meteorological factor to be considered for a scientific rocket launch operations successfully developed by the National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN), particularly in the case of a rocket trajectory analysis and prediction. Spatial and temporal variations and vertical profiles of hydrometeor on Rocket Test Flight Facility (IUTR) of the National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN) based on Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite observations are discussed in this paper. The target of this study was to obtain information on spatial and temporal variations and vertical profiles of liquid water content and ice content in clouds and rain occurs in the atmosphere to above the IUTR of LAPAN and surroundings based on the TRMM satellite observations. The results obtained showed that the spatial, West Java and the surrounding area was the maximum density of the hydrometeor, both during the period of the rainy season and dry season and transition season. For the case of an observation point grid, over the area of IUTR of LAPAN, then density of the liquid water content in cloud and rain has the maximum $0,004 \text{ g/m}^3$ at 3.0 km (LWC cloud), $0,030 \text{ g/m}^3$ at 1.5 km (LWC rain), $0,002 \text{ g/m}^3$ at 10.0 km (IWC cloud), and $0,030 \text{ g/m}^3$ at 6.0 km (IWC rain).

Key words : latent heating condensation of hydrometeor, liquid and ice water content in cloud and rain.

Abstrak

Selain unsur cuaca besar kecepatan dan arah angin, suhu dan kelembapan udara, awan dan petir, maka variasi spasiotemporal densitas dan profil vertikal hidrometeor juga merupakan faktor meteorologis yang penting dalam operasi peluncuran roket ilmiah yang dikembangkan oleh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), terutama dalam hal analisis dan prediksi trayektori roket. Variasi spasiotemporal dan profil vertikal hidrometeor di Instalasi Uji Terbang Roket (IUTR) LAPAN dan sekitarnya berbasis observasi satelit TRMM dibahas dalam makalah ini. Sasaran dari penelitian adalah diperolehnya informasi variasi spasial dan temporal serta profil vertikal hidrometeor yang meliputi kadar air cair dan kadar es dalam awan dan hujan yang terjadi di atmosfer di atas IUTR LAPAN dan sekitarnya. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa secara spasial, maka Jawa Barat dan sekitarnya merupakan wilayah dengan densitas hidrometeor yang tinggi, baik selama perioda musim hujan, musim peralihan maupun musim kemarau. Untuk kasus titik grid pengamatan, di atas daerah IUTR LAPAN, maka kadar air cair dalam awan dan hujan maksimum adalah $0,004 \text{ g/m}^3$ (LWC awan di ketinggian 3,0 km) dan $0,030 \text{ g/m}^3$ (LWC hujan di ketinggian 1,5 km). Sedangkan kadar es dalam awan dan hujan maksimum adalah $0,004 \text{ g/m}^3$ (IWC awan di ketinggian 10,0 km) dan $0,030 \text{ g/m}^3$ (IWC hujan di ketinggian 6,0 km).

Kata kunci : panas laten kondensasi hidrometeor, kadar air cair dan es dalam awan dan hujan.

1. PENDAHULUAN

Selain parameter (unsur cuaca) besar kecepatan dan arah angin, suhu dan kelembapan udara, awan dan petir, maka variasi spasiotemporal densitas dan profil vertikal

hidrometeor juga merupakan faktor meteorologis yang penting untuk diperhatikan demi keberhasilan operasi peluncuran roket ilmiah yang dikembangkan dan dilaksanakan oleh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN). Faktor meteorologist digunakan terutama dalam hal analisis dan prediksi trayektori roket maupun muatan ilmiah (*pay-load*) yang dilepaskan roket.

Hidrometeor adalah suatu gejala di atmosfer, selain awan, yang terdiri dari partikel air cair maupun padat di atmosfer, atau endapan tetes air pada permukaan benda yang berada dekat permukaan bumi, atau di udara bebas yang disebabkan oleh kondensasi uap air di sekelilingnya. Lebih lanjut, Prawiwardoyo (1996) mengungkapkan bahwa hidrometeor dapat berupa hujan (*rain*), hujan curah (*shower*), hujan es (*hail*), kabut (*fog*), embun (*dew*). Curah hujan yang dikenal masyarakat awam, sebenarnya merupakan hujan curah yaitu salah bentuk hidrometeor yang terdiri dari tetes air dengan diameter lebih besar dari diameter tetes hujan biasa ($> 0,5$ mm), intensitas curah hujan-nya biasanya $> 1,25$ mm/jam. Intensitas hujan curah (*shower*) yang besar ini mulai dan berakhir dengan mendadak dan berlangsung dalam waktu yang tidak lama. Ini merupakan ciri khas hujan curah, dan awan penyebab terjadinya hujan curah (*shower*) adalah awan konvektif, yaitu awan Kumulus (Cu) dan Kumulonimbus (Cb). Namun demikian, penekanan (*stressing*) ragam hidrometeor yang dimaksud dalam makalah ini meliputi densitas kadar air cair dalam awan (*LWC : Liquid Water Content cloud*), kadar air padat / es dalam awan (*IWC : Ice Water Content cloud*), kadar air cair dalam hujan (*LWC : Liquid Water Content rain*), kadar air padat / es dalam hujan (*IWC : Ice Water Content rain*).

Di Benua Maritim Indonesia dan sekitarnya atau di daerah tropis pada umumnya, pemanasan kondensasi yang dilepaskan oleh sejumlah besar awan kumululus merupakan sumber (*source*) panas utama di daerah ini. Dan sebagaimana diketahui, kondensasi, presipitasi dan gerakan medan awan merupakan komponen esensial dalam siklus hidrologi dan sangat menentukan terhadap jumlah uap air di atmosfer, dimana uap air di atmosfer ini merupakan jenis gas rumah kaca yang paling dominan pada pemanasan/pendinginan di permukaan maupun di lapisan-lapisan atmosfer bawah, sesuai dengan mekanisme efek rumah kaca. Karakter dan pergerakan awan, terutama dipengaruhi oleh sirkulasi atmosfer skala global. Hal ini merupakan manifestasi esensial dari sistem cuaca planet bumi kita.

Dengan melakukan penjejakan (*tracking*) pergerakan dari elemen awan tunggal maka dapat pula ditentukan medan angin; Rossow and Cairns, (1995). Selanjutnya, Rossow and Schiffer, (1999) dalam Yoshida *et al.*, (2004) menyatakan bahwa awan-awan es (*ice clouds*) pada level yang tinggi seperti awan sirus dan sirostratus ini muncul di lapisan atas troposfer dan memiliki luasan lebih dari 20% terhadap luas bola bumi. Awan-awan ini juga memiliki pengaruh besar terhadap budget radiasi bumi maupun siklus hidrologi, terutama yang terjadi di lapisan atas troposfer. Tidak seperti awan air-cair (*liquid water clouds*), awan es terjadi di level yang tinggi, di bawah temperatur udara yang rendah/dingin, dan biasanya mereka juga memiliki sifat ketebalan optis yang tipis sehingga semi transparan terhadap radiasi matahari (gelombang pendek) dan radiasi terestrial bumi (gelombang panjang).

Selain itu, sebagaimana diketahui, bahwa awan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap budget radiasi planet bumi, termasuk di dalamnya terhadap siklus hidrologi di atmosfer; (Stephens *et al.*, 1990; Baker 1997; dalam Yoshida *et al.*, 2006). Agar dapat mengestimasi pengaruh awan ini terhadap budget radiasi, maka karakteristik mikrofisika dari awan ini seperti kandungan air cair (*LWC : Liquid Water Content*), kandungan air padat/es (*IWC : Ice Water Content*), ukuran dan bentuk partikel-partikel dalam awan ini harus diketahui dengan baik pula. Profil vertikal sifat-sifat mikrofisis awan dan batas-batas ketinggian awan juga merupakan parameter penting pada waktu mengestimasi profil

kecepatan pemanasan radiatif dan *forcing* radiatif awan yang memiliki pengaruh besar terhadap sistem iklim planet bumi ini. Sebagaimana ditunjukkan oleh Yoshida *et al.*, (2004) bahwa dengan pengukuran secara simultan terhadap sifat-sifat mikrofisis dan radiatif awan pada bagian luar partikel awan es mereka memperoleh gambaran bahwa pemanasan radiasi gelombang panjang dan radiasi gelombang pendek membuat lapisan-lapisan awan es pada siang hari menjadi tidak stabil secara termodinamis.

Dari hal-hal tersebut di atas, maka pengetahuan dan pemahaman yang lebih baik tentang karakteristik profil vertikal hidrometeor di daerah tropis pada umumnya, dan di wilayah Benua Maritim Indonesia pada khususnya merupakan hal yang sangat penting. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memahami karakteristik dan mekanisme curah hujan tropis pada umumnya, dan Indonesia pada khususnya. Sasaran dari penelitian ini adalah diperolehnya informasi variasi spasial dan temporal serta profil vertikal hidrometeor, terutama kadar air cair dan kadar es dalam awan dan hujan yang terjadi di atmosfer di atas Instalasi Uji Terbang Riket (IUTR) LAPAN dan sekitarnya ($05^{\circ}\text{LS} - 10^{\circ}\text{LS}$; $105^{\circ}\text{BT} - 110^{\circ}\text{BT}$) berbasis observasi satelit TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), dalam rentang pengamatan Januari 1998 sampai Desember 2008 (11 tahun).

2. DATA DAN METODE PENELITIAN

Data utama yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah data kadar air cair dalam awan dan hujan (*LWC : Liquid Water Content cloud and precipitation*), kadar air padat / es dalam awan dan hujan (*IWC : Ice Water Content cloud and precipitation*) dari sensor TMI (*TRMM Microwave Imager*) satelit TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), yang merupakan produk data TRMM level 3, dan dikenal sebagai data 3A12 TRMM. Data 3A12 TRMM ini memiliki resolusi spasial di permukaan $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$; cakupan area global dari $40^{\circ}\text{LU} - 40^{\circ}\text{LS}$; $180^{\circ}\text{BT} - 180^{\circ}\text{BB}$; resolusi temporal rata-rata bulanan (*monthly mean*); tersedia dari Desember 1997 sampai sekarang (Februari 2010). Data 3A12 TRMM ini berasal dari data 2A12 TRMM, yang merupakan data TRMM level 2, dengan resolusi spasial di permukaan bumi adalah $5,1 \text{ km} \times 5,1 \text{ km}$ dan lebar sapuan (*swath width*) 878 km; TRMM Home (2010). Namun, dalam penelitian ini dipilih data kadar air cair dalam awan dan hujan (*LWC : Liquid Water Content cloud and precipitation*), kadar air padat / es dalam awan dan hujan (*IWC : Ice Water Content cloud and precipitation*) untuk daerah Jawa Barat, Banten, DKI Jakarta dan sekitarnya ($05^{\circ}\text{LS} - 10^{\circ}\text{LS}$; $105^{\circ}\text{BT} - 110^{\circ}\text{BT}$) dalam rentang pengamatan Januari 1998 sampai Desember 2008 (11 tahun). Sedang untuk kasus titik grid, dipilih Instalasi Uji Terbang Riket (IUTR) LAPAN Pameungpeuk, Garut, Jawa Barat dan sekitarnya pada posisi geografis ($07,65^{\circ}\text{LS}$; $107,69^{\circ}\text{BT}$).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Variasi spasial kadar air cair dalam awan, kadar air padat / es dalam awan, kadar air cair dalam hujan, dan kadar air padat / es dalam hujan di beberapa level ketinggian (1,0 km sampai 18,0 km) dari sensor TMI satelit TRMM di atas Stasiun Pengamat Dirgantara (SPD) dan Instalasi Uji Terbang Roket (IUTR) Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) Pameungpeuk, Garut ($07,65^{\circ}\text{LS}$; $107,69^{\circ}\text{BT}$) dan sekitarnya rata-rata musim peralihan dari musim basah ke musim kemarau (periode MAM : Maret, April, Mei) 2007, yang diwakili rata-rata bulan April 2007 disajikan dalam Gambar 3.1 - 3.16.

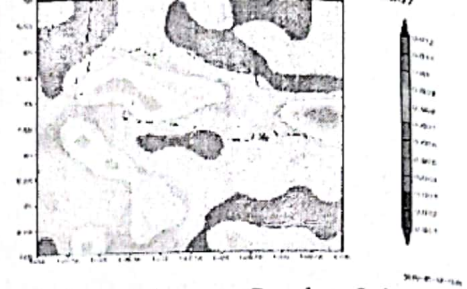
Pemilihan periode MAM 2007 ini didasarkan atas adanya densitas kadar air cair dalam awan dan hujan (LWC), yang maksimum di daerah Pameungpeuk, Garut, Jawa Barat dan sekitarnya ini selama pengamatan 1998-2008 (11 tahun pengamatan).

TRMM 3A12 cloudWater (1.0-1.5 Km) [g/m³] April 2007



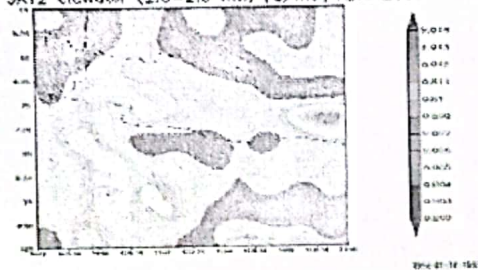
Gambar 3.1. Variasi spasial kadar air cair dalam awan (LWC awan) Pameungpeuk Garut, dan sekitarnya (05 °LS – 10 °LS; 105 °BT – 110 °BT) rata-rata musim peralihan dari musim basah ke kemarau (diwakili April) 2007 ketinggian 1,0 – 1,5 km.

TRMM 3A12 cloudWater (1.5-2.0 Km) [g/m³] April 2007



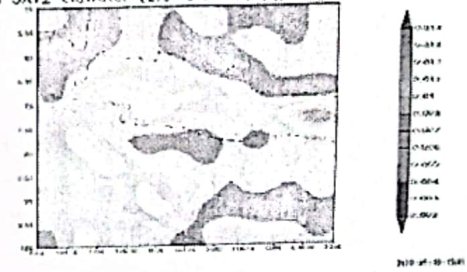
Gambar 3.2. Sama dengan Gambar 3.1, tetapi untuk ketinggian 1,5 – 2,0 km.

TRMM 3A12 cloudWater (2.0-2.5 Km) [g/m³] April 2007



Gambar 3.3. Sama dengan Gambar 3.1, tetapi untuk ketinggian 2,0 – 2,5 km.

TRMM 3A12 cloudWater (2.5-3.0 Km) [g/m³] April 2007



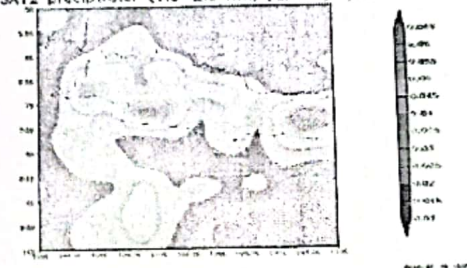
Gambar 3.4. Sama dengan Gambar 3.1, tetapi untuk ketinggian 2,5 – 3,0 km.

TRMM 3A12 precipWater (1.0-1.5 Km) [g/m³] April 2007



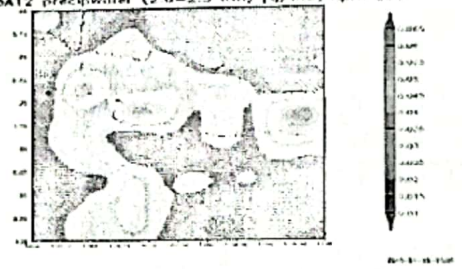
Gambar 3.5. Variasi spasial kadar air cair dalam hujan (LWC hujan) Pameungpeuk Garut, dan sekitarnya (05 °LS – 10 °LS; 105 °BT – 110 °BT) rata-rata musim peralihan dari musim basah ke kemarau (diwakili April) 2007 ketinggian 1,0 – 1,5 km.

TRMM 3A12 precipWater (1.5-2.0 Km) [g/m³] April 2007



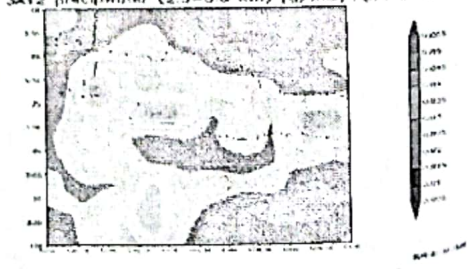
Gambar 3.6. Sama dengan Gambar 3.5, tetapi untuk ketinggian 1,5 – 2,0 km.

TRMM 3A12 precipWater (2.0-2.5 Km) [g/m³] April 2007

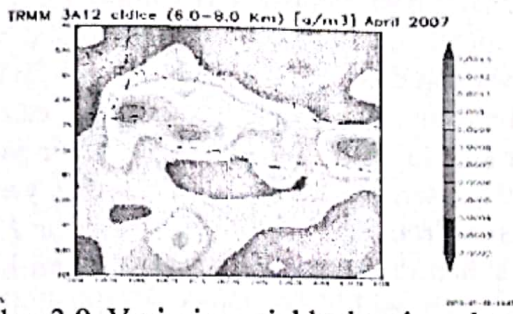


Gambar 3.7. Sama dengan Gambar 3.5, tetapi untuk ketinggian 2,0 – 2,5 km.

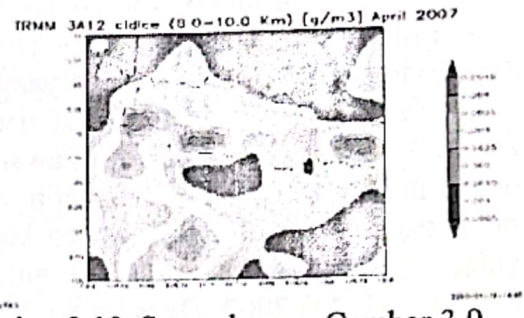
TRMM 3A12 precipWater (2.5-3.0 Km) [g/m³] April 2007



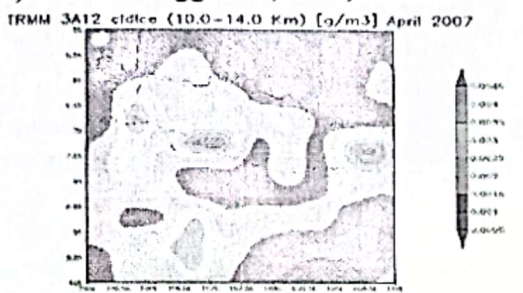
Gambar 3.8. Sama dengan Gambar 3.5, tetapi untuk ketinggian 2,5 – 3,0 km.



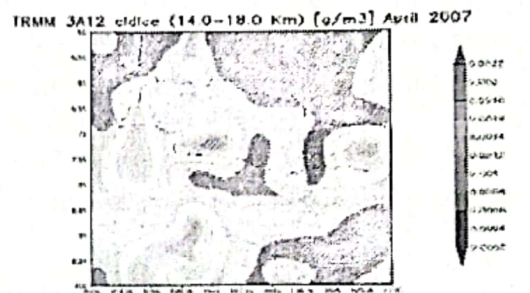
Gambar 3.9. Variasi spasial kadar air padat /es dalam awan (IWC awan) Pameungpeuk Garut, dan sekitarnya (05 °LS – 10 °LS; 105 °BT – 110 °BT) rata-rata musim peralihan dari musim basah ke kemarau (diwakili April) 2007 ketinggian 6,0 – 8,0 km.



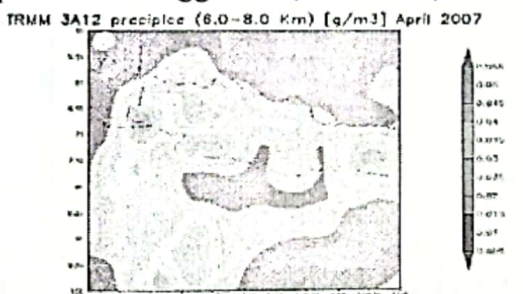
Gambar 3.10. Sama dengan Gambar 3.9, tetapi untuk ketinggian 8,0– 10,0 km.



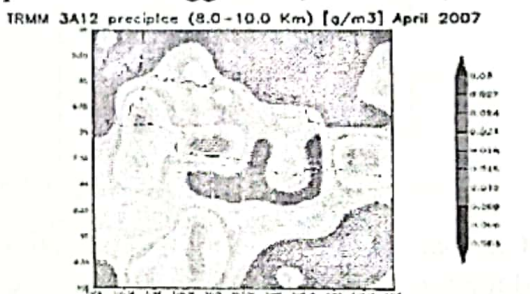
Gambar 3.11. Sama dengan Gambar 3.9, tetapi untuk ketinggian 10,0 km – 14,0 km.



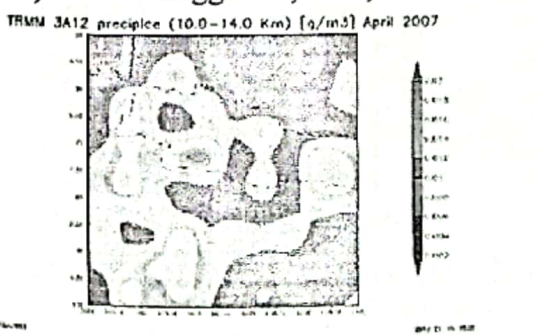
Gambar 3.12. Sama dengan Gambar 3.9, tetapi untuk ketinggian 14,0 km – 18,0 km.



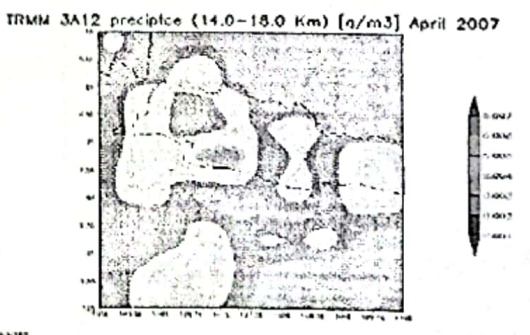
Gambar 3.13. Variasi spasial kadar air padat /es dalam hujan (IWC hujan) Pameungpeuk Garut, dan sekitarnya (05 °LS – 10 °LS; 105 °BT – 110 °BT) rata-rata musim peralihan dari musim basah ke kemarau (diwakili April) 2007 ketinggian 6,0 – 8,0 km.



Gambar 3.14. Sama dengan Gambar 3.13, tetapi untuk ketinggian 8,0 – 10,0 km.



Gambar 3.15. Sama dengan Gambar 3.13, tetapi untuk ketinggian 10,0 – 14,0 km.

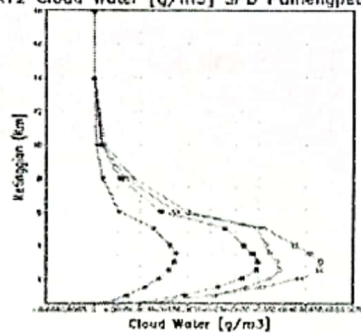


Gambar 3.16. Sama dengan Gambar 3.3, tetapi untuk ketinggian 14,0 – 18,0 km.

Gambaran umum yang dapat diungkapkan dari gambar dari gambar (3.1) sampai (3.16) di atas adalah adanya keadaan yang menunjukkan bahwa secara spasial wilayah Jawa Barat, Banten, DKI Jakarta yang membentang dari (5 °LS – 10 °LS; 105 °BT – 110 °BT) merupakan wilayah dengan densitas hidrometeor, utamanya kadar air cair dalam awan, kadar air padat / es dalam awan, kadar air cair dalam hujan, dan kadar air padat / es dalam hujan di beberapa level ketinggian (1,0 km sampai 18,0 km) yang tinggi, yang akan menghasilkan densitas panas laten kondensasi hidrometeor (*HH : Hydrometeor Heating*) yang tinggi pula, selama perioda musim peralihan dari musim hujan ke musim kemarau (perioda MAM) 2007. Densitas panas laten kondensasi hidrometeor yang tinggi di daerah yang ditinjau dalam penelitian inilah yang pada gilirannya akan berperan sebagai sumber penggerak sirkulasi atmosfer atau angin, yang merupakan unsur penting dalam operasi peluncuran roket, khususnya dalam analisis trayektori payload yang dilepaskan dari roket tersebut.

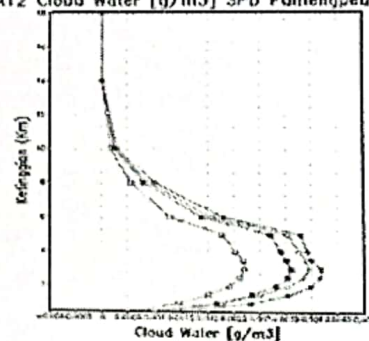
Untuk kasus titik / grid pengamatan, variasi densitas profil vertikal kadar air cair dalam awan, kadar air padat / es dalam awan, kadar air cair dalam hujan, dan kadar air padat / es dalam hujan di beberapa level ketinggian (1,0 km sampai 18,0 km) dari sensor TMI satelit TRMM di atas Stasiun Pengamat Dirgantara (SPD) dan Instalasi Uji Terbang Roket (IUTR) Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) Pameungpeuk, Garut, Jawa Barat (07,65°LS; 107,69 °BT) dan sekitarnya rata-rata bulanan dan musiman selama tahun 2007 disajikan dalam Gambar (3.17.) sampai (3.32.) berikut.

TRMM 3A12 Cloud Water [g/m³] SPD Pameungpeuk, DJF 2007



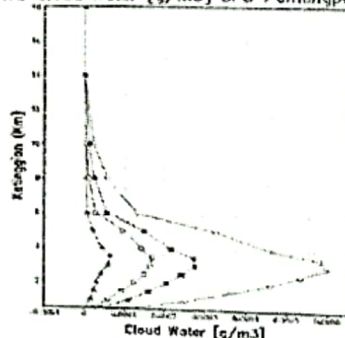
Gambar 3.17. Profil vertikal kadar air cair dalam awan (LWC awan), Pameungpeuk, Garut, Jawa Barat (07,65°LS; 107,69 °BT) perioda Desember 2006, Januari dan Februari 2007 (DJF).

TRMM 3A12 Cloud Water [g/m³] SPD Pameungpeuk, MAM 2007



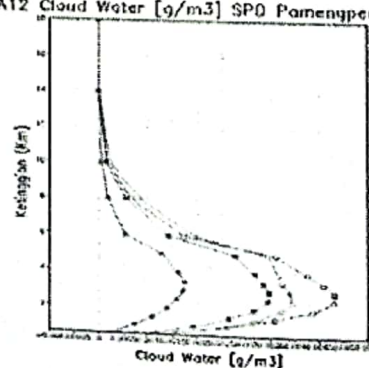
Gambar 3.18. Sama dengan Gambar 3.17, tetapi untuk perioda Maret, April, Mei (MAM) 2007.

TRMM 3A12 Cloud Water [g/m³] SPD Pameungpeuk, JJA 2007

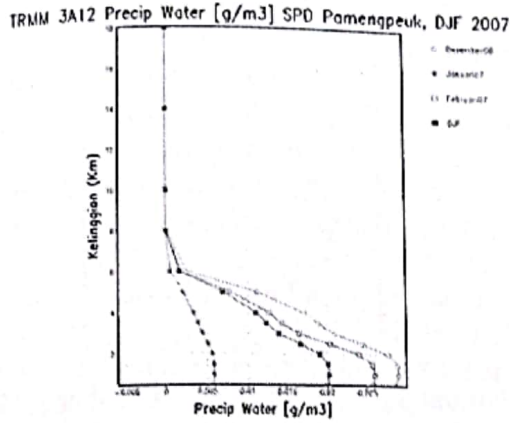


Gambar 3.19. Sama dengan Gambar 3.1), tetapi untuk perioda Juni, Juli, Agustus (JJA) 2007.

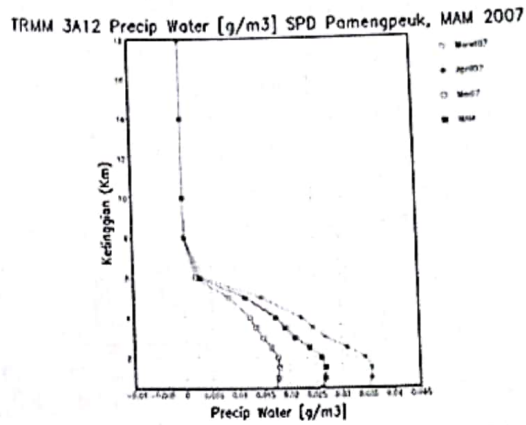
TRMM 3A12 Cloud Water [g/m³] SPD Pameungpeuk, DJF 2007



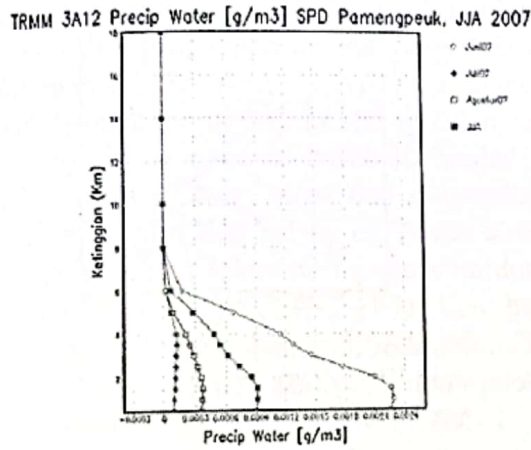
Gambar 3.20. Sama dengan Gambar 3.17, tetapi untuk perioda September, Oktober, Nopember (SON) 2007.



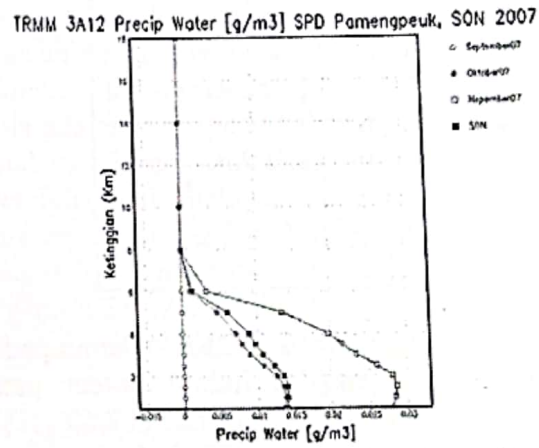
Gambar 3.21. Profil vertikal kadar air cair dalam hujan (LWC hujan), Pameungpeuk Garut, (07,65°LS 107,69°BT) periode DJF, Desember 2006, Januari dan Februari 2007



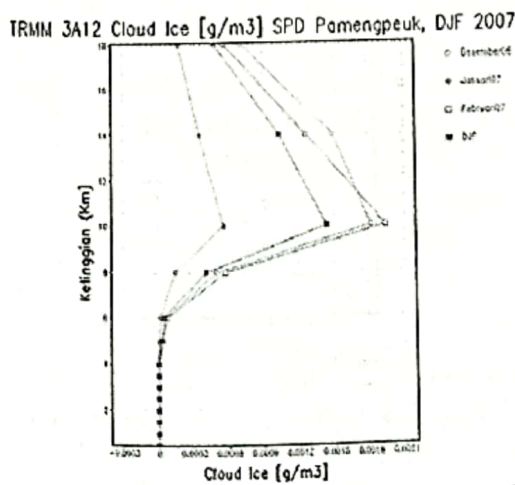
Gambar 3.22. Sama dengan Gambar 3.21, tetapi untuk periode Maret, April, Mei (MAM) 2007.



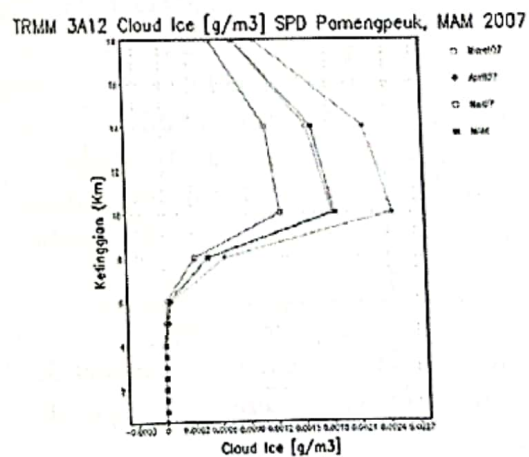
Gambar 3.23. Sama dengan Gambar 3.21, tetapi periode Juni, Juli, Agustus (JJA) 2007.



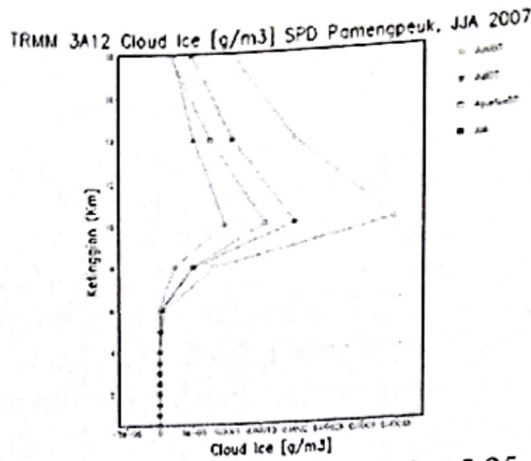
Gambar 3.24. Sama dengan Gambar 3.21, tetapi periode September, Oktober, Nopember (SON) 2007.



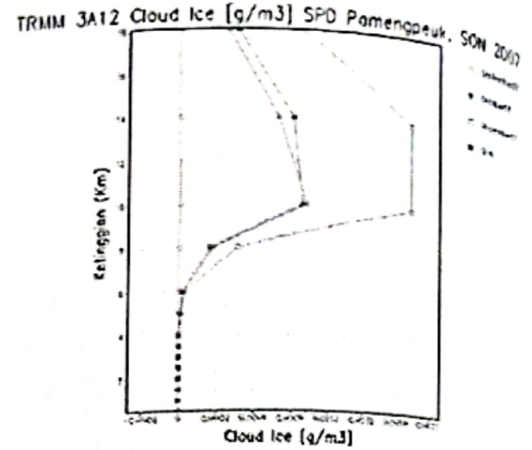
Gambar 3.25. Profil vertikal kadar air padat /es dalam awan (IWC awan), Pameungpeuk Garut, (07,65°LS 107,69°BT) periode DJF, Desember 2006, Januari dan Februari 2007



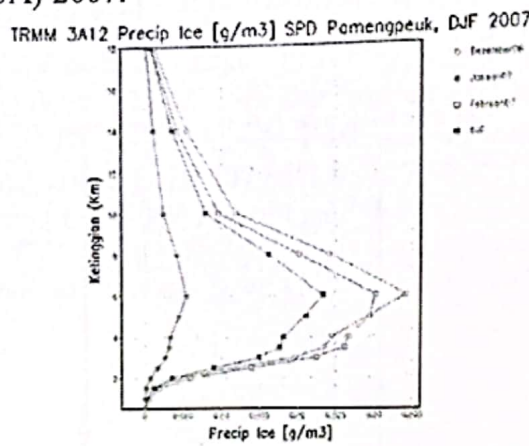
Gambar 3.26. Sama dengan gambar (3.25), tetapi untuk periode Maret, April, Mei (MAM) 2007.



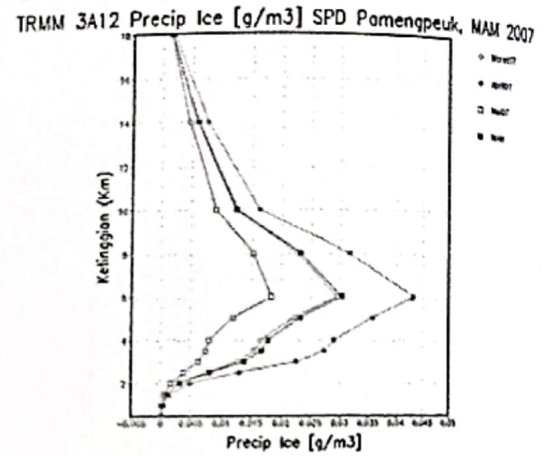
Gambar 3.27. Sama dengan Gambar 3.25, tetapi untuk perioda Juni, Juli, Agustus (JJA) 2007.



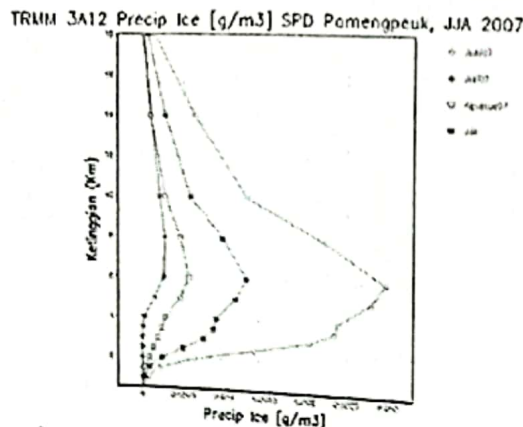
Gambar 3.28. Sama dengan Gambar 3.25, tetapi untuk perioda September, Oktober, Nopember (SON) 2007.



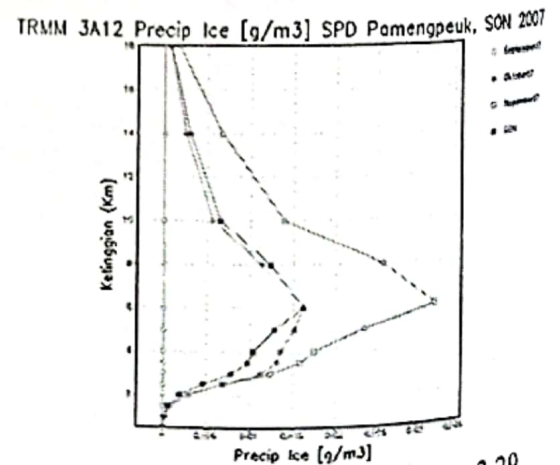
Gambar 3.29. Profil vertikal kadar air padat /es dalam hujan (IWC hujan) Pameungpeuk Garut, Jawa Barat (07,65°LS; 107,69°BT) perioda DJF, Desember 2006, Januari dan Februari 2007.



Gambar 3.30. Sama dengan Gambar 3.29, tetapi untuk perioda Maret, April, Mei (MAM) 2007.

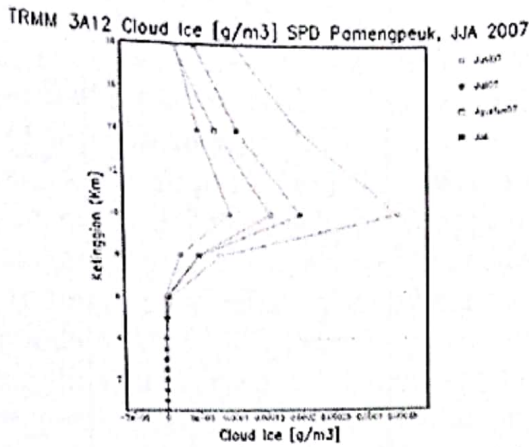


Gambar 3.31. Sama dengan Gambar 3.29, tetapi untuk perioda Juni, Juli, Agustus (JJA) 2007.

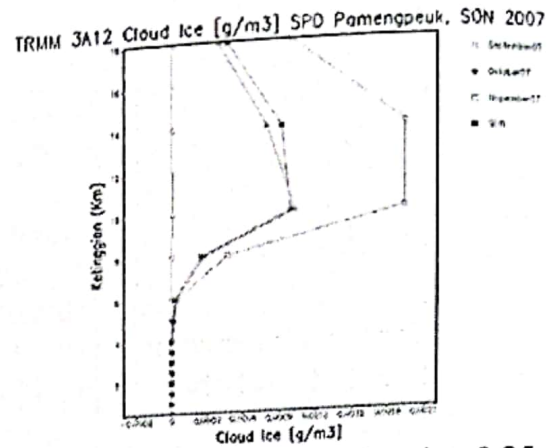


Gambar 3.32. Sama dengan Gambar 3.29, tetapi untuk perioda September, Oktober, Nopember (SON) 2007.

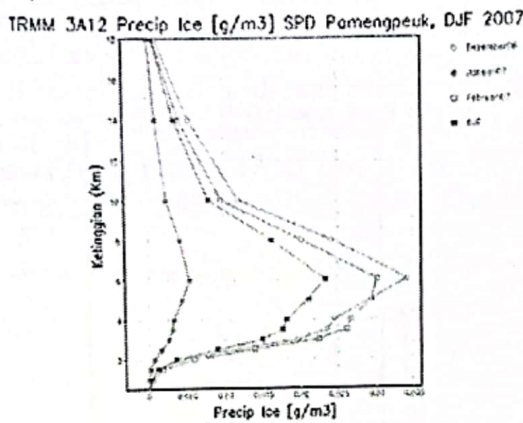
Pemilihan perioda tahun 2007 ini didasarkan atas adanya densitas kadar air cair dalam awan dan hujan (LWC), yang maksimum di daerah Pameungpeuk, Garut, Jawa Barat dan sekitarnya ini selama pengamatan 1998-2008 (11 tahun pengamatan).



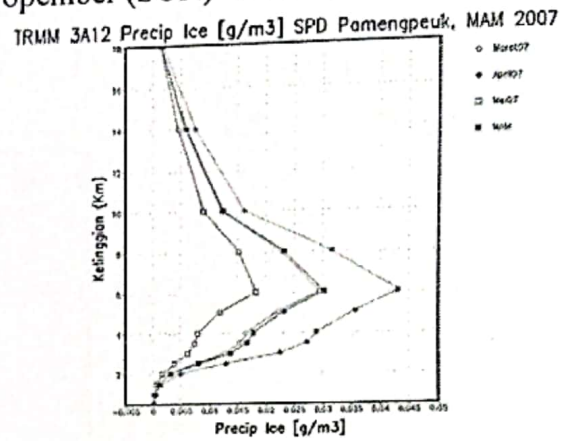
Gambar 3.27. Sama dengan Gambar 3.25, tetapi untuk perioda Juni, Juli, Agustus (JJA) 2007.



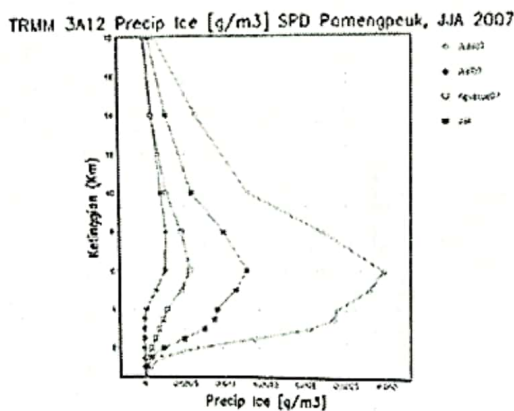
Gambar 3.28. Sama dengan Gambar 3.25, tetapi untuk perioda September, Oktober, Nopember (SON) 2007.



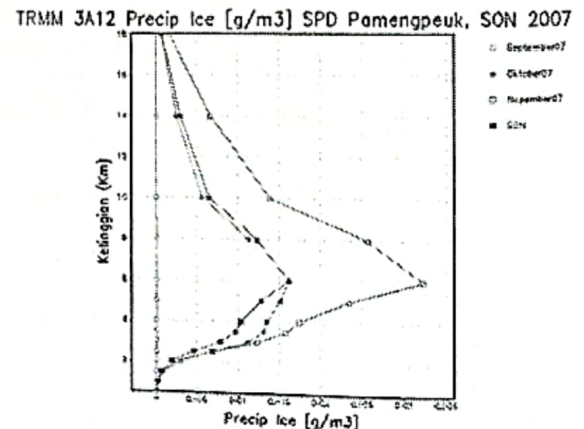
Gambar 3.29. Profil vertikal kadar air padat /es dalam hujan (IWC hujan) Pameungpeuk Garut, Jawa Barat (07,65°LS; 107,69°BT) perioda DJF, Desember 2006, Januari dan Februari 2007.



Gambar 3.30. Sama dengan Gambar 3.29, tetapi untuk perioda Maret, April, Mei (MAM) 2007.



Gambar 3.31. Sama dengan Gambar 3.29, tetapi untuk perioda Juni, Juli, Agustus (JJA) 2007.



Gambar 3.32. Sama dengan Gambar 3.29, tetapi untuk perioda September, Oktober, Nopember (SON) 2007.

Pemilihan perioda tahun 2007 ini didasarkan atas adanya densitas kadar air cair dalam awan dan hujan (LWC), yang maksimum di daerah Pameungpeuk, Garut, Jawa Barat dan sekitarnya ini selama pengamatan 1998-2008 (11 tahun pengamatan).

Hal umum yang dapat diungkap dari gambar (3.17.) sampai (3.32.) di atas adalah adanya perbedaan level ketinggian terjadinya densitas maksimum LWC dan IWC dalam awan maupun LWC dan IWC dalam hujan. Pada periode MAM 2007, densitas maksimum LWC awan di daerah yang ditinjau ini terjadi di ketinggian 3,0 km dengan nilai $0,004 \text{ g/m}^3$, sedang IWC awannya terjadi di ketinggian 10,0 km dengan nilai $0,002 \text{ g/m}^3$. Secara garis besar juga terlihat bahwa pada saat musim peralihan dari musim basah ke musim kemarau (bersesuaian dengan periode MAM : Maret, April, Mei) ternyata LWC awan maupun IWC awan memiliki densitas yang lebih besar jika dibandingkan pada saat musim-musim lainnya (musim basah, kemarau maupun peralihan dari kemarau ke basah, masing-masing bersesuaian dengan periode DJF : Desember, Januari, Februari; JJA : Juni, Juli, Agustus; dan SON : September, Oktober, dan Nopember). Hal ini mengindikasikan bahwa pada musim basah di atas Pameungpeuk Garut Jawa Barat justru banyak terdapat awan-awan tinggi seperti awan sirus (Ci), sirokumululus (Ce) dan sirostratus (Cs). Secara teori, awan sirus terdiri dari kristal es. Gejala optiknya disebabkan oleh pemantulan (*reflection*), pembiasan (*refraction*), dan penghamburan (*scattering*) cahaya oleh kristal-kristal es ini. Awan sirus ini dapat berkembang dari kristal es yang jatuh dari awan sirokumululus atau dari pembentangan bagian atas awan kumulonimbus (Cb). Selain itu, awan sirus dapat pula terjadi dari penguapan bagian yang tipis dari awan sirostratus; (Prawirowardoyo, 1996). Selanjutnya, Prawirowardoyo juga mengungkapkan bahwa awan sirokumululus hampir semata-mata terdiri dari kristal es. Mungkin pula ada tetes air yang kelewat dingin, tetapi biasanya dengan cepat berubah menjadi kristal es. Awan sirokumululus ini dapat pula terbentuk dari awan sirus dan sirostratus. Demikian pula halnya, awan sirostratus ini terutama terdiri dari kristal es. Awan sirostratus dapat pula terbentuk dari pembentangan bagian atas atau inkus dari awan kumulonimbus (Cb). Dengan memperhatikan nilai-nilai densitas maksimum LWC awan dan hujan serta IWC awan dan hujan sebagaimana terdapat dalam gambar (3.17 sampai 3.32) di atas, maka secara umum dapat diungkap bahwa variasi spasial dan profil vertikal hidrometeor yang terdiri dari densitas LWC dan IWC dalam awan maupun LWC dan IWC dalam hujan tidak memberikan gangguan yang signifikan terhadap operasi peluncuran raket ilmiah yang dikembangkan dan dilaksanakan LAPAN.

Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini jika dibandingkan dengan hasil kajian yang dilakukan oleh Fiorino, (2002) secara umum memang menunjukkan hal yang "relatif" berbeda, baik dalam nilai densitas kadar es dalam awan, level ketinggian yang memberikan nilai maksimum dari kadar es dalam awan, maupun dalam rincian parameter yang menunjukkan kadar es dalam awan. Lebih lanjut, studi tentang es hujan (*hail*) oleh Rassmussen dan Heymsfield (1987) dan salju hujan oleh Mitra *et al.*, (1990) dalam Fiorino (2002) menunjukkan bahwa partikel es pada umumnya tetap berada di bawah level ketinggian pada suhu $+ 5^{\circ}\text{C}$ hanya ketika kelembaban relatif di bawah lapisan awan secara signifikan bernilai $< 75\%$ dan selama terdapat kejadian es hujan yang luas (dengan jari-jari $> 1,2 \text{ cm}$).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Secara spasial, Jawa Barat dan sekitarnya ($05^{\circ}\text{LS} - 10^{\circ}\text{LS}$; $105^{\circ}\text{BT} - 110^{\circ}\text{BT}$) merupakan wilayah dengan densitas hidrometeor yang tinggi, baik selama periode musim hujan, musim peralihan maupun musim kemarau. Untuk kasus titik grid pengamatan, di atas daerah IUTR LAPAN, maka kadar air cair dalam awan dan hujan maksimum adalah $0,004 \text{ g/m}^3$ (LWC awan di ketinggian 3,0 km) dan $0,030 \text{ g/m}^3$ (LWC hujan di ketinggian 1,5 km). Sedangkan kadar es dalam awan dan hujan maksimum adalah $0,004 \text{ g/m}^3$ (IWC

awan di ketinggian 10,0 km) dan $0,030 \text{ g/m}^3$ (IWC hujan di ketinggian 6,0 km). Keadaan ini diperkirakan tidak memberikan gangguan yang signifikan terhadap operasi peluncuran raket ilmiah yang dikembangkan dan dilaksanakan LAPAN. Namun demikian tetap diperlukan pengamatan secara kontinu dan dalam rentang waktu yang lama, sampai dapat diperoleh karakteristik klimatologis kadar air cair dan kadar es dalam awan dan hujan di daerah / tempat IUTR LAPAN.

DAFTAR RUJUKAN

- Fiorino, S.T., 2002, Investigation of Microphysical Assumptions in TRMM Radiometer's Rain Profile Algorithm using KWAJEX Satellite, Aircraft and Surface Datasets, Doctoral Dissertation at Department of Meteorology, Florida State University, Tallahassee, Florida 32306-4520, 104 hal., dari :
<http://handle.dtic.mil/100.2/ADA407117> down load 19 Juni 2009.
- Prawiriwardoyo, S., 1996, Meteorologi, Penerbit ITB, Bandung, 43-48, 167-186.
- Rossow, W.B., and B. Cairns, 1995, Monitoring Changes of Clouds, *Climatic Change*, **31**, 305-347.
- TRMM Home, 2010, NASA Facts : TRMM Instruments TRMM Microwave Imager dari :
http://trmm.gsfc.nasa.gov/overview_dir/tmi.html down load 05 April 2010.
- Yoshida, Y., S. Asano, A. Yamamoto, N. Orikasa, and A. Yamazaki, 2004, Radiative Properties of Mid-latitude Frontal Ice-Clouds Observed by the Shortwave and Longwave Radiometer-sondes, *J.of Met.Soc.of Japan*, **82**, 639-656.
- Yoshida, Y., S. Asano, and K. Iwanami, 2006, Retrieval of Microphysical Properties of Water, Ice and Mixed-Phase Clouds Using a Triple-Wavelength Radar and Microwave Radiometer, *J.of Met.Soc.of Japan*, **86**, 1005-1031.