

PROFIL VERTIKAL SUHU ATMOSFER DI ATAS INDONESIA BERBASIS HASIL ANALISIS DATA SATELIT FORMOSAT-3/COSMIC

Eddy Hermawan

Peneliti Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim, LAPAN
E-mail : eddy_lapan@yahoo.com

ABSTRACT

This research is especially aimed at the analysis of the satellite data FORMOSAT-3, especially the temperature atmosphere and its comparison towards the data radiosonde on several Indonesian regions. The area of the study was selected in 90° - 140° E and 12° N- 12° S with observation time period of December 2006, January 2007, and February 2007, respectively. Results of the data of being the data that was processed took the form of the vertical plot of the atmosphere of the appearance graph. Based on results of the comparison of the satellite data FORMOSAT-3 with the data radiosonde was obtained that almost most appearances of the atmosphere were based on the satellite FORMOSAT-3 was the same as the appearance of the atmosphere based on radiosonde data. This difference happened in and around the surface that is in the height below 8 kilometer. Inaccuracy of the vertical temperature profile in the region near the surface based on satellite data FORMOSAT-3 can be overcome by doing the conversion on the basis of certain correction factors, so that the resulting data with radiosonde data. Further analysis showed a good correlation between satellite data FORMOSAT-3 with radiosonde data in the "about" tropopause layer, ie the correlation coefficient value of an average of 0.81 for quantities *Brunt Väisälä Frequency Squared* (N^2). The virtue of these satellites can provide in addition to the vertical atmospheric data, particularly air temperature for the entire region while Indonesia radiosonde data is difficult to obtain. As for shortcomings, FORMOSAT-3 did not observe the same spot every day.

Key words: *FORMOSAT-3/COSMIC, Radiosonde and vertical profile of atmospheric temperature*

ABSTRAK

Penelitian ini utamanya ditujukan untuk menganalisis data satelit FORMOSAT-3, khususnya parameter suhu dan perbandingannya terhadap data radiosonde di atas beberapa kawasan Indonesia. Daerah kajian dibatasi pada sekitar 90° - 140° BT dan 12° LU- 12° LS dengan waktu pengamatan pada bulan Desember 2006, Januari 2007 dan Februari 2007. Hasil data merupakan data yang telah diproses berupa plot grafik profil vertikal atmosfer. Berdasarkan hasil perbandingan data satelit FORMOSAT-3 dengan

data radiosonde didapatkan bahwa hampir sebagian besar profil atmosfer berdasarkan satelit FORMOSAT-3 sama dengan profil atmosfer berdasarkan data suhu radiosonde. Perbedaan ini terjadi di sekitar lapisan permukaan yaitu pada ketinggian di bawah 8 kilometer. Ketidaktepatan profil suhu vertikal di daerah dekat permukaan berdasarkan data satelit FORMOSAT-3 dapat diatasi dengan melakukan konversi berdasarkan faktor koreksi tertentu, sehingga data yang dihasilkan sama dengan data radiosonde. Analisis lebih lanjut, menunjukkan adanya korelasi yang baik antara data satelit FORMOSAT-3 dengan data radiosonde di "sekitar" lapisan tropopause, yakni dengan nilai koefisien korelasi rata-rata sebesar 0.81 untuk besaran *Brunt Väisälä Frequency Squared* (N^2). Keutamaan satelit ini selain dapat menyediakan data atmosfer vertikal, khususnya suhu udara untuk seluruh kawasan Indonesia disaat data radiosonde sulit didapat. Sedangkan kekurangannya, FORMOSAT-3 melakukan pengamatan tidak pada titik lokasi yang sama setiap harinya.

Kata kunci: *FORMOSAT-3/COSMIC, Radiosonde dan profil vertikal suhu atmosfer*

1 PENDAHULUAN

Cuaca dan iklim merupakan faktor utama yang sangat berpengaruh terhadap berbagai aktivitas kehidupan. Seiring dengan berkembangnya sistem pemantauan atmosfer bumi berbasis teknologi baru, maka peningkatan pengamatan iklim global kini dirasakan semakin mendesak. Salah satunya adalah dengan dikembangkannya program COSMIC (*Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere and Climate*) dengan diluncurkannya enam buah satelit dengan tipe orbit polar yang disebut dengan FORMOSAT-3 sehingga diharapkan peramalan cuaca menjadi lebih cepat dan efisien.

Satelit FORMOSAT-3 dapat menyediakan data di seluruh permukaan bumi dengan resolusi tinggi dan menjangkau daerah-daerah yang sulit dicapai sehingga proses pengamatan meteorologi menjadi lebih efektif. Pada dasarnya pengamatan satelit FORMOSAT-3 memanfaatkan sinyal radio GPS (*Global Positioning System*) untuk melakukan pengamatan. Dari data ini dengan rumusan tertentu akan dapat diturunkan besaran suhu, tekanan dan kandungan uap air yang merupakan faktor penting untuk mempelajari proses hidrologi yang terjadi di permukaan bumi.

Pengamatan atmosfer secara vertikal biasanya dilakukan dengan menggunakan alat radiosonde. Peluncuran radiosonde biasanya dilakukan di daerah-daerah tertentu saja sehingga tidak mewakili kondisi atmosfer global. Peranan radiosonde sebagai alat observasi kondisi atmosfer secara vertikal diharapkan dapat tergantikan dengan adanya data satelit FORMOSAT-3 ini. Pengamatan parameter-parameter iklim pada setiap daerah dapat dilakukan sehingga kegiatan peramalan cuaca dapat dilakukan dengan mudah.

Pemanfaatan data satelit FORMOSAT-3 dapat digunakan untuk mengetahui profil vertikal atmosfer pada wilayah Indonesia. Pada studi kasus kawasan Indonesia, data FORMOSAT-3 dapat dipadukan dengan data radiosonde yang terdapat pada masing-masing tempat. Kedua data ini dapat saling mengisi sehingga didapatkan informasi yang tepat untuk kegiatan peramalan cuaca.

Dengan demikian maka makalah ini dibuat dengan tujuan selain untuk mengkaji peran data satelit FORMOSAT-3 dan penggunaannya untuk mengetahui profil atmosfer secara vertikal, juga ingin membandingkan data hasil pengamatan FORMOSAT-3 dan data hasil pengamatan radiosonde di beberapa kawasan Indonesia.

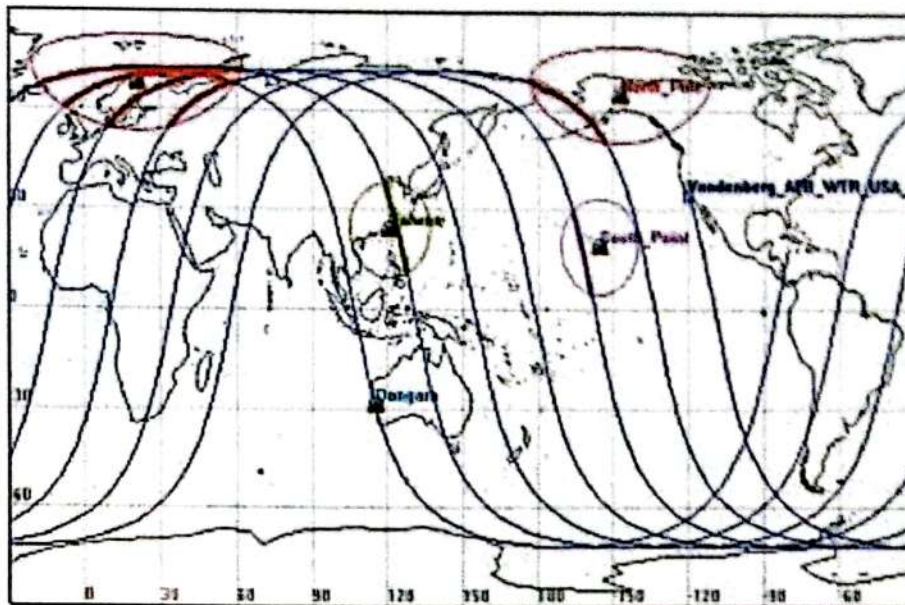
2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum FORMOSAT-3/COSMIC

Program FORMOSAT-3 merupakan proyek gabungan internasional antara Taiwan (*Taiwan's National Space Organisation*) dan Amerika Serikat (*University Corporation for Atmospheric Research*) (Yen 2006). Tujuan dari program ini adalah untuk mengembangkan teknologi dalam pengamatan iklim global. Program ini juga biasa disebut FORMOSAT-3/COSMIC (*Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere and Climate*).

Terbentuknya Formosat-3 dimulai pada saat dilakukan persetujuan antara *Nasional Space Organisation* (NSPO) dan *University Corporation for Atmospheric Research* (UCAR) pada tanggal 6 Agustus 1997 untuk mengembangkan *Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere and Climate* (COSMIC) yang bertujuan untuk melakukan riset dan prediksi di bidang iklim dan cuaca serta ionosfer. Pada tanggal 30 Juni 1999, *American Institute Taiwan* (AIT) dan *Taipe Economic and Culture Representative Office* (TECRO) melakukan penandatanganan persetujuan untuk kerjasama yang berkaitan dengan pengembangan, peluncuran dan pengoperasian program COSMIC.

FORMOSAT-3/COSMIC yang terdiri dari gabungan enam satelit LEO (*Low Earth Orbit*) berhasil diluncurkan pada tanggal 14 April 2006 di Vandenberg Air Force Base, California. Keenam satelit ini ditargetkan untuk menempati enam orbit yang berbeda pada ketinggian 700 sampai 800 kilometer di atas permukaan bumi. Satelit pertama (FM5) telah mencapai orbit akhirnya pada ketinggian 800 km pada bulan Juli 2006, sedangkan kelima satelit lainnya berada pada orbit sekitar 515 sampai 520 kilometer. Orbit satelit tersebut akan membentuk gabungan *Low-Earth-Orbit* yang akan menerima sinyal yang dikirimkan oleh 24 buah satelit GPS milik Amerika Serikat. Satelit dapat melakukan pengamatan yang mencakup seluruh atmosfer global dan ionosfer serta menghasilkan 2500 data pengamatan setiap harinya.



Gambar 2-1: Lintasan orbit satelit Formosat-3
(Sumber : <http://www.nspo.org.tw/2005e/index.php>)

Sistem FORMOSAT-3/COSMIC terdiri dari enam buah satelit kecil dengan berat masing-masing 61 kilogram dan berbentuk lingkaran dengan diameter 116 centimeter dan tinggi 18 centimeter. Orbit satelit-satelit tersebut berbentuk sirkular dengan ketinggian 800 kilometer dan sudut inklinasi sebesar 72° yang berarti satelit akan mengorbit dari katulistiwa hingga 72° LU sampai 72° LS. Satelit didesain untuk masa waktu lebih dari lima tahun dan terdiri dari tiga bagian, yaitu:

- *GPS Occultation EXperiment* (GOX).
- *Tiny Ionospheric Photometer* (TIP).
- *Tri Band Beacon* (TBB)

GPS Occultation Experiment (GOX) bekerja dengan memanfaatkan sinyal radio. Sinyal radio akan dikirim atau direfraksikan pada saat pengamatan dan pengukuran troposfer dan ionosfer. Dari pengamatan ini akan didapatkan profil uap air, suhu, tekanan, dan densitas elektron di ionosfer. Sedangkan *Tiny Ionospheric Photometer* (TIP) memiliki fungsi mengukur emisi foton pada 135.6 nm dan mengukur jumlah densitas elektron. TIP memiliki sensitivitas lebih besar dari 150 count/s/rayleigh dengan resolusi 0.1 sampai 10 detik.

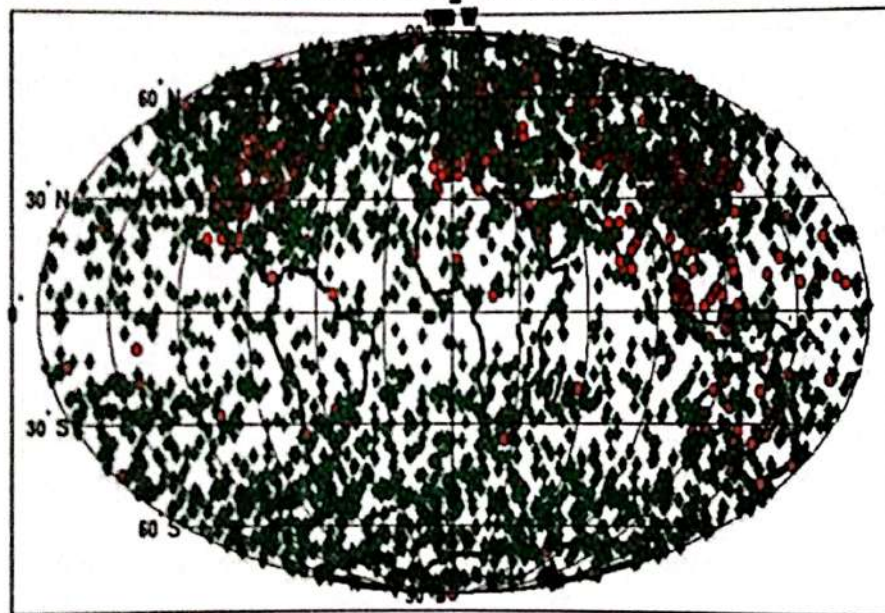
2.2 Hasil Data FORMOSAT-3/COSMIC

Data yang dihasilkan dari pengamatan satelit FORMOSAT-3 terdiri dari tiga jenis yaitu data yang dihasilkan oleh *GPS Occultation Experiment* (GOX), data *Tiny Ionospheric Photometer* (TIP) dan data *Tri Band Beacon* (TBB) (Ho 2006). Data *GPS Occultation Experiment* (GOX) merupakan data yang

berkaitan dengan informasi tentang orbit LEO, data tentang atmosfer secara global seperti kelembaban udara, tekanan dan data ionosfer seperti densitas elektron. Sedangkan *Tiny Ionospher Photometer* (TIP) menghasilkan data tentang radiasi ionosfer dan *Tri Band Beacon* (TBB) menghasilkan data ampiltudo dan fase sinyal dari tomografi ionosfer.

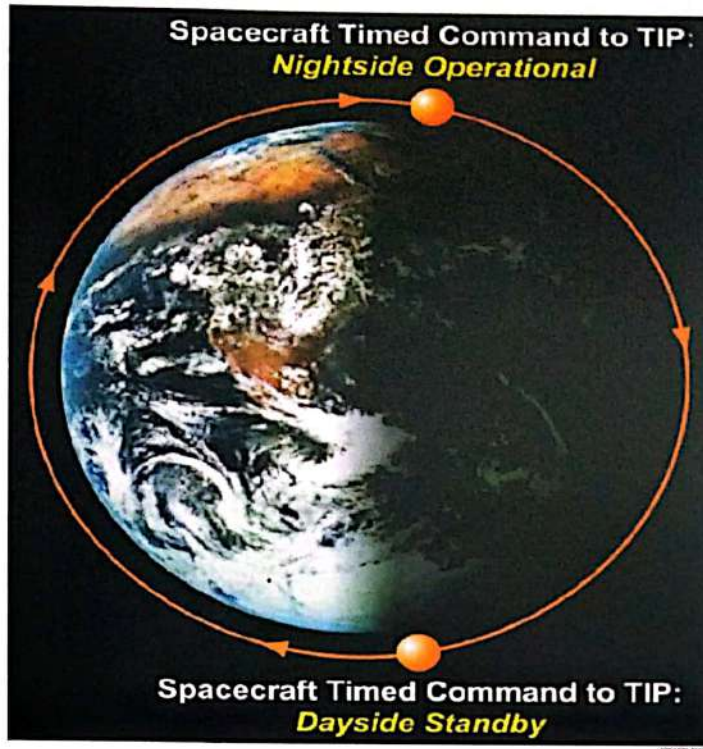
Karakteristik data *GPS Occultation Experiment* (GOX) adalah data yang diperoleh sebagian besar merupakan data pada daerah-daerah lintang tinggi, sedangkan data untuk daerah equator dan daerah kutub akan berjumlah lebih rendah. Selain itu ketinggian profil atmosfer yang dapat diamati berkisar antara 1-40 kilometer dan untuk pengamatan ionosfer dapat berkisar sampai 140 kilometer dari permukaan bumi. Pengambilan contoh profil atmosfer dilakukan pada setiap jarak 4 meter sedangkan untuk profil ionosfer diambil pada jarak sekitar 1.5 kilometer.

Occultation Locations for COSMIC, 6 S/C, 6 Planes, 24 Hrs



Gambar 2-2: Lokasi pengambilan data oleh FORMOSAT-3 dalam jangka waktu 24 jam (Sumber: <http://140.115.111.70/CAWSES-AOPR/U1.pdf>)

Data yang dihasilkan *Tiny Ionospher Photometer* (TIP) diambil pada daerah sepanjang jalur yang dilalui oleh satelit untuk data pada bagian malam hari. Sedangkan data *Tri Band Beacon* (TBB) merupakan data yang bersifat regional pada saat pengambilannya. Berbagai jenis data ini tersebar secara merata di seluruh atmosfer bumi. Informasi iklim global seperti tekanan, suhu, kelembaban dan refraktivitas yang telah dikumpulkan oleh satelit akan dianalisis pada jangka waktu tiga jam dan akan diperbaharui setiap jangka waktu 90 menit.



Gambar 2-3: Waktu operasi *Tiny Ionospher Photometer* (TIP)
 (Sumber: <http://140.115.111.70/CAWSES-AOPR/U1.pdf>)

Dari ketiga jenis data yang dihasilkan oleh satelit FORMOSAT-3 dihasilkan berbagai macam tipe data dengan berbagai kegunaan yang dapat diterangkan pada tabel di bawah ini.

Table 2-1: JENIS DATA FORMOSAT-3 (Ho 2006)

Jenis Data	Data Awal	Data Setelah Diproses
GOX raw data	opnGps, podGps, podObs	opnGps, podGps, podObs
TIP raw data	Tipbin	tipBin
Orbit determination	leoOrb,leoPor,gpsPor	leoOrb
Atmospheric profiles	atmPhs, gpsBit, atmPrf, wetPrf, brfPrf	atmPhs, gpsBit, atmPrf, wetPrf, brfPrf
Total electron content dan ionospheric profile	podTec, leoDBC, ionPhs, ionPrf	podTec, leoDBC, ionPhs, ionPrf
Fiducial GPS data	cosHrf, f30Gps	cosHrf, f30Gps
Data tipe lain	goxBin, goxSOH, loeAtt, avnPrf, comClr, gpsClk, gpsPod, bitArc, leoPVT, fidTrp, dbdump	goxBin, goxSOH, loeAtt, avnPrf, comClr, gpsClk, gpsPod, bitArc, leoPVT, fidTrp, dbdump

Jenis data GOX raw data dan Tip raw data merupakan data yang diambil secara langsung tanpa adanya proses lebih lanjut. Kedua tipe data tersebut masih berupa angka-angka yang menggambarkan kondisi pada saat pengukuran. Sedangkan data *LEO orbit information* (leoOrb) merupakan data yang telah mengalami spesifikasi dengan format SP3. Data leoOrb memberikan informasi tentang posisi satelit dan kecepatan satelit dalam waktu GPS. Untuk jenis data leoOrb yang telah diproses lebih lanjut tersedia dalam kisaran waktu satu hari dengan waktu rata-rata pengambilan contoh adalah satu menit. Data ini berfungsi untuk mempelajari medan gravitasi bumi serta mendukung data GOX dan TIP serta mempelajari atmosfer dan ionosfer.

Data leoPor dan gpsPor merupakan jenis data LEO orbit dan GPS orbit yang telah mengalami spesifikasi bentuk filenya. Format data ini tetap dalam SP3 seperti data yang lain tetapi data ini hanya memuat posisi GPS dan satelit LEO saja dengan jangka waktu satu hari. Ketelitian dari data ini sebesar beberapa kilometer sehingga sangat memungkinkan terjadi kesalahan. Fungsi data leoPor dan gpsPor adalah untuk mengetahui penyebaran peredaran satelit dan prediksi tepat pengambilan data satelit.

Data profil vertical atmosfer yang relatif paling sering digunakan adalah jenis atmPhs, atmPrf dan wetPrf. *Atmospheric excess phase* (atmPhs) merupakan tipe data dengan format netCDF. Data profil terdiri dari *excess phase*, gangguan sinyal serta posisi dan kecepatan satelit GPS atau LEO. Data ini tersedia pada setiap titik pengamatan dan dapat digunakan untuk informasi data atmosfer. Bagian lain dari jenis data atmospheric profile adalah *atmospheric wet profile* (wetPrf). Data jenis ini memiliki keunikan dibandingkan dengan jenis data sebelumnya yaitu atmPrf. WetPrf menggambarkan profil atmosfer dengan mencantumkan informasi tentang kandungan uap air yang ada selain itu juga termasuk refraktivitas, tekanan, tekanan uap air, suhu letak lintang dan ketinggian. Jenis format datanya adalah netCDF. Jenis data ini dapat digunakan untuk pemodelan atmosfer dan ramalan cuaca dalam skala global.

Data podTec, leoDcb, ion Phs dan ion Prf yang dihasilkan oleh data tipe *total electron content* dan *ionospher profiles* memiliki format yang sama yaitu netCDF kecuali data leoDcb yang tersedia dalam bentuk ASCII. Data podTec merupakan data mengenai *total electron content* yang dapat digunakan untuk riset tentang ionosfer bagian atas. Di dalam data ini terdapat informasi tentang posisi satelit GPS beserta sudut kemiringannya.

Pada lapisan ionosfer didapatkan data *ionospher excess phase* (ionPhs) dan *ionospheric profile* (ionPrf). Kedua data tersebut tersedia dalam format netCDF. Data ionPhs merupakan data tentang posisi dan kecepatan satelit GPS dan LEO. Sedangkan data ionPrf berisi tentang densitas elektron, longitude dan latitude pada saat titik perigee serta besarnya sudut lintasan satelit.

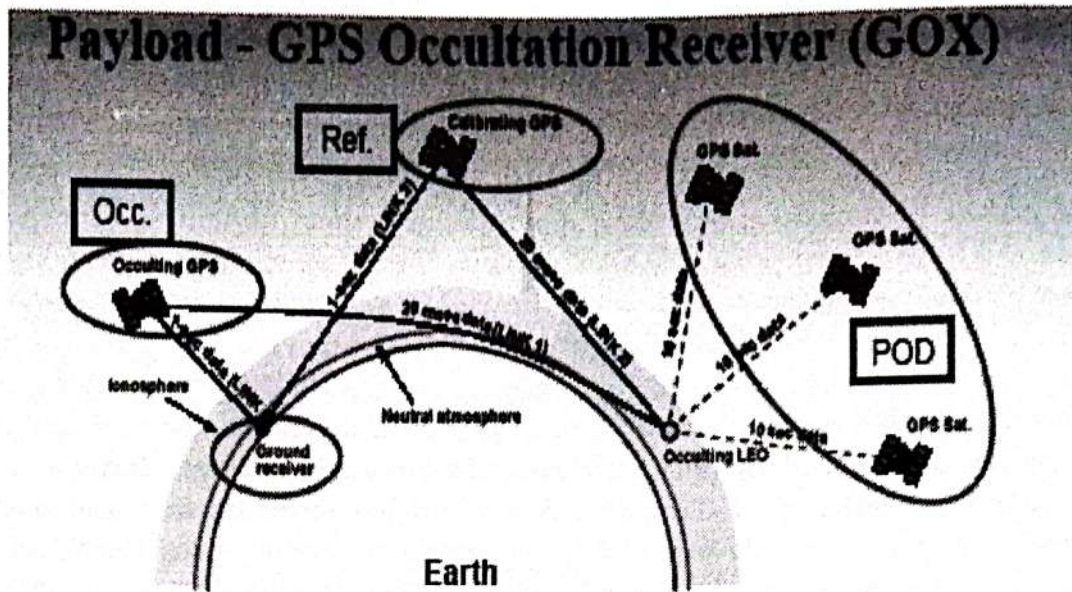
2.3 Prinsip Kerja FORMOSAT-3

Satelit FORMOSAT-3 bekerja dengan cara memanfaatkan sinyal GPS (*Global Positioning System*). Prinsip kerjanya adalah dengan cara mengukur penyimpangan sinyal radio yang berasal dari satelit GPS. Sinyal GPS yang sampai ke permukaan bumi akan dipantulkan sampai ke lapisan ionosfer. Sinyal GPS dalam proses perambatannya akan mengalami tiga faktor penyebab penyimpangan dari *geometric signal path* yaitu ionosfer, *bending* dan *neutral effect* (Manurung dan Sutisna 1997). Besarnya pembelokan sinyal yang disebabkan oleh ionosfer dapat diatasi dengan *dual frequency receiver*. Sedangkan *bending effect* adalah pengaruh akibat ketidakhomogenan unsur atmosfer yang dilalui sinyal. *Bending effect* merupakan fungsi dari elevasi yaitu sudut dari horison terhadap satelit, yang pengaruhnya relatif kecil untuk elevasi di atas 15°. Faktor ketiga yaitu *tropospher delay* yang disebabkan oleh terkonsentrasinya uap air yang berada pada lapisan troposfer.

Dengan mengukur besarnya penyimpangan sinyal ini maka kondisi atmosfer dapat diketahui seperti besarnya kerapatan udara, suhu kelembaban dan densitas elektron di ionosfer. Walaupun sistem pengukuran ini telah dilakukan oleh satelit-satelit seperti GPS-MET, CHAMP dan SAC-C dengan kualitas keakuratan data yang tinggi namun kelebihan FORMOSAT-3 adalah penggabungan dari keenam satelitnya akan memperbesar skala pengamatan sehingga akan menggambarkan keadaan atmosfer global secara lengkap dan berkesinambungan.



Gambar 2-4: Sistem kerja Satelit GPS dan satelit FORMOSAT-3
(Sumber: <http://140.115.111.70/CAWSES-AOPR/U1.pdf>)



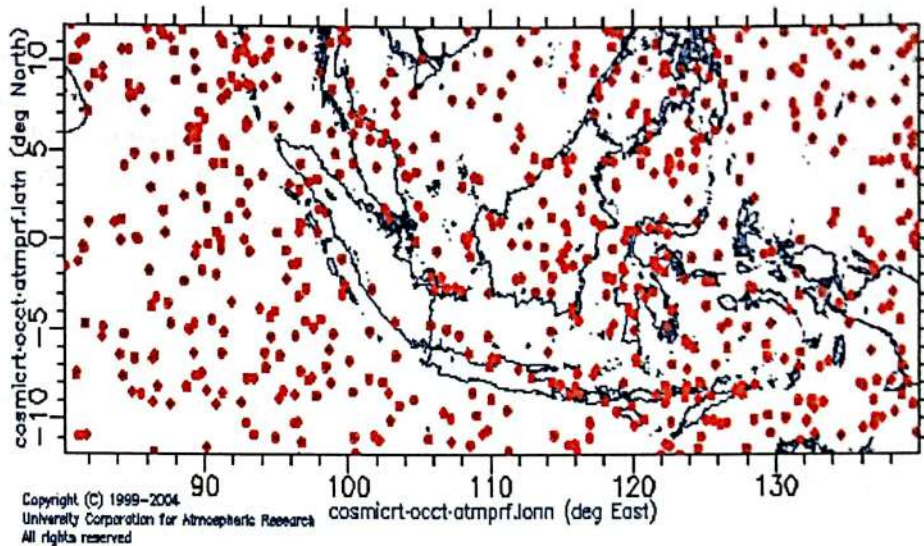
Gambar 2-5: Sistem kerja sinyal satelit GPS dan satelit FORMOSAT-3
(Sumber: (<http://140.115.111.70/CAWSES-AOPR/U1.pdf>))

Satelit FORMOSAT-3 akan melakukan pengukuran profil vertikal atmosfer sekitar 2500 kali yang terdiri dari profil kerapatan udara, suhu, uap air setiap harinya diseluruh permukaan bumi. Data profil suhu, tekanan dan uap air akan membantu untuk pengamatan peramalan cuaca dan gangguan cuaca seperti typhoon, hurricane serta pola badai di atas permukaan laut. Dengan adanya satelit FORMOSAT-3 maka peranan radiosonde dalam mengukur profil vertikal atmosfer dapat tergantikan. FORMOSAT-3 dapat menyediakan data yang lebih rinci dengan tempat pengamatan yang tersebar merata di permukaan bumi yang sulit dilakukan oleh pengamatan radiosonde biasa.

3 DATA DAN METODE ANALISIS

3.1 Data

Data satelit FORMOSAT-3 yang digunakan dalam paper ini diambil dari situs *Taiwan Analysis Center for Cosmic* (TACC) yaitu dengan alamat web-site nya sebagai berikut <http://tacc.cwb.gov.tw/en/index.htm>. Daerah kajian dibatasi pada sekitar 90° - 140° BT dan 12° LU - 12° LS dengan waktu pengamatan pada bulan Desember 2006, Januari 2007 dan Februari 2007. Hasil data merupakan data yang telah diproses berupa plot grafik profil vertikal atmosfer.



Gambar 3-1: Lokasi pengambilan data di Indonesia
(Sumber: (<http://tacc.cwb.gov.tw/en/index.htm>.)

Sementara data radiosonde yang digunakan diambil dari situs <http://weather.uwyo.edu/upperair/seasia.html>. Daerah kajian pengamatan dikhususkan pada daerah yang dilalui satelit FORMOSAT-3. Data yang digunakan adalah data bulan Desember 2006, Januari 2007, dan Februari 2007.



Gambar 3-2: Lokasi pengambilan data radiosonde
(Sumber: <http://weather.uwyo.edu/upperair/seasia.html>)

3.2 Metode Analisis

Metode yang digunakan dalam makalah ini membandingkan data satelit FORMOSAT-3 dengan data radiosonde daerah kawasan Indonesia yaitu daerah yang dilalui satelit FORMOSAT-3, khususnya pada bulan Desember 2006 hingga Februari 2007, lalu membandingkan profil suhu vertikal atmosfer antara satu daerah dengan daerah lain di kawasan Indonesia. Hasil yang diharapkan adalah kesesuaian antara data hasil pengamatan satelit FORMOSAT-3 dengan data yang dihasilkan oleh pengamatan radiosonde serta dapat diketahui profil suhu vertikal atmosfer pada masing-masing daerah di kawasan Indonesia. Adapun kawasan Indonesia yang dimaksud dalam makalah ini adalah Padang, Medan, Pangkal Pinang dan Ujung Pandang. Pemilihan kawasan ini didasari pada pemikiran bahwa kawasan ini memiliki data radiosonde yang relatif lengkap dan juga memiliki kualitas data yang relatif baik bila dibandingkan stasiun lainnya.

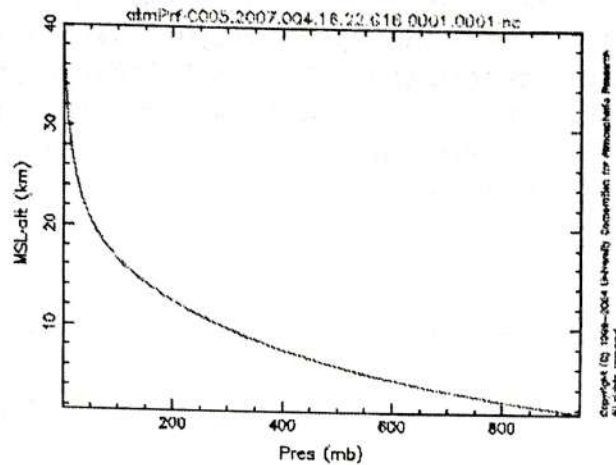
Yang perlu diketahui adalah bahwa kami telah menyeleksi dengan seksama agar waktu pengamatan antara data satelit FORMOSAT-3 dengan peluncuran radiosonde adalah sama atau hampir sama, yakni ketika satelit melintasi kawasan yang ditinjau itu di atas stasiun Padang, Medan, Pangkal Pinang, dan Ujung Pandang selama satu hingga dua jam sejak radiosonde tadi diluncurkan. Selain itu, kami juga menganalisis pengamatan secara simultan perbandingan antara data FORMOSAT-3 dengan data radiosonde sebanyak sembilan kali peluncuran terhitung sejak 10 April hingga 9 Mei 2004.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Profil Atmosfer Berdasarkan Data Satelit FORMOSAT-3/COSMIC

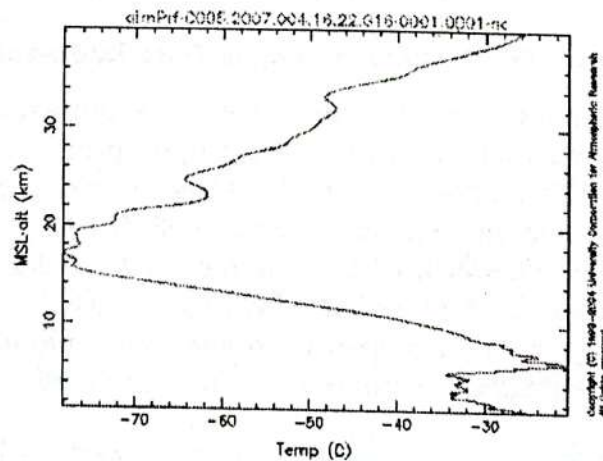
Pengamatan yang dilakukan untuk mengukur kondisi atmosfer secara vertikal telah menjadi aspek yang penting dalam kegiatan peramalan cuaca. Data tentang profil atmosfer secara vertikal biasanya diperoleh dari pengamatan peluncuran radiosonde yang dilakukakan di titik-titik tertentu di permukaan bumi. Seringkali data tersebut belum dapat mewakili kondisi atmosfer secara global. Satelit FORMOSAT-3 melakukan pengamatan profil atmosfer secara vertikal dalam skala global. Data yang dihasilkan dapat berupa plot grafik yang menggambarkan kondisi atmosfer pada saat pengamatan. Data-data tersebut antara lain data profil suhu dan tekanan.

Profil tekanan udara sangat dipengaruhi oleh gravitasi bumi (Riehl 1978). Tekanan udara akan mengalami penurunan secara seragam dengan bertambahnya ketinggian. Selain itu, tekanan juga akan bervariasi tergantung suhu lingkungan sekitar. Variabilitas tekanan secara vertikal ini akan sangat nyata terlihat bila dibandingkan variabilitas tekanan secara horizontal.



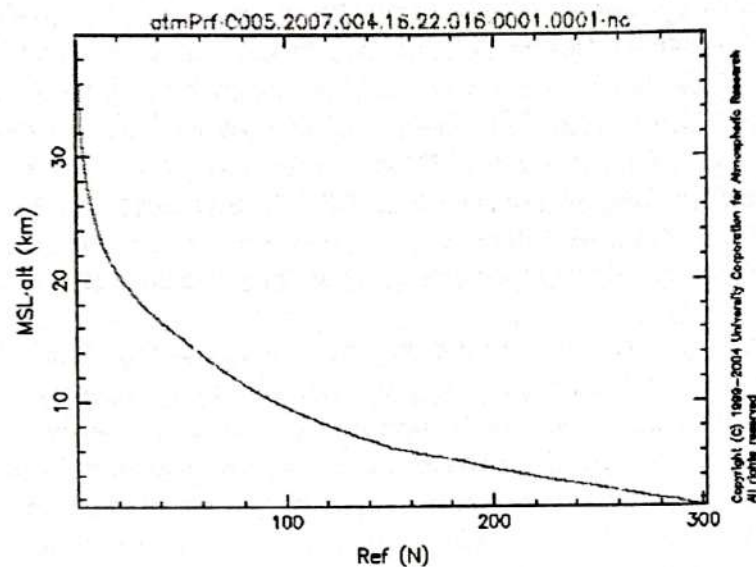
Gambar 4-1: Profil tekanan berdasarkan FORMOSAT-3 (1.92°-3.48° LS dan 102.76°-102.60° BT)
(Sumber: <http://tacc.cwb.gov.tw/en/index.htm>)

Pada lapisan atmosfer standar, suhu akan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya ketinggian sampai pada lapisan tropopause. Pada lapisan troposfer sekitar 1 sampai 2 kilometer lapisan terbawah memiliki karakteristik yang berbeda dengan bagian troposfer lainnya. Pada lapisan bawah, pengaruh permukaan sangat berpengaruh terhadap keadaan suhu udara (Stephens 1994). Pada lapisan ini dikenal dengan *atmospheric boundary layer*. Pada bagian troposfer di ketinggian sekitar lebih dari 2 kilometer, suhu akan mengalami penurunan secara seragam.



Gambar 4-2: Profil suhu berdasarkan FORMOSAT-3 (1.92°-3.48° LS dan 102.76°-102.60° BT)
(Sumber: <http://tacc.cwb.gov.tw/en/index.htm>)

Selain kedua profil di atas, dari data FORMOSAT-3 juga didapatkan profil refraktivitas atmosfer yang terkait erat dengan kerapatan udara dan juga suhu udara. Refraktivitas ini dapat menggambarkan kelembaban udara pada sekitar daerah pengamatan. Data refraktivitas yang dihasilkan FORMOSAT-3 memiliki standar deviasi kurang dari 5% pada ketinggian antara 2 sampai 25 kilometer dan standar deviasi kurang dari 1% pada ketinggian 5 sampai 25 kilometer.

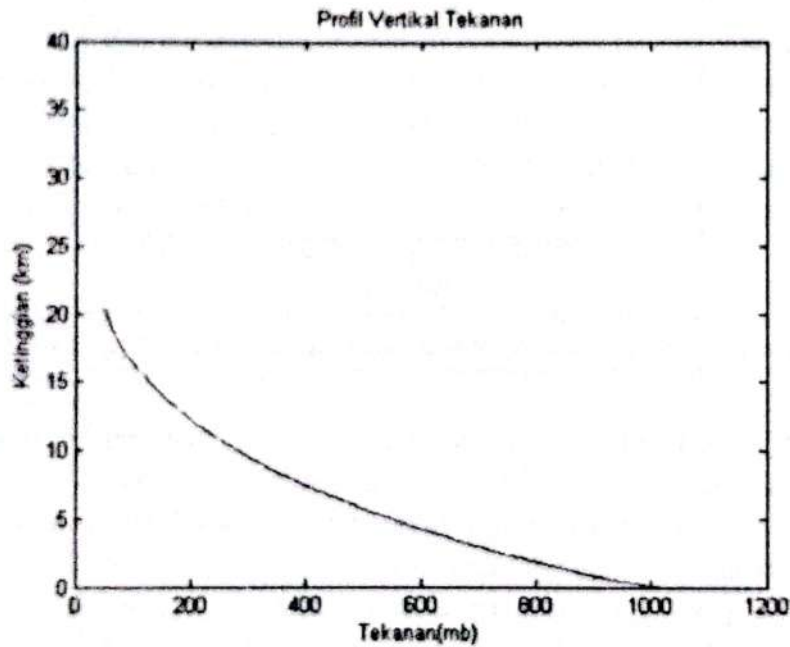
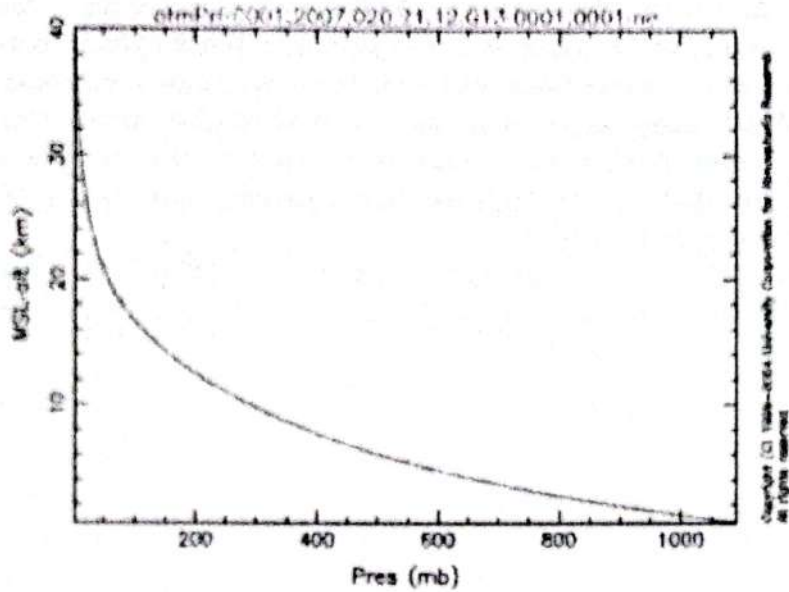


Gambar 4-3: Profil refraktivitas berdasarkan FORMOSAT-3 (1.9° 2-3.48° LS dan 102.76°-102.60° BT)
(Sumber: <http://tacc.cwb.gov.tw/en/index.htm>)

4.2 Perbandingan Data FORMOSAT-3 dengan Data Radiosonde

Untuk mendapatkan hasil yang tepat, pemanfaatan data satelit FORMOSAT-3 yang digunakan untuk mengetahui profil vertikal atmosfer dapat dipadukan dengan data radiosonde. Data radiosonde di sini dapat digunakan sebagai perbandingan dari data FORMOSAT-3. Hal tersebut disebabkan oleh data FORMOSAT-3 yang merupakan data satelit dapat mengalami kesalahan-kesalahan akibat adanya gangguan. Sedangkan data radiosonde merupakan data yang akurat karena pengamatannya dilakukan secara langsung sehingga perpaduan data keduanya dapat saling melengkapi.

Dalam studi kasus ini diambil data FORMOSAT-3 pada tanggal 20 Januari 2007 yang diambil di sekitar daerah Padang, Sumatera barat dan sebagai perbandingan diambil data radiosonde pada tanggal dan tempat yang sama. Hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut,

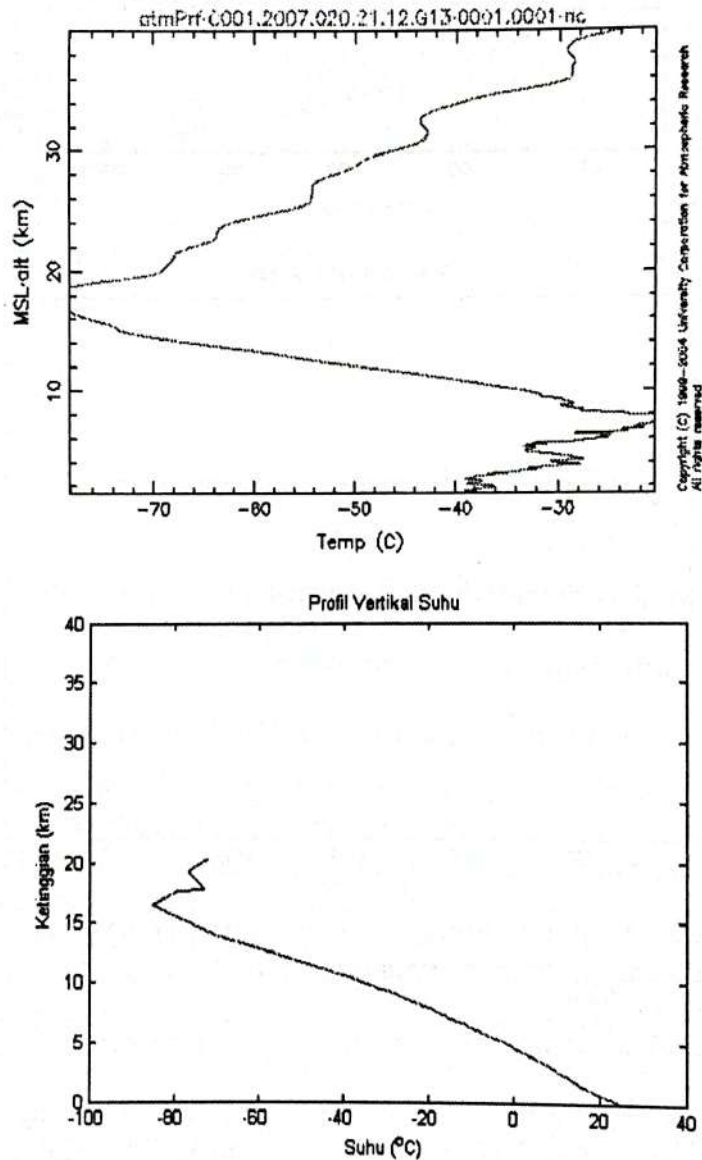


Gambar 4-4: Profil tekanan atmosfer dari data FORMOSAT-3 dan data radiosonde daerah Padang (0.35° -2.11° LS dan 102.68° - 102.78° BT)
(Sumber: <http://tacc.cwb.gov.tw/en/index.htm>)

Dari kedua profil tersebut dapat dilihat tidak terlalu banyak perbedaan data yang diperoleh. Nilai tekanan akan berkurang dengan bertambahnya ketinggian. Satelit FORMOSAT-3 dapat melakukan pengukuran sampai ketinggian sekitar 40 kilometer sedangkan radiosonde hanya dapat menyajikan data pada ketinggian sekitar 20 kilometer. Namun, dari profil

tekanan berdasarkan data FORMOSAT-3, nilai tekanan pada daerah permukaan dianggap kurang tepat apabila dibandingkan dengan data radiosonde. Pada data radiosonde, nilai tekanan pada permukaan air laut sekitar 1012 mb sedangkan pada data FORMOSAT-3, nilai tekanan pada ketinggian 0 meter di atas permukaan laut dapat mencapai 1050 mb. Oleh karena itu diperlukan faktor kalibrasi dalam penggunaan data FORMOSAT-3 untuk pengamatan lebih lanjut.

Selain profil tekanan, penggabungan data FORMOSAT-3 dengan data radiosonde dapat dilakukan pada profil suhu. Perbandingan kedua data tersebut adalah sebagai berikut,



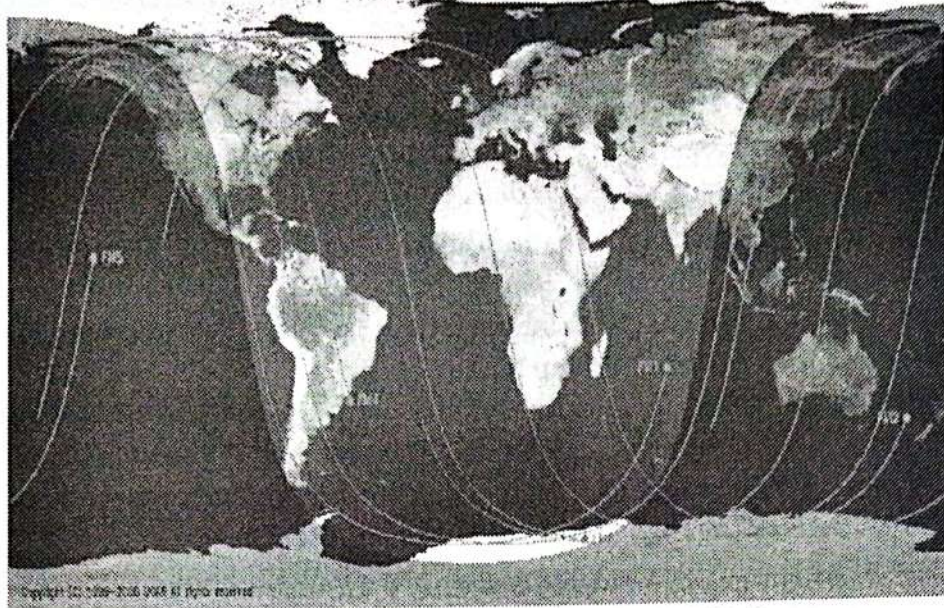
Gambar 4-5: Profil suhu berdasarkan data FORMOSAT-3 dan radiosonde di kawasan Padang (0.35° - 2.11° LS dan 102.68° - 102.78° BT) (Sumber: <http://tacc.cwb.gov.tw/en/index.htm>)

Pada kedua profil di atas terlihat sekali perbedaan antara data yang dihasilkan FORMOSAT-3 dan data yang dihasilkan oleh radiosonde. Pada data radiosonde, penurunan suhu terjadi secara seragam dan berpola sampai pada ketinggian 17 kilometer. Setelah pada ketinggian 17 kilometer, suhu baru mengalami inversi. Sedangkan pada data FORMOSAT-3 terdapat pola yang tidak seragam pada ketinggian 0 sampai 8 kilometer. Pada ketinggian tersebut, data FORMOSAT-3 menunjukkan terjadi fluktuasi suhu. Pada ketinggian sekitar 2 kilometer terjadi penurunan suhu kemudian disusul pada ketinggian 2 sampai 5 kilometer terjadi inversi. Pola tersebut berulang sampai ketinggian sekitar 8 kilometer.

Perbedaan pola profil suhu antara data FORMOSAT-3 dengan data radiosonde dapat dimengerti mengingat sistem kerja satelit FORMOSAT-3 berdasarkan waktu tenggang (*delay time*) antara gelombang yang dipancar (*transmitt*) dengan yang diterima (*receive*) oleh sensor yang sangat dipengaruhi oleh banyaknya kandungan uap air (baik kering maupun basah) yang ada di permukaan bumi sebelum akhirnya dapat diubah menjadi parameter suhu. Hal ini dapat dimengerti mengingat proses konveksi berawal dari pemanasan bumi yang sangat intensif oleh matahari dimana sekitar 70% permukaan bumi diselimuti oleh laut. Perbedaan pola ini terjadi pada ketinggian permukaan yaitu sekitar di bawah 8 kilometer. Di atas ketinggian 8 kilometer, kondisi *lapse rate* kembali terjadi dan berlangsung secara berkesinambungan sampai ketinggian 17 kilometer.

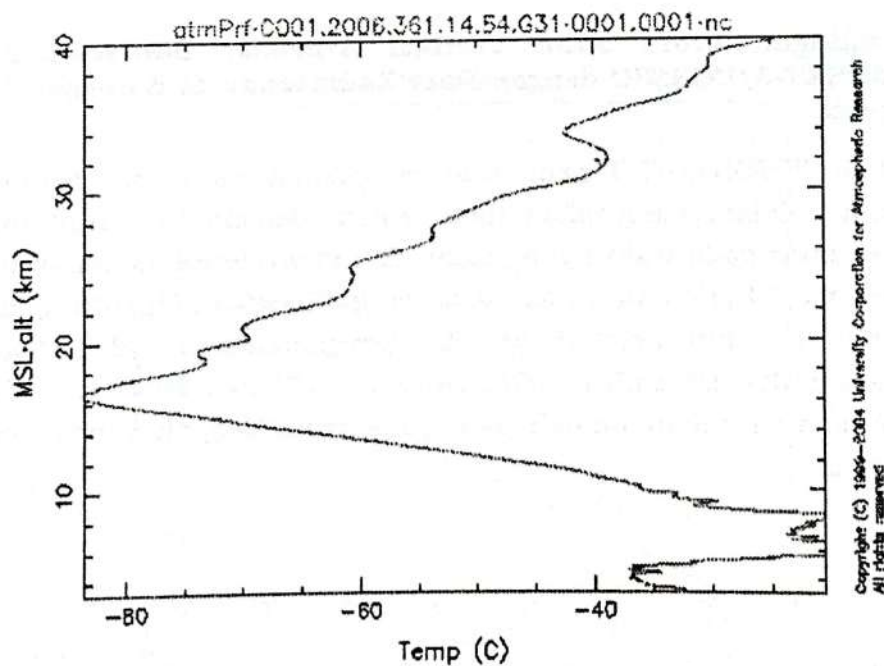
4.3 Perbandingan Profil Suhu Vertikal Atmosfer Berdasarkan Data FORMOSAT-3/COSMIC dengan Data Radiosonde di Berbagai Wilayah Indonesia

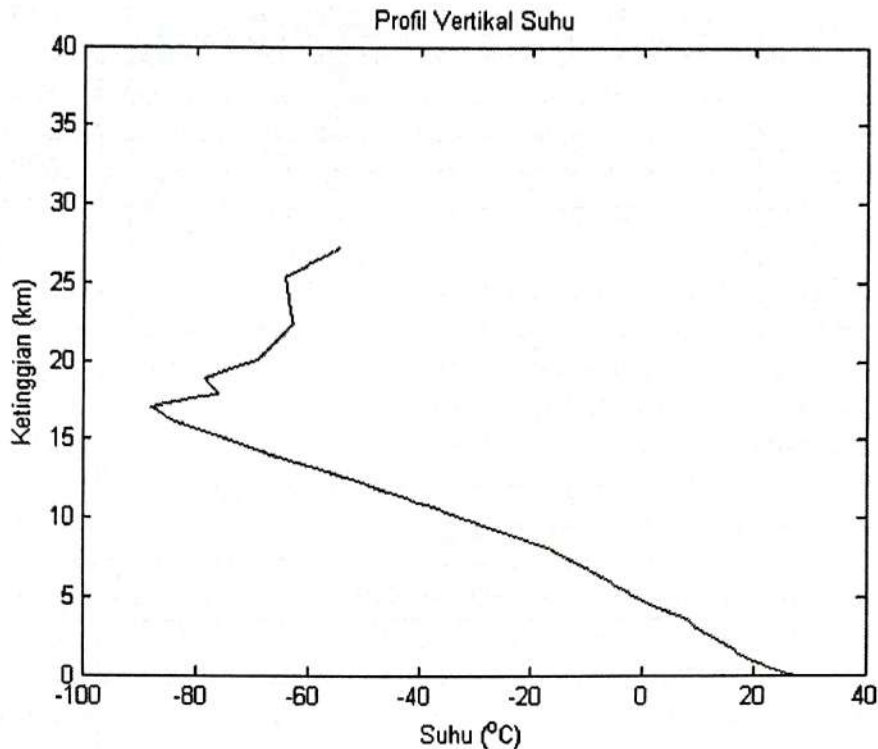
Satelit FORMOSAT-3 pada saat pengkajian ini masih belum pada tahap optimal dalam menyajikan data. Satelit dengan tipe orbit ini akan melintasi equator pada waktu yang sama dan menyelesaikan setiap putaran orbitnya selama 24 jam dan jumlah data yang dihasilkan tergantung lamanya waktu satelit tersebut kembali ke titik pengamatan semula. Data yang diambil pada bulan Desember 2006, Januari 2007 dan Februari 2007 juga masih belum menyajikan jumlah data yang tepat dengan bentuk lintasan sebagai berikut.



Gambar 4-6:Lintasan orbit FORMOSAT-3
(Sumber: <http://tacc.cwb.gov.tw/en/index.htm>)

Pada studi kasus ini diambil contoh profil atmosfer khususnya profil suhu. Pengambilan contoh dilakukan pada daerah Medan, Pangkal Pinang, Ujung Pandang, dan Padang. Profil suhu vertikal pada daerah Medan adalah sebagai berikut,

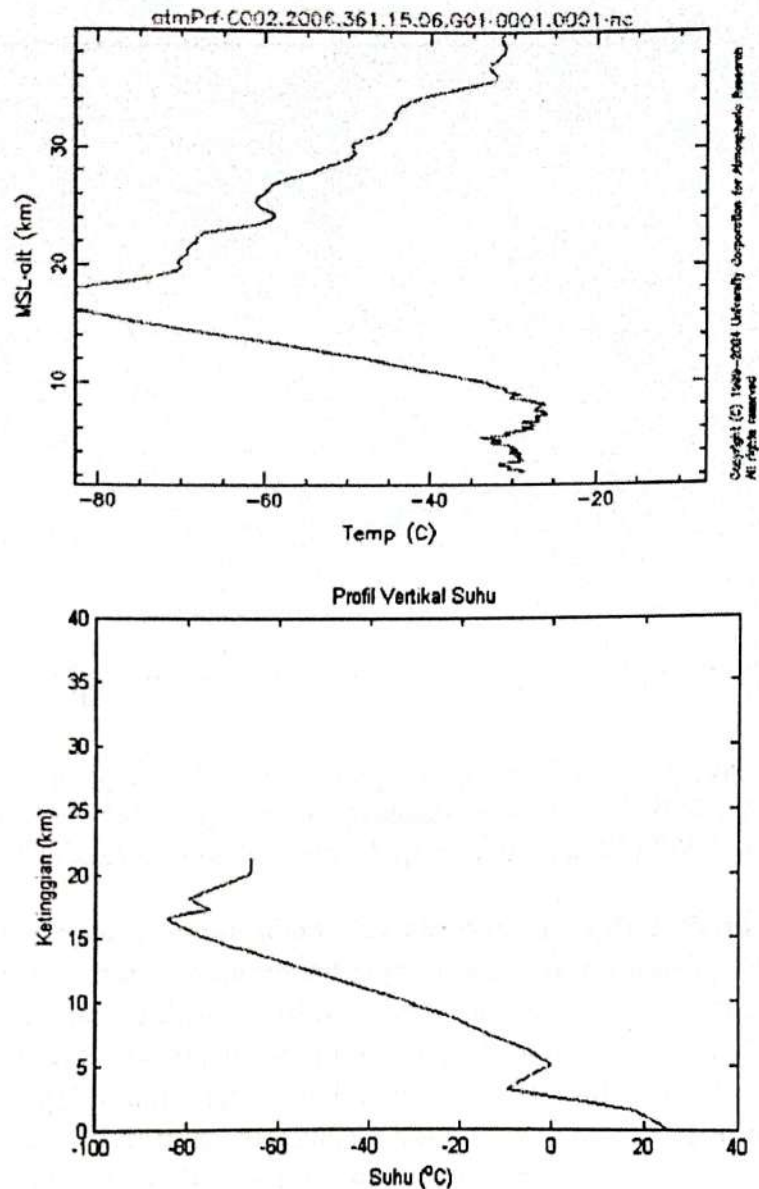




Gambar 4-7: Profil suhu vertikal pada daerah Medan Berdasarkan FORMOSAT-3 dan Radiosonde (2.13° - 3.14° LU dan 97.90° - 98.05° LS) (Sumber: <http://tacc.cwb.gov.tw/en/index.htm>)

Data profil suhu di atas diambil pada tanggal 26 Desember 2007 dengan waktu pengamatan yang hampir bersamaan. Dari kedua plot grafik di atas dapat dilihat bahwa profil suhu vertikal berdasarkan data FORMOSAT-3 hampir sama dengan data berdasarkan Radiosonde. Pada profil suhu vertikal atmosfer tersebut, batas ketinggian lapisan troposfer tercapai sekitar 17 kilometer. Setelah ketinggian sekitar 17 kilometer, suhu mengalami inversi yang menandakan bahwa lapisan tersebut sudah memasuki lapisan stratosfer. Apabila kedua data FORMOSAT-3 dan radiosonde diamati dengan lebih jauh, maka dapat dilihat bahwa FORMOSAT-3 menghasilkan data suhu lebih teliti. Fluktuasi suhu yang tidak terlalu besar dapat digambarkan oleh FORMOSAT-3. Hal tersebut disebabkan parameter suhu berdasarkan FORMOSAT-3 diturunkan dari besaran refraktivitas.

Daerah kajian berikutnya adalah Pangkal Pinang. Profil suhu vertikal atmosfer berdasarkan satelit FORMOSAT-3 dan Radiosonde dapat dilihat pada plot grafik di bawah ini.



Gambar 4-8: Profil suhu vertikal pada daerah Pangkal Pinang berdasarkan FORMOSAT-3 dan Radiosonde (1.93°-4.37° LS dan 105-89°-106.40° BT) (Sumber: <http://tacc.cwb.gov.tw/en/index.htm>)

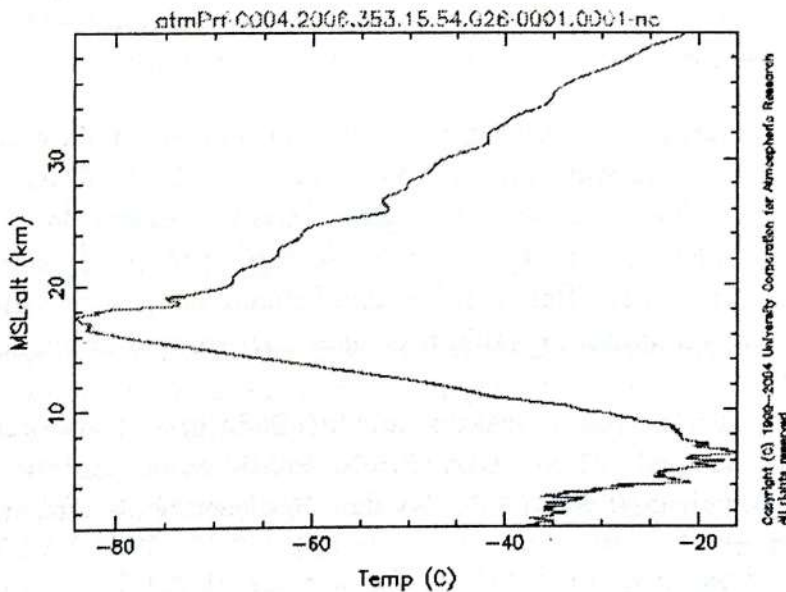
Daerah Pangkal Pinang merupakan wilayah pulau kecil dengan batasan selat dengan pulau Sumatera sehingga pengaruh lautan sangat besar pada daerah ini. Data profil suhu diambil pada tanggal 26 Desember 2006. Berdasarkan kedua plot data di atas maka dapat dilihat bahwa lapisan tropopause terdapat pada ketinggian sekitar 17 kilometer. Ketinggian tropopause daerah Pangkal Pinang ini sama dengan ketinggian tropopause pada daerah Medan karena perbedaan posisi kedua daerah ini tidak terlalu jauh.

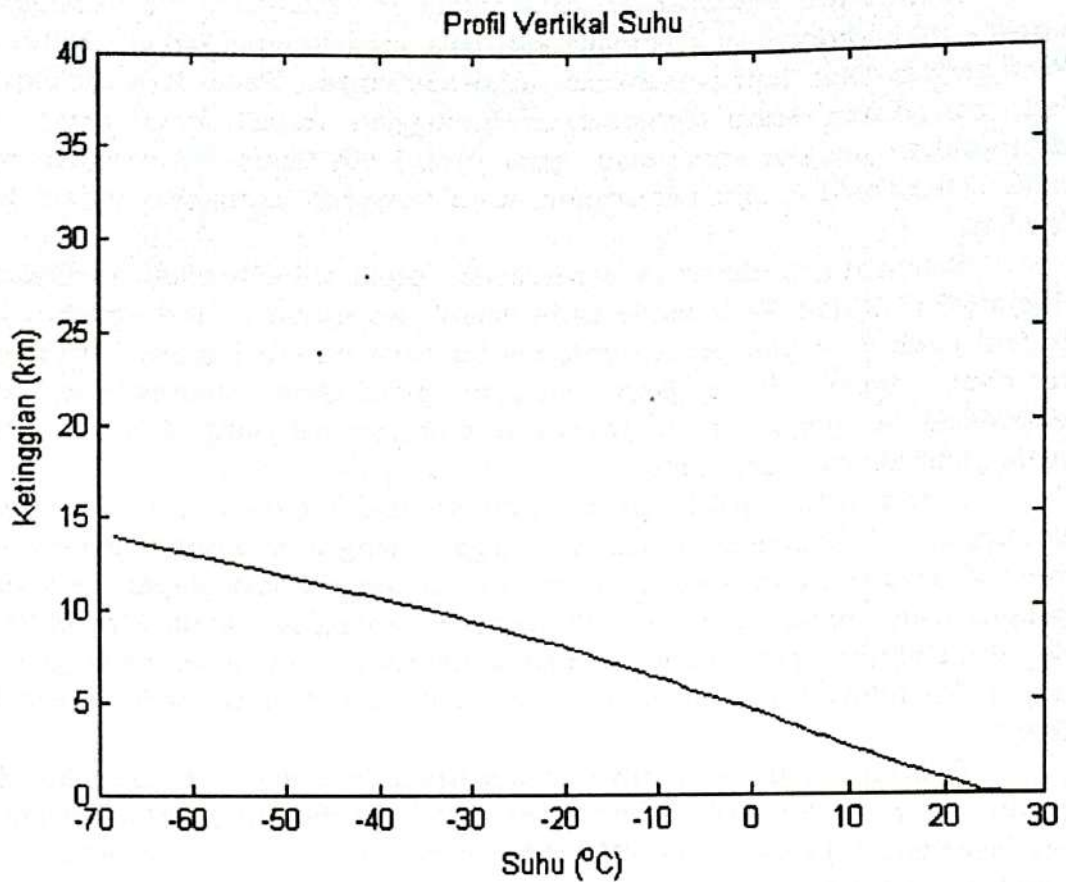
Profil suhu berdasarkan data satelit FORMOSAT-3 dan Radiosonde apabila dibandingkan maka didapatkan pola yang hampir sama. Perbedaan kecil terjadi pada laju penurunan suhu keduanya. Pada data radiosonde, laju penurunan suhu berdasarkan ketinggian terjadi lebih cepat yang ditunjukkan dengan kemiringan garis yang lebih tajam. Sedangkan pada data FORMOSAT-3 laju penurunan suhu terhadap ketinggian terjadi lebih lambat.

Selain itu, terdapat pula perbedaan profil suhu vertikal berdasarkan FORMOSAT-3 dan Radiosonde pada daerah permukaan. Hal tersebut juga terjadi pada data plot profil vertikal suhu pada daerah lainnya. Perbedaan tersebut dapat dihilangkan dengan melakukan penyesuaian data FORMOSAT-3 dengan faktor koreksi tertentu seperti yang telah disebutkan pada pembahasan sebelumnya.

Berdasarkan kedua profil suhu vertikal tersebut, setelah tercapai ketinggian 17 kilometer, suhu lingkungan mengalami inversi dengan pola yang identik pada keduanya. Namun Radiosonde hanya dapat melakukan pengukuran sampai ketinggian 25 kilometer sedangkan satelit FORMOSAT-3 dapat melakukan pengamatan sampai ketinggian 40 kilometer sehingga tidak dapat dibandingkan lebih lanjut pola profil suhu vertikal pada kedua tipe data.

Daerah kajian berikutnya adalah Ujung Pandang. Pengambilan data dilakukan pada tanggal 19 Desember 2006. Profil suhu vertikal atmosfer berdasarkan data satelit FORMOSAT-3 dan Radiosonde digambarkan pada grafik berikut ini,

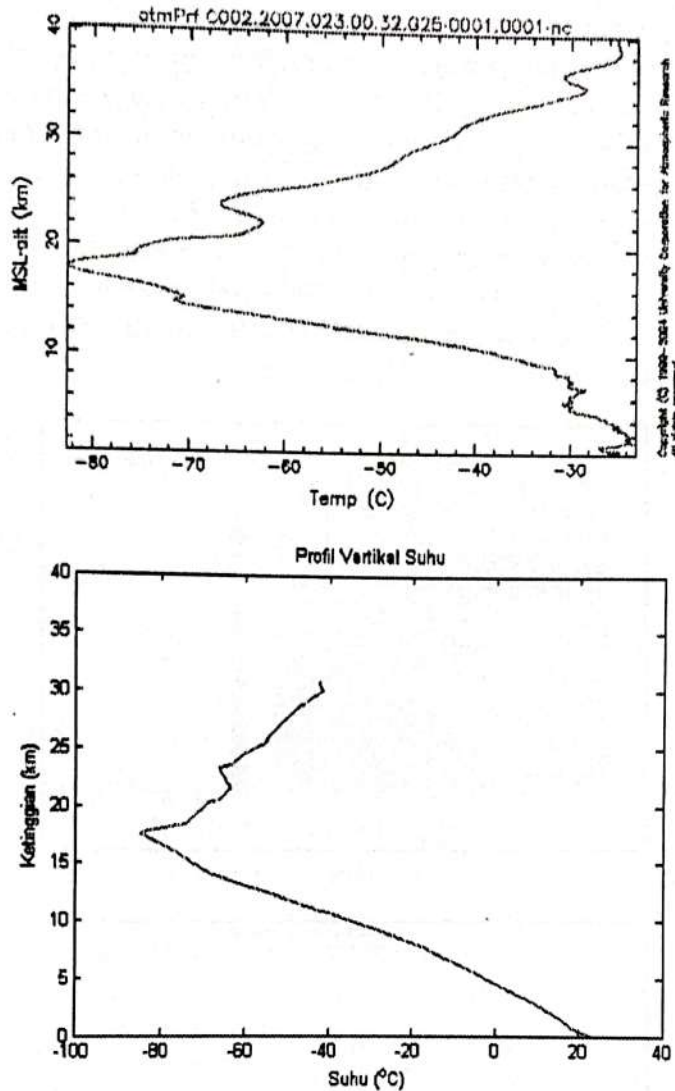




Gambar 4-9: Profil suhu pada Ujung Pandang berdasarkan FORMOSAT-3 dan Radiosonde (1.93°-4.37° LS dan 105.89°-106.40° BT) (Sumber: <http://tacc.cwb.gov.tw/en/index.htm>)

Berdasarkan profil di atas dapat dilihat kesamaan pola dengan profil suhu vertikal pada daerah lainnya. Pada data satelit FORMOSAT-3 pola penurunan suhu berdasarkan ketinggian terjadi sampai ketinggian 18 kilometer. Sedangkan data Radiosonde, daerah *lapse rate* tercapai pada ketinggian 15 kilometer. Hal tersebut disebabkan pada saat pengamatan, Radiosonde hanya mampu melakukan pengukuran sampai ketinggian sekitar 15 kilometer.

Daerah kajian yang terakhir adalah Padang. Data pengamatan diambil pada tanggal 23 Januari 2007. Profil suhu vertikal atmosfer berdasarkan data satelit FORMOSAT-3 dan Radiosonde digambarkan pada grafik berikut ini.

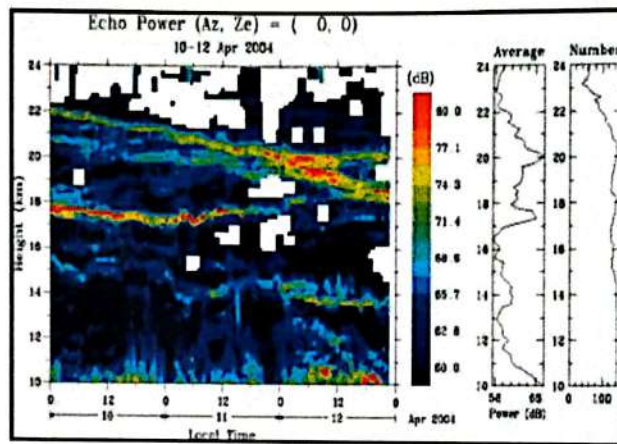


Gambar 4-10: Profil suhu pada daerah Padang berdasarkan FORMOSAT-3 dan Radiosonde (0.92° - 2.56° LS dan $118-96^{\circ}$ - 119.34° BT) (Sumber: <http://tacc.cwb.gov.tw/en/index.htm>)

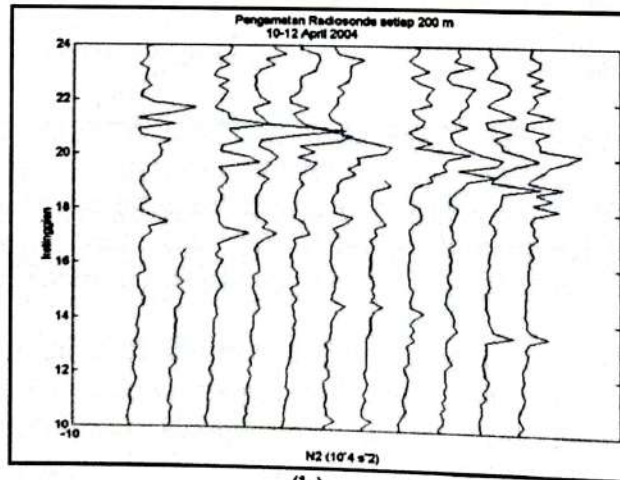
Berdasarkan kedua profil suhu vertikal di atas didapatkan bahwa lapisan tropopause tercapai pada ketinggian sekitar 18 kilometer dengan suhu permukaan sekitar 24° C. Pola profil berdasarkan data satelit FORMOSAT-3 dan data Radiosonde hampir sama. Laju penurunan suhu pada data Radiosonde lebih cepat dibandingkan dengan data FORMOSAT-3. Satelit FORMOSAT-3 menggambarkan fluktuasi suhu lebih detail dibandingkan Radiosonde. Apabila dibandingkan dengan daerah sebelumnya yaitu Medan dan Pangkal Pinang, ketinggian lapisan troposfer pada ketiga daerah tersebut tercapai pada ketinggian yang sama yaitu sekitar 17 sampai 18 kilometer. Kesamaan pola ini dapat disebabkan posisi ketiga lokasi yang

tidak terlalu berjauhan.

Untuk mendapatkan analisis yang lebih tajam, maka dilakukanlah uji validasi antara data satelit FORMOSAT-3 dengan data Radiosonde. Adapun parameter yang dibandingkan adalah parameter *Brunt Väisälä Frequency Squared* (N^2) sebagai parameter utama untuk mengkaji adanya pengaruh gaya apung (*buoyancy*) di “sekitar” lapisan tropopause. Perlu diketahui bahwa, data yang kami bandingkan adalah parameter N^2 hasil analisis data Radiosonde Medan tanggal 10-12 April 2004 dengan fokus penajaman hanya di “sekitar” lapisan tropopause (antara 16-19 km di atas permukaan laut) seperti nampak pada Gambar 4-11 berikut ini.



(a)



(b)

Gambar 4-11: Profil vertikal N^2 hasil penurunan data suhu FORMOSAT-3 (a), sementara (b) hasil penurunan data Radiosonde Medan

Seperti terlihat pada Gambar 4-11 di atas, secara kasat mata terlihat bahwa profil vertikal N^2 yang dihasilkan FORMOSAT-3 ternyata memiliki pola yang serupa dengan nilai N^2 yang diturunkan dari data Radiosonde dengan koefisien korelasi sebagai berikut:

Tabel 4-1: NILAI KOEFISIEN KORELASI ANTARA N² FORMOSAT3 DENGAN N² RADIOSONDE DI ATAS MEDAN PERIODE 10 APRIL - 9 MEI 2004

Rata-Rata Nilai Korelasi Antara N ² FORMOSAT-3 dengan N ² Radiosonde untuk setiap Pengamatan pada jam 00:00		
Tanggal	Ketinggian (km)	Nilai Koefisien Korelasi
10-Apr-04	17.5-18.1	0.83
12-Apr-04	17.5-18.1	0.62
27-Apr-04	17.1-18.0	0.82
30-Apr-04	17.1-17.8	0.70
2-Mei -04	16.0-17.2	0.91
3-Mei -04	17.5-18.3	0.97
4-Mei-04	17.1-18.3	0.62
8-Mei-04	17.5-18.0	0.99
9-Mei-04	17.2-18.3	0.80
Nilai Korelasi Rata-Rata		0.81

5 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perbandingan data satelit FORMOSAT-3 dengan data Radiosonde didapatkan bahwa hampir sebagian besar profil atmosfer berdasarkan satelit FORMOSAT-3 sama dengan profil atmosfer berdasarkan Radiosonde, terutama untuk analisis profil vertikal suhu atmosfer. Memang diperoleh adanya perbedaan antara kedua data tersebut, terutama pada lapisan atmosfer permukaan (di bawah 8 km di atas permukaan laut). Kami menduga, hal ini disebabkan adanya pengaruh kandungan uap air yang ada di permukaan bumi. Oleh karena itu, analisis kami fokuskan ke lapisan yang relatif lebih tinggi (di "sekitar" lapisan tropopause). Kami mendapatkan adanya korelasi yang baik antara kedua jenis instrumen tersebut, yakni dengan koefisien korelasi rata-rata sekitar 0.81 untuk analisis parameter *Brunt Väisälä Frequency Squared* (N²) hasil penurunan data satelit FORMOSAT-3 dengan data Radiosonde di atas Medan.

Selain itu, kami dapatkan bahwa data satelit FORMOSAT-3 ternyata dapat digunakan untuk kawasan yang tidak memiliki data Radiosonde, seperti daerah pedalaman Kalimantan atau di atas Lautan, sehingga kegiatan prediksi cuaca dapat dilakukan dengan baik. Sedangkan kekurangannya adalah FORMOSAT-3 tidak mampu melakukan pengamatan pada satu titik lokasi yang sama setiap harinya, mengingat satelit ini berorbit polar. Namun hal tersebut dapat terwakili dengan data di sekitar lokasi yang tersedia.

DAFTAR RUJUKAN

- Anonim, 2005. FORMOSAT-3. <http://www.nspo.org.tw/2005e/index.php>. [13 Juli 2007].
- Anonim, 2006. FORMOSAT-3/COSMIC Mission and Data Characteristic. <http://140.115.111.70/CAWSES-AOPR/U1.pdf>. [31 Juli 2007].
- Anonim, 2007. Radiosonde. <http://www.keesfloor.nl/elmar/3atmosfeer/3sonde2.jpg>. [13 Agustus 2007].
- Anonim, 2007. *Wilayah Geografi Indonesia*. http://id.wikipedia.org/wiki/Geografi_Indonesia. [17 Agustus 2007].
- Anonim, 2007. *Data Tools FORMOSAT-3*. <http://tacc.cwb.gov.tw/en/index.htm> [30 Juli 2007].
- Anonim, 2007. Data radiosonde. <http://weather.uwyo.edu/upperair/seasia.html> [30 Juli 2007].
- Ho, Tiffany, 2006. FORMOSAT-3/COSMIC Data Availability on TACC Website and Usage. *Second capacity Building Workshop of Space Science for Southeast Asian Scientist*; Taiwan, 30 Oktober-7 November 2006. Republic of China: National Central University.
- Manurung, Perluhutan dkk., 1997. *Estimasi TZD Berdasarkan Data Pengamatan GPS di Indonesia*. Jakarta: Bakosurtanal.
- Riehl, Herbert, 1978. *Introduction to The Atmosphere*. Tokyo: Mc. Graw Hill Kogakusha, LTD.
- Stephens, Graeme L., 1994. *Remote Sensing of The Lower Atmosphere*. New York : Oxford university Press, Inc.
- Yen, L.G., 2006. FORMOSAT-3/COSMIC Mission Overview. *Second capacity Building Workshop of Space Science for Southeast Asian Scientist*; Taiwan, 30 Oktober-7 November 2006. Republic of China : National Central University.