

PENGAMATAN GAS RUMAH KACA MENGGUNAKAN WAHANA SATELIT

Toni Samiaji

Peneliti Bidang Komposisi Atmosfer, LAPAN
e-mail: toni_s@bdg.lapan.go.id

RINGKASAN

Pada umumnya sensor pada satelit memanfaatkan penyerapan sinar infra merah yang datang dari Bumi, Matahari atau Bulan untuk mengukur konsentrasi sebuah gas. Metode pengukuran menggunakan sensor ini ada 4 macam yakni nadir, limb, pengaburan dan kombinasi antara nadir dengan limb. Metode-metode tersebut mempunyai kelebihan dan kekurangan, masing-masing saling menunjang dan melengkapi terkait resolusi dan rentang pengukuran sensor yang bermacam-macam pada satelit. Demikian juga masing-masing sensor mempunyai kelebihan dan kekurangan, misalnya sensor Hirdls mempunyai kemampuan dapat mengukur CFC yang tak dapat diukur oleh sensor lainnya. Sensor TES dapat mengukur sampai permukaan, sedangkan sensor *Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Chartography* (Schiapachy) mempunyai resolusi yang tinggi, dengan kemampuan dapat melakukan pengukuran kolom total CO₂. Sensor Airs dapat melakukan pengukuran CO₂ troposfer. Kemudian data profil N₂O dapat diperoleh dari sensor MLS dan data profil H₂O diperoleh dari sensor TES dengan metode nadir, sedangkan dari sensor MLS diperoleh dengan metode limb. Pada pengukuran dengan sensor TES diperoleh pengukuran untuk area sedangkan pengukuran oleh sensor MLS didapatkan pengukuran untuk titik koordinat (lokasi), sehingga masing-masing sensor ini saling menunjang dan melengkapi untuk sebuah pilihan dalam suatu penelitian.

1 PENDAHULUAN

Gas rumah kaca (GRK) adalah gas yang mempunyai efek rumah kaca berupa gelombang pendek (infra merah) yang datang dari Bumi kemudian dipantulkan kembali ke Bumi sehingga menyebabkan pemanasan suhu permukaan Bumi. Oleh karena itu dengan adanya efek rumah kaca yang menjadi salah satu faktor penyebab perubahan iklim, maka perubahan konsentrasi gas rumah kaca perlu dipantau secara terus menerus. Tujuan tulisan ini untuk memberikan wawasan yang lebih luas mengenai pengukuran gas rumah kaca dan gas telusur lainnya yang bisa dijadikan sebagai sumber data untuk penelitian. Untuk pemantauan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer secara global dilakukan pemantauan jarak jauh (*remote sensing*) dan pengukuran *in situ* sebagai perbandingan. Sebagai contoh

data profil N₂O stratosfer hasil sensor *Microwave Limb Sounders* (MLS) yang ditumpangkan pada satelit Aura, bila dibandingkan dengan hasil pengukuran *in situ* FIRS-2, JPL MkIV dan SLS-2 mempunyai keakuratan pada satu buah profil sekitar 9-25 % [Lambert, 2007].

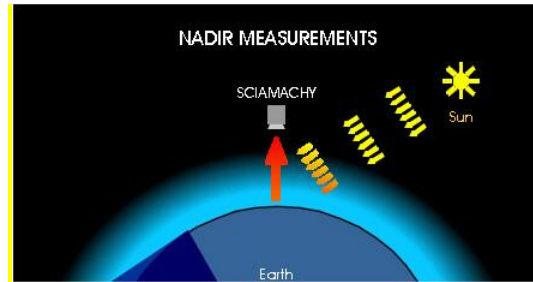
Data-data hasil pengukuran jarak jauh (satelit) umumnya terbuka untuk umum, kecuali ada beberapa data tertentu yang penggunaannya harus tercatat sebagai anggota. Untuk memperoleh data tersebut biasanya kita tinggal mengunduh dari situsnya, namun kadang-kadang data hasil sensor pada satelit ini mempunyai kapasitas yang besar sehingga untuk mengunduhnya diperlukan kecepatan internet yang tinggi dan lancar. Oleh karena itu sebelum mengunduh kita perlu menentukan cakupan area terlebih dahulu, sehingga kapasitas yang akan diunduh tidak terlalu besar dan waktu

yang diperlukan untuk mengunduh pun tidak terlalu lama.

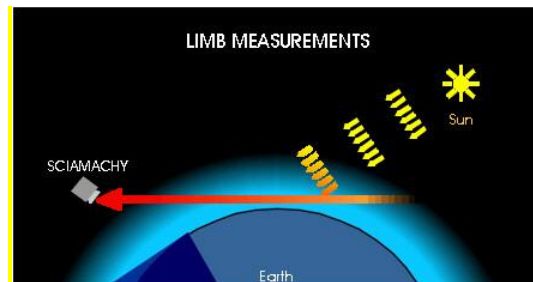
Format data hasil pengukuran sensor yang ditumpangkan pada satelit bermacam-macam, oleh karena itu diperlukan perangkat untuk membuka dan membacanya sehingga data bisa diolah. Misalnya format data dari sensor MLS dan HirdIs berbentuk hdf, maka untuk membukanya diperlukan perangkat *hdf view* atau *hdf explorer*.

Metode pengukuran oleh sensor yang ditumpangkan pada satelit umumnya dibagi menjadi 4 metode pengukuran yaitu dengan nadir, limb, pengaburan Matahari/Bulan dan kombinasi nadir dengan limb. Pada metode nadir, satelit memindai atmosfer tepat di bawahnya dari permukaan hingga ketinggian 960 km dengan resolusi 26 km x 15 km. Pada metode limb, satelit mengukur komponen atmosfer secara horizontal yakni dari ujung atmosfer yang satu ke yang lainnya. Metode Limb ini dalam 1 pindai mempunyai ketebalan atmosfer yang diukur sebesar 2,6 km. Tingginya pengukuran hingga ketinggian 960 km. Prinsip kerja metode pengaburan Matahari/Bulan sebenarnya hampir sama dengan metode limb, hanya di depan satelit arah horizontal terdapat Matahari atau Bulan. Pada metode ini berat jenis atmosfer bisa diperoleh dengan cara mengukur radiasi Matahari/Bulan sebelum masuk atmosfer dibandingkan dengan radiasi yang telah melewati atmosfer. Metode ini bila dilakukan saat Matahari terbit akan memperoleh pengukuran pada lintang 65° utara hingga 90° utara, sedangkan bila saat Bulan terbit akan memperoleh pengukuran pada lintang 30° selatan hingga 90° selatan. Metode pengaburan Matahari/Bulan ini dapat menghasilkan nilai total kolom untuk gas telusur, awan dan aerosol. Bila ingin memperoleh pengukuran komposisi atmosfer secara vertikal dan total kolom untuk masing-masing daerah maka digunakan metode gabungan nadir dengan limb. Untuk

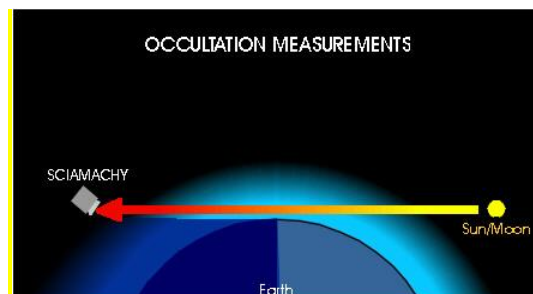
lebih jelasnya metode pengukuran ini bisa dilihat pada Gambar 1-1 sampai 1-4.



Gambar 1-1: Pengukuran metode nadir



Gambar 1-2: Pengukuran secara limb



Gambar 1-3: Pengukuran secara pengaburan



Gambar 1-4: Pengukuran secara kombinasi nadir dengan limb

2 PEROLEHAN DATA GAS RUMAH KACA DARI SATELIT ENVISAT

Pengukuran CO₂ dapat dilakukan dengan sensor Schimachy yang ditumpangkan pada satelit Envisat atau sensor Airs yang ditumpangkan pada satelit Aqua.

Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Chartography (Schiamachy) merupakan spektrometer untuk mengambil gambar pengukuran gas telusur global di troposfer maupun stratosfer. Radiasi Matahari yang diteruskan, dihamburkan dan dipantulkan dari atmosfer yang digunakan Schiamachy adalah pada panjang gelombang 240 hingga 1700 nm. Schiamachy mempunyai kelebihan bisa mengukur dengan metode nadir pada atmosfer yang sama setelah 7 menit pengukuran dengan metode limb, sehingga memungkinkan pengukuran atmosfer secara 3 dimensi. Berbeda dengan sensor IMG (sensor untuk mengukur gas rumah kaca) yang hanya mengukur dengan metode nadir saja. Selain itu Schiamachy tidak hanya mengukur komposisi atmosfer yang di troposfer dan stratosfer saja seperti halnya IMG tetapi juga di mesosfer.

Misi Schiamachy adalah untuk meningkatkan pengetahuan kita mengenai komposisi atmosfer global. Sensor Schiamachy yang ditumpangkan pada satelit Envisat diluncurkan pada bulan Maret 2002. Komponen atmosfer yang diukur Schiamachy cukup banyak yakni O_3 , O_2 , O_4 , NO , NO_2 , N_2O , BrO , ClO_2 , CO , H_2O , SO_2 , CH_2O , CO_2 , CH_4 , awan dan aerosol. Dari komponen-komponen atmosfer ini terdapat gas rumah kaca yakni CO_2 , CH_4 , O_3 , H_2O dan N_2O . Karakteristik data yang dihasilkan dari Schiamachy ini berbentuk total kolom.

Sensor Schiamachy dalam pengukurannya dibagi dalam 3 metode yakni nadir, limb dan pengaburan. Pada metode nadir bisa diperoleh distribusi total kolom gas telusur secara horizontal. Sedangkan pada metode limb, Schiamachy dapat mengukur distribusi gas telusur secara vertikal, dengan satu kali pindai interval jarak yang diperoleh lebih dari 100 km dan mempunyai resolusi 3 km. Di dalam spektrometer terdapat suatu alat penghambur cahaya yang akan memisahkan cahaya ke dalam 3 pita spektrum dengan bantuan cermin-cermin 2 warna

akan membagi cahaya menjadi 8 saluran. Sebuah kisi diletakkan pada masing-masing saluran untuk membiasakan cahaya menjadi spektrum beresolusi tinggi yang nantinya akan difokuskan pada 8 pendeteksi. Format data GRK yang dihasilkan berbentuk file *wasaux* (*.was) dalam bentuk text. Untuk memperoleh datanya dapat mengunduh dari Envisat/Schiamachy. Akan tetapi karena Schiamachy ini tidak memberikan data untuk wilayah dan periode tertentu [Buchwitz, 2010], maka sebagai penunjang data GRK akan *download* dari satelit AIRS, IMG, MIPAS, NOAA, ILAS 1 dan 2 [http://atmos.caf.dlr.de/projects/scops/sciamachy_book/sciamachy_book_ch1.pdf].

3 PEROLEHAN DATA GAS RUMAH KACA DARI SATELIT AQUA DENGAN SENSOR AIRS

Atmospheric Infrared Sounders (Airs) merupakan satu set peralatan yang ditumpangkan pada satelit Aqua, sebagai piranti pengamatan Bumi yang dilakukan NASA. Satelit ini diluncurkan pada tanggal 4 Mei 2002. Airs dengan *Advanced Microwave Sounding Unit* (AMSU-A) merupakan alat yang canggih untuk memonitor air global, siklus energi dan variasi iklim terutama gas rumah kaca. Airs menggunakan teknologi gelombang infra merah untuk menciptakan peta 3 dimensi dari suhu udara permukaan, uap air dan sifat-sifat awan. Dengan 2378 saluran spektrum, Airs mempunyai resolusi 100 kali lebih besar dari alat infra merah sebelumnya dan menyediakan informasi yang lebih akurat pada profil vertikal suhu dan kelembaban atmosfer. Selain itu Airs dapat mengukur gas rumah kaca seperti ozon, CO_2 dan metan bahkan CO . Karakteristik data ini berbentuk sebaran dalam 2 dimensi pada ketinggian-ketinggian tertentu. Airs merupakan kumpulan sensor gelombang kecil (*microwave*), infra merah (*infrared*) dan sinar tampak (*visible*). Data Airs dihasilkan secara terus menerus.

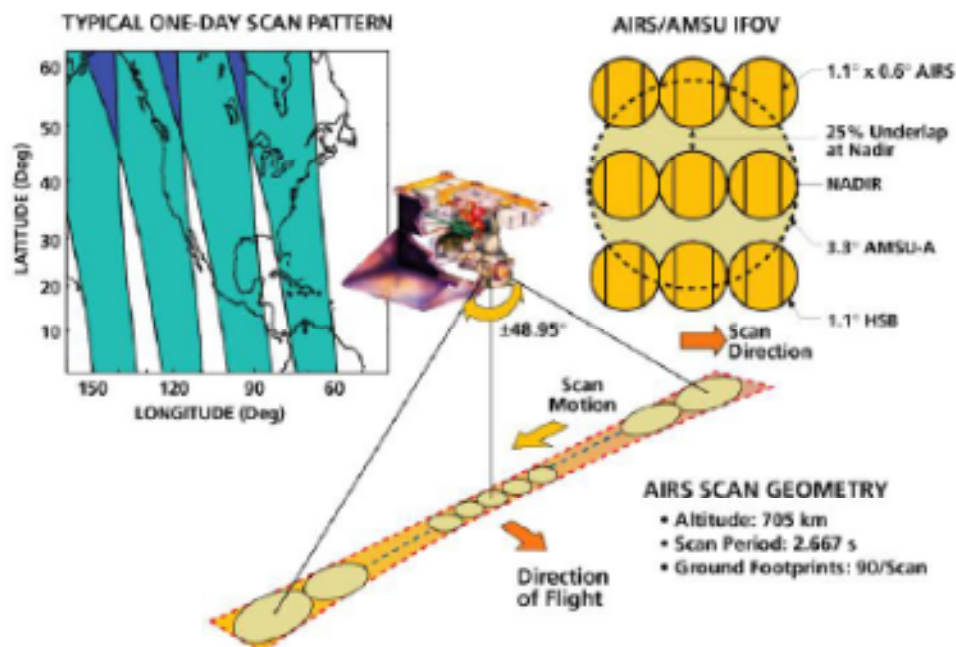
Cakupan global-nya diperoleh 2 kali sehari (siang dan malam) pada jam 1:30 siang pada ketinggian 705 km.

Pada data profil hasil Airs yang diperoleh terdapat 100 tingkatan tekanan antara 1100 dan 0,16 mb. Sedangkan untuk data horizontal mempunyai resolusi 50 km. Data Airs ini mempunyai selang waktu 6 menit dari satu pindai ke pindai yang lain. File nama datanya berbentuk airx2spc. Untuk data CO₂ troposfer level 3 merupakan data harian. Data ini mempunyai grid dengan resolusi 2,5 x 2 derajat bujur x lintang dari -180° hingga +180° untuk bujur dan dari -60° hingga +90° untuk lintang. Satuan data dalam bentuk ppm (dalam volume), tetapi data ini merupakan total kolom di lapisan troposfer. Bentuk filenya adalah HDF-EOS 2.12 setara dengan HDF4. Sedangkan data rata-rata CO₂ troposfer pertengahan untuk level 3 diberi nama airx3c2d.

Data profil suhu yang dihasilkan Airs mempunyai akurasi 1 K per 1 km ketebalan lapisan di troposfer. Sedangkan data profil kelembaban mempunyai akurasi 20% tiap 2 km ketebalan

lapisan di troposfer bawah dan 20 – 60% di troposfer atas. Pada pengukuran nadir dari ketinggian 705,3 km AMSU-A mempunyai diameter 45 km. Pada lahan berdiameter ini terdapat 3x3 pengamatan infra merah Airs (sebagaimana digambarkan pada Gambar 3-1) yang masing-masing mempunyai diameter 13,5 km, tetapi datanya tetap mempunyai resolusi 45 km secara horizontal. Untuk profil suhu, datanya mempunyai 28 tingkatan tekanan antara 1100 sampai dengan 0,1 mb. Sedangkan untuk kelembaban terdapat 14 lapisan antara 1100 sampai dengan 50 mb.

Pada dasarnya Airs mempunyai sebuah teleskop yang terdiri dari sekumpulan spektrometer. Spektrometer infra merah Airs ini mempunyai 2378 spektrum dengan interval 1086 hingga 1570 nm dalam 3 band yakni 3,74 hingga 4,61 mikrometer, 6,2 hingga 8,22 mikrometer dan 8,8 hingga 15,4 mikrometer. Saluran infra merahnya mempunyai diameter 1,1°, ini setara dengan 13,5 x 13,5 km secara horizontal.



Gambar 3-1: Bentuk geometri hasil scan Airs (Li, 2008)

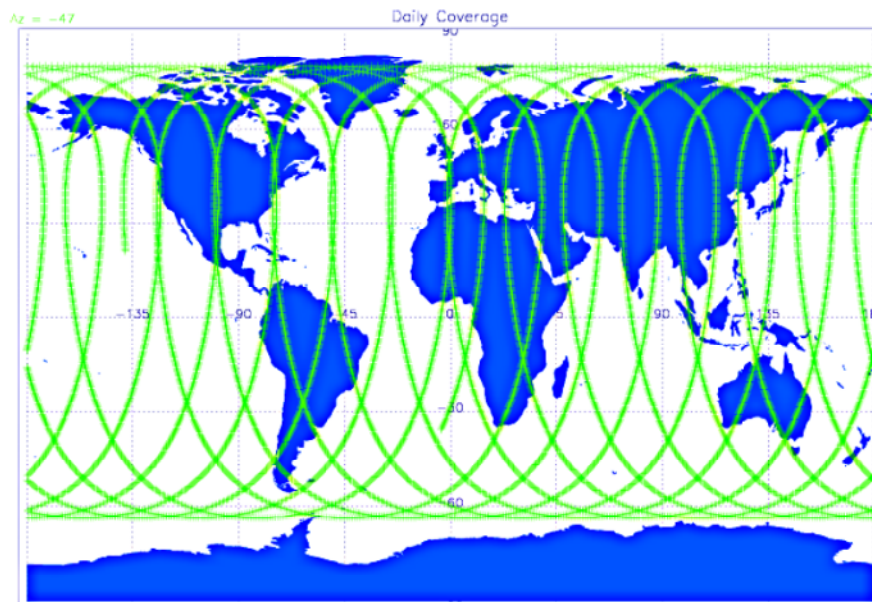
4 PEROLEHAN DATA GAS RUMAH KACA DARI SATELIT AURA DENGAN SENSOR HIRDLS

Satelit Aura pertama kali diluncurkan pada tanggal 15 Juli 2004 di California dengan ditumpangkan pada roket Boeing Delta 2. Aura mempunyai 4 instrumen/sensor yakni Hirdls, Mls, Omi dan Tes. *High Resolution Dynamics Limb Sounder* (Hirdls) ditumpangkan pada pesawat luar angkasa EOS Aura. Alat hirdls ini dirancang untuk memindai Bumi secara vertikal dengan sudut azimuth yang bervariasi. Ketika pengukuran, digunakan 21 saluran untuk mengukur radiasi infra merah dengan panjang gelombang dari 6,12 hingga 17,76 mikron untuk pengukuran di troposfer atas, stratosfer dan mesosfer. Secara teoritis profil konsentrasi gas telusur dan transmisinya dihitung berdasarkan radiasi yang terukur dan profil fungsi Planck yang ditentukan dari profil suhu. Profil suhu ditentukan sebagai fungsi dari tekanan. Sedangkan profil distribusi fungsi benda hitam Planck ditentukan dari persamaan penjalaran radiasi, kemudian transmisi dihitung berdasarkan konsentrasi CO₂ yang sudah diketahui.

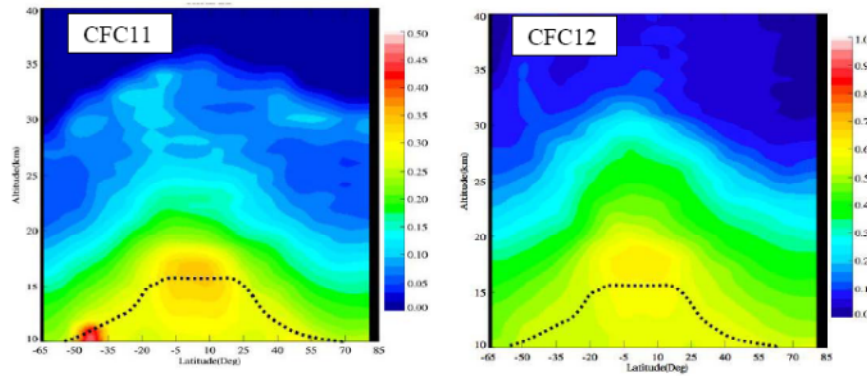
Sensor ini untuk mendeteksi profil gas telusur (termasuk sebagian gas rumah

kaca) secara global. Karakteristik data ini merupakan data harian dan merupakan profil vertikal, terdiri dari CFC₁₁, CFC₁₂, HNO₃, O₃, CH₄, N₂O, NO₂, HNO₃, N₂O₅, suhu, awan kutub stratosfer, puncak awan dan ekstensi aerosol. Resolusi vertikal data hirdls ini sekitar 1 km sedangkan cakupan spasialnya dari -64° hingga 80° lintang, yang mana 1 lintasan satelit EOS Aura ini berkisar sekitar 100 km. Data hirdls bisa diunduh dari http://disc.gsfc.nasa.gov/Aura/HIRDLS/hirdls2_004.shtml.

Pada Gambar 4-1 ditunjukkan lintasan satelit aura yang membawa sensor Hirdls. Berdasarkan gambar ini Hirdls tidak hanya menghasilkan data profil tetapi juga secara horizontal. Sebagai salah satu contoh data hasil hirdls ini, pada Gambar 4-2 ditunjukkan profil CFC₁₁ dan 12 sebagai hasil pengukuran tanggal 18 Mei 2006. Nampak dari gambar ini profil CFC₁₁ dan 12 dipengaruhi lintang. Karena gambar ini mulainya dari 10 km, maka untuk permukaan dari lintang 71° utara hingga 90° selatan hasil pengukuran satelit NOAA tahun 2006 untuk CFC₁₁ menunjukkan 248 hingga 252 pptv, sedangkan untuk CFC₁₂ adalah 530 hingga 540 pptv.



Gambar 4-1: Cakupan sehari-hari lintasan Hirdls



Gambar 4-2: Profil konsentrasi CFC₁₁ dan CFC₁₂ terhadap lintang pada tanggal 18 Mei 2006 hasil Hirdls, satuan data dalam ppb

5 PEROLEHAN DATA GAS RUMAH KACA DARI SATELIT AURA DENGAN SENSOR MLS

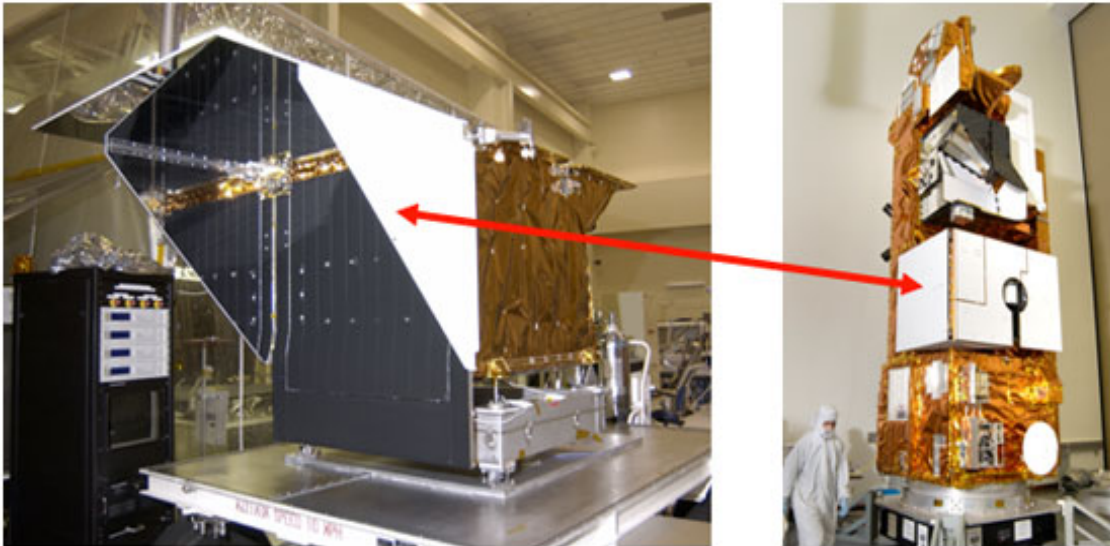
Format data dari sensor MLS adalah hdf versi 5. MLS ini mempunyai 7 radiometer yakni 118 GHz, 190 GHz, 240 GHz, 640 GHz dan 2.5 THz dalam pengukurannya, kecuali yang 118 GHz yang lainnya adalah radiometer dengan 2 band yakni osilator yang atas dan bawah digabung untuk membentuk sinyal frekuensi menengah. Kemudian sinyal frekuensi menengah ini dibagi menjadi band-band yang terpisah. Radiasi yang keluar dari band yang terpisah ini diukur dengan menggunakan beberapa spektrometer. Dalam pengukurannya, MLS melakukan pindai secara vertikal yang terus menerus dengan menggunakan antenna ke 7 radiometer tersebut dari permukaan sampai ketinggian 90 km dalam waktu 20 detik. Setiap perlakuan ini diikuti dengan 5 detik untuk kalibrasi dan aktivitas antenna untuk menyelidiki kembali setiap pengukuran. Siklus 25 detik ini disebut dengan sebuah kerangka utama (*Major frame*). Sedangkan siklus 20 detik yang digunakan untuk melakukan *scan* yang terus menerus disebut dengan kerangka kecil (*minor frame*).

Dari MLS ini dalam 1 hari file data yang dihasilkan sebanyak 1 buah. Cakupan datanya mendekati global dari -82° sampai 82°, sedangkan kapasitas datanya sampai dengan 292 MB. Sebagai contoh data dari sensor MLS ini adalah

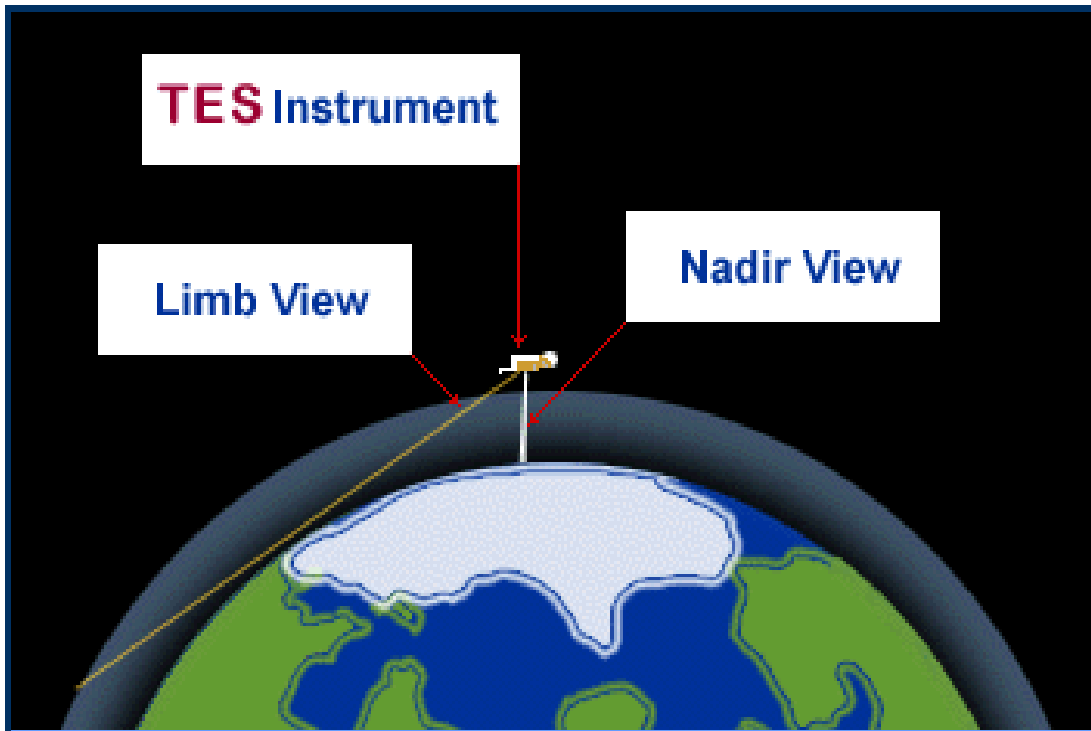
data N₂O. Data N₂O ini bisa di *download* dari <http://mirador.gsfc.nasa.gov/>.

6 PEROLEHAN DATA GAS RUMAH KACA DARI SATELIT AURA DENGAN SENSOR TES

Pengukuran konsentrasi CH₄, Ozon, CO, uap air, suhu udara permukaan bisa dilakukan dengan instrumen *Tropospheric Emission Spectrometer* (TES). Karakteristik data yang dihasilkan TES ini berupa total kolom atau merupakan konsentrasi permukaan. Alat sensor TES ditampilkan pada Gambar 6-1. TES adalah instrumen yang ditumpangkan pada satelit Aura yang diluncurkan pertama kali tanggal 15 Juli 2004 di California. Tinggi orbit adalah 705 km dengan arah Utara-Selatan. Cara pengukuran yang dilakukan oleh TES ditunjukkan dengan Gambar 6-2. TES adalah spektrometer yang mengukur radiasi energi infra merah (radiasi inframerah memiliki panjang gelombang antara 700 nm dan 1 mm) yang dipancarkan oleh permukaan Bumi dan gas-gas serta partikulat di troposfer. TES mempunyai resolusi spektral yang baik yakni 0.1/cm hingga 0.025/cm sehingga memungkinkan menentukan panjang gelombang yang diemisikan oleh zat yang ingin diketahui dan mengukur penyerapan garis infra merahnya [<http://tes.jpl.nasa.gov/mission/whatistes/>]. Berdasarkan ini ditentukan zat tersebut dan ketinggiannya di troposfer.



Gambar 6-1: Instrument TES (<http://tes.jpl.nasa.gov/instrument/>)



Gambar 6-2: Cara pemotretan yang dilakukan TES

7 PENUTUP

Data hasil pengukuran sensor yang bermacam-macam yang ditumpang-kkan pada satelit bisa saling melengkapi

dengan kelebihan dan kekurangannya. Kelebihan dan Kekurangan masing-masing sensor sebagai berikut:

Nama sensor	Kekurangan	Kelebihan
Schimachy Airs	Tak dapat mengukur profil Hanya mengukur troposfer saja	Resolusi tinggi Dapat mengukur pada malam dan siang
Hirdls MLS TES	Tak dapat mengukur sampai per- mukaan Data yang dihasilkan hanya profil saja Dapat mengukur sampai per- mukaan	Dapat mengukur CFC11 dan CFC12 Data sudah dipisah-pisah Resolusi rendah

DAFTAR RUJUKAN

- Buchwitz, M., 2010. *Diskusi Pribadi dengan Michael Buchwitz*, lewat email-nya yaitu Michael, Buchwitz @iup.physik.uni-bremen.de.
- Jason Li, 2008. *Readme Document for AIRS Level-2 Version 005 Standard Products AIRX2RET/AIRH2RET/AIRS2RET*, GES DISC, NASA.
- Lambert, W. G. Read, N. J. Livesey, M. L. Santee, G. L. Manney, L. Froidevaux, D. L. Wu, M. J. Schwartz, H. C. Pumphrey, C. Jimenez, G. E. Nedoluha, R. E. Cofield, D. T. Cuddy, W. H. Daffer, B. J. Drouin, R. A. Fuller, R. F. Jarnot, B. W. Knosp, H. M. Pickett, V. S. Perun, W. V. Snyder, P. C. Stek, R. P. Thurstans, P. A. Wagner, J. W. Waters, K. W. Jucks, G. C. Toon, R. A. Stachnik, P. F. Bernath, C. D. Boone, K. A. Walker, J. Urban, D. Murtagh, J. W. Elkins, and E. Atlas, 2007. *Validation of the Aura Microwave Limb Sounder Middle Atmosphere Water Vapor and Nitrous Oxide measurements*, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, Vol. 112, D24S36, doi:10.1029/2007 JD008724.
- Nasa, Jet Propulsion Laboratory, 2010, <http://tes.jpl.nasa.gov/instrument/>.
- Nasa, Jet Propulsion Laboratory, 2010, <http://tes.jpl.nasa.gov/mission/whatistes/>.
- Situs : -<http://www.iup.uni-bremen.de/sciamachy/instrument/modes/index.html>.-http://atmos.caf.dlr.de/projects/scops/sciamachy_book/sciamachy_book_ch1.pdf-http://disc.gsfc.nasa.gov/Aura/HIRDLS/hirdls2_004.shtml-<http://mirador.gsfc.nasa.gov/>.
- Won, Y., 2008. *Readme Document for AIRS Level-3 Version 005 Quantization Products AIRX3QP5/AIRS3QP5/AIRH3QP5/AIRX3QPM/IRS3QPM/AIRH3QPM*, GES DISC, NASA.