



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGUKURAN KETEBALAN LAPISAN OZON
MENGUNAKAN DATA MODIS
SEBAGAI BAGIAN DARI SISTEM PEMANTAUAN BENCANA**

SKRIPSI

**MUHAMMAD NUR FAJAR
0706276066**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
TEKNIK KOMPUTER
DEPOK
JULI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGUKURAN KETEBALAN LAPISAN OZON
MENGUNAKAN DATA MODIS
SEBAGAI BAGIAN DARI SISTEM PEMANTAUAN BENCANA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

MUHAMMAD NUR FAJAR

0706276066

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

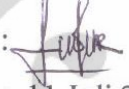
TEKNIK KOMPUTER

DEPOK

JULI 2011

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya
nyatakan dengan benar.

Nama : Muhammad Nur Fajar
NPM : 0706276066
Tanda Tangan : 
Tanggal : 11 Juli 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Muhammad Nur Fajar
NPM : 0706276066
Program Studi : Teknik Komputer
Judul Skripsi : Pengukuran Ketebalan Lapisan Ozon Sebagai Bagian Dari Sistem Pemantauan Bencana

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Dodi Sudiana, M. Eng.

Penguji : Prof. Dr.Eng. Drs. Benyamin Kusumoputro, M.Eng., ()

Penguji : Dr. Ir. Arman Djohan Diponegoro ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 11 Juli 2011

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas segala rahmat dan hidayat-Nya saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Saya menyadari bahwa skripsi ini tidak akan terselesaikan tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Dodi Sudiana M.Eng. selaku pembimbing skripsi ini, yang telah meluangkan waktunya, serta masukan-masukan selama bimbingan;
2. Orang tua dan seluruh keluarga yang senantiasa memberikan dukungan moral dan material sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik;
3. Endriadi Rukmana dan Firdaus Arya selaku teman teman seperjuangan atas kerjasama yang baik dan dukungan semangat yang diberikan;
4. Dan seluruh Sivitas Akademik Departemen Teknik Elektro yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Akhir kata, semoga Allah SWT berkenan membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Juli 2011

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Indonesia, saya bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Nur Fajar
NPM : 0706276066
Program studi : Teknik Komputer
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

PENGUKURAN KETEBALAN LAPISAN OZON
MENGUNAKAN DATA MODIS

SEBAGAI BAGIAN DARI SISTEM PEMANTAUAN BENCANA

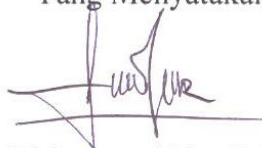
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non Eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia / formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta sebagai pemegang Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 11 Juli 2011

Yang Menyatakan



Muhammad Nur Fajar

ABSTRAK

Nama : Muhammad Nur Fajar
Program Studi : Teknik Komputer
Judul : Pengukuran Ketebalan Lapisan Ozon
Menggunakan Data MODIS
Sebagai Bagian dari Sistem Pemantauan Bencana
Pembimbing : Dr. Ir. Dodi Sudiana, M.Eng.

Penipisan lapisan ozon secara global yang terjadi saat ini merupakan suatu bencana besar bagi Bumi dan umat manusia mengingat vitalnya fungsi lapisan ozon ini. Pengamatan terhadap lapisan ozon merupakan sesuatu yang sangat diperlukan untuk terus memantau perkembangannya. MODIS (*MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer*) sebagai instrumen penginderaan jauh dapat melakukan perhitungan ketebalan lapisan ozon. Sistem yang dibangun di dalam penelitian ini akan mengolah data MODIS dari level 0 menjadi level 2 menggunakan perangkat lunak IMAPP VA. Hasil pengolahan berupa file berformat HDF (*Hierarchical Data Format*) yang di dalamnya terdapat sekumpulan set data profil atmosfer, termasuk data ketebalan lapisan ozon. Data ini kemudian diekstraksi untuk dianalisis dan dipetakan menggunakan perangkat lunak pengolah data matematis. Pengukuran dilakukan terhadap tiga wilayah yang memiliki karakteristik yang berbeda, yaitu Indonesia, Amerika Serikat dan Kutub Selatan. Untuk wilayah Indonesia dan Amerika Serikat, digunakan data MODIS pada tahun 2003, 2005, 2007, 2009 dan 2011. Sedangkan untuk wilayah digunakan data MODIS pada tahun 2003, 2005, 2007, 2009 dan 2010. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa wilayah Indonesia sedikit mengalami kenaikan rata-rata ketebalan lapisan ozon dalam periode waktu tersebut, sedangkan ketebalan lapisan ozon di wilayah Amerika Serikat dan Kutub Selatan mengalami penurunan rata-rata ketebalan lapisan ozon pada periode waktu tersebut. Penelitian ini juga membuktikan adanya lubang ozon di daerah Kutub Selatan setiap tahunnya.

Kata kunci : *Ketebalan Lapisan Ozon, Lubang Ozon, Penginderaan Jauh, MODIS, HDF, IMAPP.*

ABSTRACT

Name : Muhammad Nur Fajar
Study Program : Computer Engineering
Title : Total Column Ozone Measurement
Using MODIS Data in Disaster Monitoring System
Supervisor : Dr. Ir. Dodi Sudiana, M.Eng.

Nowadays, Ozone Depletion Layer is a serious disaster for earth and human life as it's vital function. Monitoring of ozone layer is needed to know the the progress of this layer. MODIS (*MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer*) as the remote sensing instrument can calculate total column ozone. The system developed in this research will processes the MODIS data from level 0 to level 2 using IMAPP VA software. The result of the processing is the file with HDF (*Hierarchical Data Format*) data format which is include the information of atmospheric profile, such as total column ozone. The total column ozone dataset embedded in HDF file extracted and mapped to the global map by mathematical data processing software. The system measure total column ozone in three area, Indonesia, United States of America(USA), and Antarctica. In Indonesia and USA region, this measurement held in 2003, 2005, 2007, 2009 and 2011. In Antarctica this measurement held in 2003, 2005, 2007, 2009 and 2010. The result of this observation shows that Indonesia's average total column ozon increased by insignificant value in that period of time. Meanwhile in USA and Antarctic Region, the average total column ozone decreased in that period of time. This observation also proof that there is an ozone hole over the antarctic in every year observed.

Keywords : *Total Column Ozone, Ozone Hole, Remote Sensing, MODIS, HDF, IMAPP.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. TUJUAN	2
1.3. BATASAN MASALAH	2
1.4. METODE PENULISAN.....	3
1.5. SISTEMATIKA PENULISAN	3
BAB 2 TINJAUAN LITERATUR	5
2.1. SEKILAS TENTANG OZON	5
2.1.1. Lapisan Ozon	6
2.1.2. Pembentukan Lapisan Ozon.....	7
2.2. PENGINDERAAN JAUH (<i>REMOTE SENSING</i>)	9
2.3. MODIS.....	13
2.3.1. Komponen MODIS	13
2.3.2. Spesifikasi MODIS.....	14
2.3.3. Data MODIS	16
2.3.4. Hierarchical Data Format (HDF)	16
2.4. TOMS	18
BAB 3 PERANCANGAN SISTEM DAN IMPLEMENTASI.....	19
3.1. PENGOLAHAN DATA ATMOSFER MODIS	19
3.2. DIAGRAM ALIR ALGORITMA.....	20
3.2.1. Input data MODIS level 0 secara manual.....	22
3.2.2. Pemrosesan Data	22

3.2.3.	Input data MODIS level 1	23
3.2.4.	Pemrosesan data (MOD07).....	24
3.2.5.	Output : Data MODIS atmosfer level 2	26
3.2.6.	Ekstraksi Nilai Ketebalan Lapisan Ozon	26
3.2.7.	Pembuatan Citra Ketebalan Lapisan Ozon	26
3.2.8.	Mapping Citra Lapisan Ozon terhadap Peta Dunia (Global).....	27
3.2.9.	Keluaran/ <i>Output</i> : Peta Ketebalan Lapisan Ozon pada wilayah tertentu	28
BAB 4 HASIL DAN ANALISA.....		29
4.1.	ANALISIS TEMPORAL.....	29
4.1.1.	KETEBALAN LAPISAN OZON PADA WILAYAH INDONESIA .	29
4.1.2.	KETEBALAN LAPISAN OZON PADA WILAYAH AMERIKA SERIKAT.....	35
4.1.3.	KETEBALAN LAPISAN OZON PADA WILAYAH KUTUB SELATAN	39
4.2.	ANALISIS SPASIAL	45
4.3.	VALIDASI MENGGUNAKAN DATA TOMS.....	49
BAB 5 PENUTUP		52
5.1.	KESIMPULAN	52
5.2.	PENGEMBANGAN LEBIH LANJUT	53
DAFTAR REFERENSI		54
LAMPIRAN		56
	Algoritma Pengukuran ketebalan lapisan ozon yang di tulis dalam bahasa fortran.....	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Interaksi Komponen Penginderaan Jauh.....	10
Gambar 2.2 Hubungan antara Sensor dengan Informasi yang di dapatkannya	12
Gambar 3.1 Pemrosesan Data Atmosfer MODIS.....	19
Gambar 3.2 Algoritma Sistem.....	21
Gambar 3.3 Kode untuk menjalankan pemrosesan data dalam IMAPP	23
Gambar 3.4 Data level 1 yang dihasilkan	24
Gambar 3.5 Kode di dalam IMAPP yang menjelaskan Algoritma perhitungan ketebalan lapisan ozon	25
Gambar 3.6 Peta Dunia hasil Proyeksi 'eqdcylin'	27
Gambar 3.7 Peta Dunia hasil Proyeksi 'stereo'	28
Gambar 4.1 (MODIS Aqua) ketebalan lapisan ozon untuk wilayah Indonesia (02 Mei 2005)	30
Gambar 4.2. Grafik Rata-Rata Ketebalan Lapisan Ozon wilayah Indonesia (Aqua)	31
Gambar 4.3 wilayah dengan ozon rata-rata terendah pada 2003 (Aqua).....	32
Gambar 4.4 (MODIS Terra) ketebalan lapisan ozon untuk wilayah Indonesia (02 Mei 2009)	33
Gambar 4.5 Grafik Rata-Rata Ketebalan Lapisan Ozon wilayah Indonesia (Terra)	34
Gambar 4.6 wilayah dengan ozon rata-rata terendah pada 2003 (Terra).....	35
Gambar 4.7 (MODIS Aqua) ketebalan lapisan ozon untuk wilayah Amerika Serikat (01 Mei 2011)	36
Gambar 4.8 Grafik Rata-Rata Ketebalan Lapisan Ozon wilayah Amerika Serikat (Aqua)	37
Gambar 4.9 (MODIS Terra) ketebalan lapisan ozon untuk wilayah Amerika Serikat (02 Mei 2009)	38
Gambar 4.10 Grafik Rata-Rata Ketebalan Lapisan Ozon wilayah Amerika Serikat (Terra).....	39
Gambar 4.11 (MODIS Aqua) ketebalan lapisan ozon untuk wilayah Kutub Selatan (10 Oktober 2003)	40
Gambar 4.12 Grafik Rata-Rata Ketebalan Lapisan Ozon wilayah Kutub Selatan (Aqua)	41
Gambar 4.13 wilayah dengan ozon rata-rata terendah pada 2005 (Aqua).....	42
Gambar 4.14 (MODIS Terra) ketebalan lapisan ozon untuk wilayah Kutub Selatan (10 Oktober 2010)	43
Gambar 4.15 Grafik Rata-Rata Ketebalan Lapisan Ozon wilayah Kutub Selatan (Terra)	44

Gambar 4.16 wilayah dengan ozon rata-rata terendah pada 2010 (Terra).....	45
Gambar 4.17 Grafik Rata-Rata Ketebalan Lapisan Ozon menggunakan data MODIS Aqua	46
Gambar 4.18 Grafik Rata-Rata Ketebalan Lapisan Ozon menggunakan data MODIS Terra	46
Gambar 4.19 Tingkat Perubahan Ozon berdasarkan Koordinat Wilayah.....	49



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tipe Data Penginderaan Jauh.....	11
Tabel 2.2 Pembagian kanal MODIS dan karakteristiknya	15
Tabel 4.1 Data Ketebalan Lapisan Ozon untuk wilayah Indonesia (MODIS Aqua)	30
Tabel 4.2 Data Ketebalan Lapisan Ozon untuk wilayah Indonesia (MODIS Terra)	33
Tabel 4.3 Data Ketebalan Lapisan Ozon untuk wilayah Amerika Serikat (MODIS Aqua)	36
Tabel 4.4 Data Ketebalan Lapisan Ozon untuk wilayah Amerika Serikat (MODIS Terra)	38
Tabel 4.5 Data Ketebalan Lapisan Ozon untuk wilayah Kutub Selatan (MODIS Aqua) .	40
Tabel 4.6 Data Ketebalan Lapisan Ozon untuk wilayah Kutub Selatan (MODIS Terra) .	43
Tabel 4.7 Rangkuman Data Ketebalan Lapisan Ozon	45
Tabel 4.8. Validasi menggunakan data TOMS pada latitude -06, longitude 106	50
Tabel 4.9. Validasi menggunakan data TOMS pada latitude 43, longitude -75	50
Tabel 4.10. Validasi menggunakan data TOMS pada latitude -84, longitude -116	51

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Sejak beberapa dekade ke belakang, isu tentang ozon telah banyak mendapat perhatian masyarakat dunia. Penemuan lubang ozon pada tahun 1985 di atas daerah Kutub Selatan [1] dianggap sebagai suatu peringatan akan bencana besar yang mengancam lingkungan global. Fakta yang lebih mengkhawatirkan adalah bahwa lubang ozon tersebut semakin membesar. Fenomena lubang ozon ini sebenarnya merupakan sebuah fenomena penipisan lapisan ozon. Bukan hanya di daerah Kutub Selatan, penipisan lapisan ozon juga terjadi diberbagai daerah di belahan bumi.

Dampak dari penipisan lapisan ozon ini adalah meningkatnya intensitas sinar *Ultra Violet B* (UV-B) yang sampai ke permukaan bumi. Hasil penelitian para ahli menunjukkan bahwa tingginya intensitas UV-B bisa menimbulkan katarak mata, kanker kulit, penurunan kekebalan tubuh, memusnahkan plankton, menghambat pertumbuhan tanaman dan berbagai dampak negatif lainnya. Selain itu, penipisan lapisan ozon ini memiliki hubungan sebab akibat yang erat dengan pemanasan global dan perubahan musim yang tidak menentu.

Penipisan lapisan ozon sendiri disebabkan oleh Bahan Perusak Ozon (BPO) yang dilepas ke atmosfer. Bahan Perusak Ozon (BPO) ini dapat berasal dari berbagai peralatan atau bahan-bahan yang mengandung unsur-unsur [2] : 1. *chlorofluorocarbons* (CFCs); 2. *hydro-chlorofluorocarbons* (HFCs); 2. *halon*; 3. *hydro-bromofluorocarbons* (HBFCs); 4. *bromocholormethane*; 5. *methyl chloroform*; 6. *carbon tetrachloride*; dan 7. *methyl bromide*. Peralatan atau bahan-bahan yang mengandung unsur-unsur diatas diantaranya adalah polusi kendaraan bermotor, penggunaan pendingin ruangan (*air conditioner*), lemari es, dan lain-lain. Untuk mengurangi penggunaan BPO, pada tahun 1987 berbagai negara telah meratifikasi protokol montreal, yang merupakan suatu traktat Internasional untuk melindungi lapisan ozon. Indonesia meratifikasi protokol ini pada tahun 2005 [3].

Diharapkan dengan adanya protokol ini, penipisan lapisan ozon tidak akan terjadi lagi, atau bahkan lapisan ozon akan kembali membaik.

Mengingat akan pentingnya lapisan ozon bagi seluruh ekosistem di bumi, maka pengukuran dan pemantauan lapisan ozon merupakan tugas yang sangat penting. Lembaga-lembaga antariksa seperti NASA telah membuat berbagai sistem untuk melakukan pengukuran ini. Sistem tersebut berupa instrumen dan algoritma pemrosesan citra nya. Instrumen yang dimaksud disisipkan (*embedd*) ke dalam satelit bumi tertentu. Instrumen yang memiliki fungsi pengukuran lapisan ozon diantaranya adalah : MODIS, TOMS, OMI. Masing-masing instrumen memiliki algoritma tersendiri untuk mengolah citra yang didapatkan. Di Indonesia saat ini, akses terhadap data satelit yang memungkinkan adalah akses terhadap data MODIS.

Hasil dari pengolahan citra ini tentunya haruslah dapat di mengerti oleh publik. Oleh karena itu, diperlukan teknik-teknik pengolahan citra tertentu yang dapat merepresentasikan data satelit menjadi informasi yang dapat dimengerti oleh publik.

Hal-hal tersebut diataslah yang melatarbelakangi saya untuk melakukan penelitian dan menulis skripsi tentang “Pengukuran Ketebalan Lapisan Ozon menggunakan Data Modis sebagai bagian dari Sistem Pemantauan Bencana”.

1.2. TUJUAN

Skripsi ini bertujuan untuk :

1. Mengukur ketebalan lapisan ozon di beberapa bagian di belahan bumi dengan menggunakan data MODIS.
2. Melakukan pemetaan citra ketebalan lapisan ozon yang dihasilkan terhadap peta dunia (*globe*) sehingga dapat dihasilkan citra yang terintegrasi.

1.3. BATASAN MASALAH

Permasalahan yang akan dibahas pada skripsi ini dibatasi pada pengukuran ketebalan lapisan ozon pada beberapa wilayah seperti wilayah sekitar Indonesia, Amerika Serikat, dan Kutub Selatan. Pengukuran ini didapatkan dari pemrosesan

data MODIS dari data level 0 menjadi data produk berupa citra ozon untuk wilayah Amerika Serikat, sedangkan untuk wilayah Indonesia dan Kutub Selatan, pemrosesan dimulai dari data MODIS level 2 menjadi produk citra ozon. Skripsi ini juga akan membahas mengenai pemetaan hasil citra yang dihasilkan terhadap peta dunia (*globe*).

1.4. METODE PENULISAN

Penulisan skripsi ini berdasarkan metode studi literatur kepustakaan dari jurnal-jurnal ilmiah, berbagai tulisan terpercaya di internet, percobaan menggunakan program pengolahan data MODIS yang algoritmanya telah distandarkan oleh para peneliti sebelumnya di NASA dan hasil percobaan dengan menggunakan perangkat lunak pengolahan citra.

1.5. SISTEMATIKA PENULISAN

Pembahasan yang dilakukan pada penulisan ini meliputi lima bab, yaitu:

Bab 1 PENDAHULUAN

Bagian ini terdiri dari latar belakang masalah, tujuan penulisan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

Bab 2 TINJAUAN LITERATUR

Bagian ini berisi tentang lapisan ozon, pembentukan, manfaatnya, dan sejarah perlindungan lapisan ozon. Pada bagian ini juga dibahas tentang MODIS sebagai salah satu instrument yang digunakan dalam pengamatan lapisan ozon.

Bab 3 PERANCANGAN SISTEM DAN IMPLEMENTASI

Bagian ini menjelaskan secara rinci tentang perancangan sistem yang dibuat dari mulai pengambilan data sampai dengan dihasilkan data ketebalan lapisan ozon beserta dengan citranya. Pada bagian ini juga dijelaskan bagaimana sistem tersebut di implementasikan baik berupa proses menjalankan program ataupun kode-kode yang telah dibuat.

Bab 4 HASIL DAN ANALISA

Bagian ini memuat pembahasan mengenai data dan citra yang dihasilkan dalam percobaan dan juga analisis mengenai hasil yang telah didapatkan.

Bab 5 PENUTUP

Bagian ini memuat kesimpulan dari penulisan dan pengembangan lebih lanjut yang dapat dilakukan.



BAB 2

TINJAUAN LITERATUR

2.1. SEKILAS TENTANG OZON

Ozon adalah gas yang secara alami terdapat di dalam atmosfer. Masing-masing molekul ozon terdiri dari tiga buah atom oksigen dan dinyatakan sebagai O_3 . Ozon bisa dijumpai di dua wilayah atmosfer. Sekitar 10% ozon berada di lapisan troposfir, yaitu wilayah atmosfer yang paling dekat dengan permukaan bumi, dengan ketinggian dari permukaan bumi hingga ketinggian 10-16 kilometer. Sekitar 90% persen ozon berada di lapisan stratosfir, yaitu wilayah atmosfer yang terletak mulai dari puncak troposfir hingga ketinggian sekitar 50 kilometer [2].

Ozon ditemukan di laboratorium pada pertengahan tahun 1800an. Keberadaan ozon di atmosfer kemudian ditemukan menggunakan metoda pengukuran secara kimiawi dan optis. Kata ozon berasal dari bahasa Yunani: *ozein* yang berarti berbau. Ozon memiliki bau yang sangat kuat sehingga keberadaannya mudah diketahui walaupun dalam Ketebalan yang rendah [4].

Ozon akan dengan cepat dapat bereaksi dengan berbagai bahan-bahan kimia dan dalam konsentrasi yang sangat banyak bersifat mudah meledak (*explosive*) . Pelepasan muatan listrik (*electrical discharges*) pada umumnya digunakan untuk membuat ozon dalam proses industri seperti proses pemurnian udara dan air, pemutihan tekstil dan produk-produk makanan.

Konsentrasi molekul-molekul ozon di atmosfer jauh lebih sedikit dibandingkan dengan gas-gas lainnya seperti oksigen (O_2) nitrogen (N_2) . Di lapisan stratosfir disekitar puncak lapisan ozon, terdapat sekitar 12 molekul ozon untuk setiap satu juta molekul udara. Di lapisan troposfir dekat permukaan Bumi, konsentrasi ozon lebih sedikit, berkisar antara 0,02 hingga 0,1 molekul ozon untuk

setiap satu juta molekul udara. Konsentrasi tertinggi ozon permukaan berasal dari udara yang tercemar oleh aktivitas manusia.

2.1.1. Lapisan Ozon

Elemen-elemen yang membentuk atmosfer Bumi sangat penting artinya bagi kita semua. Keseimbangan gas-gas di atmosfer telah berubah akhir-akhir ini akibat dari aktivitas manusia. Untuk melindungi dan melestarikan kehidupan di muka Bumi, para ilmuwan perlu memahami berbagai faktor yang rumit yang mengendalikan keseimbangan gas-gas di atmosfer.

Atmosfer terdiri dari 78% nitrogen, 21% oksigen dan gas-gas minor, 1% argon gas-gas telusur, karbon dioksida dan ozon. Begitu sedikitnya jumlah ozon didalam atmosfer, maka jika kita bawa semua molekul-molekul ozon ke permukaan maka tebalnya hanya sekitar 3 mm. Ozon terdapat di seluruh atmosfer, tetapi sebagian besar terdapat di lapisan stratosfir. Ozon inilah yang dikenal dengan istilah “Lapisan Ozon” [2].

Lapisan ozon melindungi bumi dari pengaruh berbahaya radiasi matahari. Radiasi ultraviolet (UV) yang berasal dari matahari berbahaya bagi kehidupan di bumi. Semakin meningkatnya jumlah radiasi UV (UV-B) dapat merusak rantai makanan yang ada di laut. Disamping itu terdapat hubungan yang kuat antara meningkatnya UV dengan meningkatnya kasus-kasus penyakit kanker kulit dan katarak mata pada manusia. Pada dasarnya atmosfer bertindak sebagai perisai terhadap radiasi matahari melalui penyebaran atau penyerapan oleh molekul-molekul gas yang ada di dalam atmosfer bumi. Dalam hal ini, ozonlah yang paling efektif menyerap radiasi UV. Secara alami molekul-molekul ozon terbentuk dan rusak di atmosfer Bumi. Secara alami pula penipisan lapisan ozon terjadi di atas Kutub Selatan (*Antarctica*) setiap musim semi (*springtime*).

Akan tetapi belakangan diketahui bahwa telah terjadi penipisan lapisan ozon yang tidak alami. Sejak dekade yang lalu ozon di atas Antartika telah semakin menipis pada musim semi secara tidak alami. Para peneliti menemukan bahwa penipisan tersebut sebagai akibat langsung dari pelepasan

chlorofluorocarbon (CFC) oleh manusia ke atmosfer. Selama ini CFC secara luas digunakan sebagai zat pendorong (*propellant*) pada produk-produk aerosol (*spray*) dan sebagai media pendingin (*coolant*) pada alat-alat pendingin (*refrigerator*). Begitu terlepas ke udara maka zat kimia yang stabil ini tidak bisa terurai ketika berada di lapisan atmosfer bawah dan butuh satu dekade untuk bermigrasi ke lapisan stratosfir. Begitu mencapai stratosfir, maka molekul-molekul CFC yang biasanya stabil karena terpapar langsung terhadap radiasi UV akan terurai menjadi atom-atom yang reaktif. Atom-atom reaktif tersebut selanjutnya bereaksi dengan ozon menghasilkan senyawa baru. Sayangnya senyawa baru tersebut tidak stabil dan terus-menerus bereaksi merusak ozon. Satu atom klorin dapat merusak ribuan molekul ozon sebelum akhirnya terikat menjadi senyawa yang stabil. Ketika itu kerusakan ozon berhenti.

2.1.2. Pembentukan Lapisan Ozon

Ozon terbentuk di atmosfer melalui beberapa langkah proses kimia yang memerlukan bantuan sinar matahari. Di lapisan stratosfir, proses pembentukan ozon dimulai dengan pecahnya molekul oksigen (O_2) oleh radiasi ultraviolet dari Matahari. Pada atmosfer bawah (troposfir), ozon terbentuk melalui serangkaian reaksi kimia yang berbeda yang melibatkan gas-gas yang mengandung hidrokarbon dan nitrogen [2].

Ozon stratosfir secara alami terbentuk melalui reaksi kimia yang melibatkan radiasi ultraviolet matahari dan molekul oksigen yang tersedia di atmosfer (21% dari kandungan atmosfer). Langkah pertama, sinar matahari memecah molekul oksigen (O_2) menghasilkan dua atom oksigen ($2O$). Pada langkah kedua, masing-masing atom oksigen tersebut bereaksi dengan sebuah molekul oksigen menghasilkan molekul ozon (O_3). Reaksi tersebut terjadi terus menerus karena keberadaan radiasi ultraviolet matahari di stratosfir. Akibatnya, produksi ozon terbesar terjadi di stratosfir tropis[2].

Produksi ozon stratosfir seimbang dengan kerusakan ozon melalui reaksi kimia. Ozon secara terus menerus bereaksi dengan berbagai zat-zat kimia alami maupun buatan manusia di stratosfir. Dalam setiap reaksi, sebuah molekul ozon hilang dan senyawa kimia lainnya terbentuk. Berbagai gas reaktif yang penting yang dapat merusak ozon adalah gas-gas yang mengandung *klorin* dan *bromin*.

Dekat permukaan bumi, ozon juga diproduksi melalui reaksi kimia yang melibatkan gas-gas alami maupun gas-gas pencemar lainnya. Produksi ozon troposfir utamanya melibatkan gas-gas hidrokarbon dan nitrogen oksida serta sinar matahari. Pemakaian bahan bakar fosil merupakan sumber utama produksi ozon troposfir yang berasal dari gas-gas pencemar. Produksi ozon permukaan tidak memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kelimpahan ozon stratosfir. Jumlah ozon permukaan terlalu sedikit dan memindahkan ozon permukaan ke stratosfir tidak cukup efektif. Sebagaimana ozon stratosfir, ozon di troposfir dapat rusak akibat adanya reaksi kimia secara alami maupun yang melibatkan zat-zat kimia buatan manusia.

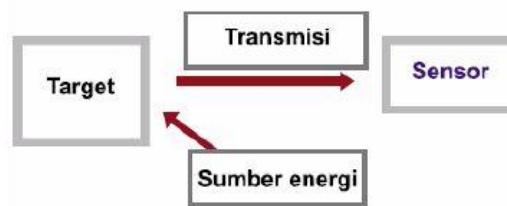
Kelimpahan ozon di stratosfir dan troposfir ditentukan oleh keseimbangan antara proses-proses kimia yang membentuk dan yang merusak ozon. Keseimbangan yang dimaksud disamping ditentukan oleh jumlah gas-gas yang bereaksi juga oleh laju dan efektivitas reaksi yang bervariasi ditentukan oleh intensitas sinar matahari, lokasi, suhu udara, dan faktor-faktor lain. Bila kondisi atmosfer berubah mengarah pada terjadinya reaksi pembentukan ozon maka kelimpahan ozon di suatu tempat akan meningkat. Sebaliknya bila kondisi atmosfer mengarah pada terjadinya reaksi perusakan ozon maka kelimpahan ozon akan menurun. Keseimbangan antara reaksi pembentukan dan perusakan ozon dikombinasikan dengan pergerakan masa udara di atmosfer menentukan distribusi ozon secara global dalam skala waktu harian hingga bulanan. Sejak dekade yang lalu kelimpahan ozon global telah menurun akibat meningkatnya Ketebalan gas-gas reaktif yang mengandung *klorin* dan *bromin* di lapisan stratosfir.

2.2. PENGINDERAAN JAUH (*REMOTE SENSING*)

Penginderaan Jauh didefinisikan sebagai teknik untuk mendapatkan informasi mengenai suatu objek tanpa bersentuhan langsung dengan objek tersebut. Informasi di peroleh dengan mendeteksi dan mengukur perubahan yang ditimbulkan oleh objek tersebut terhadap lingkungan sekitarnya, yaitu medan elektromagnetik, akustik, atau potensial. Termasuk didalamnya emisi atau refleksi elektromagnetik yang ditimbulkan, gelombang akustik yang direfleksikan atau dihamburkan, atau perubahan gravitasi disekelilingnya ataupun potensi medan magnet yang ditimbulkan oleh objek tersebut [5].

Istilah “Remote Sensing” hampir selalu di hubungkan dengan teknik-teknik elektromagnetik dalam memperoleh informasi. Teknik-teknik ini meliputi pemanfaatan terhadap seluruh gelombang elektromagnetik dari gelombang radio frekuensi rendah sampai gelombang microwave, submilimeter, infrared jauh, infrared dekat, visible, ultraviolet, sinar x, dan sinar gamma.

Empat komponen dasar dari sistem penginderaan jauh adalah target, sumber energi, alur transmisi dan sensor. Komponen dalam sistem ini bekerja bersama untuk mengukur dan mencatat informasi mengenai target tanpa menyentuh objek tersebut seperti di perlihatkan dalam Gambar 2.1 [6]. Sumber energi yang menyinari atau memancarkan energi elektromagnetik pada target mutlak diperlukan. Energi berinteraksi dengan target dan sekaligus berfungsi sebagai media untuk meneruskan informasi dari target kepada sensor. Sensor adalah sebuah alat yang mengumpulkan dan mencatat radiasi elektromagnetik. Setelah dicatat, data akan dikirimkan ke stasiun penerima dan di proses menjadi format yang siap pakai, diantaranya berupa citra. Citra ini kemudian di interpretasikan untuk menyarikan informasi mengenai target. Proses interpretasi biasanya merupakan gabungan antara visual dan automatic dengan bantuan komputer dan perangkat lunak pengolah citra.



Gambar 2.1. Interaksi Komponen Penginderaan Jauh

Kehadiran satelit saat ini memungkinkan pengambilan informasi secara global dan detail mengenai planet (termasuk bumi) dan lingkungannya. Sensor dari satelit yang mengorbit bumi menyediakan informasi tentang pola global dan pergerakan awan, lahan vegetasi dan variasinya, struktur morfologi lahan, temperatur permukaan laut, dan pergerakan angin. Kemampuan satelit yang bergerak dengan cepat dan menjangkau area yang luas memungkinkannya untuk mengamati perubahan fenomena dengan cepat, khususnya yang terjadi di atmosfer. Selain itu, masa mengorbit yang lama memungkinkan satelit untuk melakukan pengamatan dalam jangka waktu yang lama, seperti pengamatan terhadap lahan es di kutub, peluasan gurun, dan penebangan hutan tropis.

Sebuah Platform Penginderaan Jauh di rancang sesuai dengan beberapa tujuan khusus. Tipe sensor dan kemampuannya, platform, penerima data, pengiriman dan pemrosesan harus dipilih dan dirancang sesuai dengan tujuan tersebut dan beberapa faktor lain seperti biaya, waktu, dan sebagainya.

Rancangan dan penempatan sebuah sensor terutama ditentukan oleh karakteristik khusus dari target yang ingin dipelajari dan informasi yang di inginkan dari target tersebut. Setiap aplikasi Penginderaan Jauh mempunyai kebutuhan khusus mengenai luas cakupan area, frekuensi pengukuran dan tipe energi yang akan di deteksi. Oleh karena itu sebuah sensor harus mampu memberikan resolusi spasial, spectral dan temporal yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi.

Resolusi Spasial menunjukkan level dari detail yang di tangkap oleh sensor. Semakin detail sebuah studi, semakin tinggi resolusi spasial yang diperlukan. Sebagai ilustrasi, pemetaan penggunaan lahan memerlukan resolusi spasial yang lebih tinggi daripada sistem pengamatan cuaca berskala besar.

Resolusi Spektral menunjukkan lebar kisaran dari masing-masing band spectral yang di ukur oleh sensor. Untuk mendeteksi kerusakan tanaman dibutuhkan sensor dengan kisaran band yang sempit pada bagian merah.

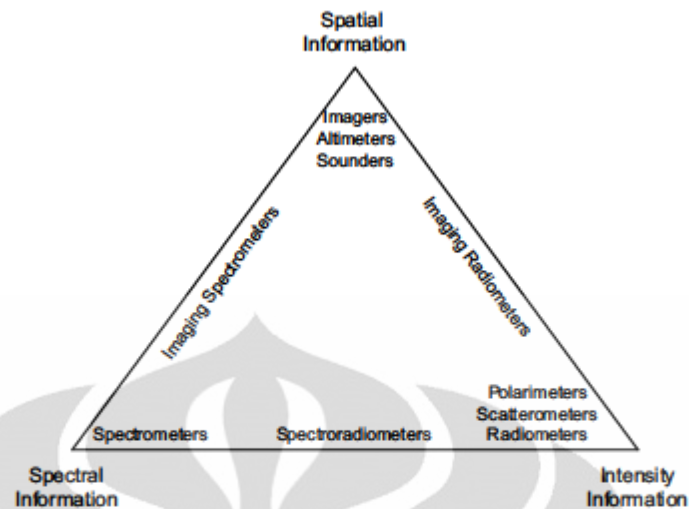
Resolusi Temporal menunjukkan interval waktu antar pengukuran. Untuk memonitor perkembangan badai, diperlukan pengukuran setiap beberapa menit. Produksi tanaman membutuhkan pengukuran setiap musim, sedangkan pemetaan geologi hanya membutuhkan sekali pengukuran.

Perbedaan jenis data penginderaan jauh dan karakteristiknya dapat dilihat dalam Tabel 2.1 [5].

Tabel 2.1 Tipe Data Penginderaan Jauh

Important type of information needed	Type of sensor	Examples of sensors
High spatial resolution and wide coverage	Imaging sensors, cameras	Large-format camera (1984), Seasat imaging radar (1978), Magellan radar mapper (1989), Mars Global Surveyor Camera (1996), Mars Rover Camera (2004)
High spectral resolution over limited areas or along track lines	Spectrometers, spectroradiometers	Shuttle multispectral imaging radiometer (1981), Hyperion (2000)
Limited spectral resolution with high spatial resolution	Multispectral mappers	Landsat multispectral mapper and thematic mapper (1972–1999), SPOT (1986–2002), Galileo NIMS (1989)
High spectral and spatial resolution	Imaging spectrometer	Spaceborne imaging spectrometer (1991), ASTER (1999), Hyperion (2000)
High-accuracy intensity measurement along line tracks or wide swath	Radiometers, scatterometers	Seasat (1978), ERS-1/2 (1991, 1997), NSCAT (1996), QuikSCAT (1999), SeaWinds (2002) scatterometers
High-accuracy intensity measurement with moderate imaging resolution and wide coverage	Imaging radiometers	Electronically scanned microwave radiometer (1975), SMOS (2007)
High-accuracy measurement of location and profile	Altimeters, sounders	Seasat (1978), GEOSAT (1985), TOPEX/Poseidon (1992), and Jason (2001) altimeter, Pioneer Venus orbiter radar (1979), Mars orbiter altimeter (1990)
Three-dimensional topographic mapping	Scanning altimeters and interferometers	Shuttle Radar Topography Mission (2000)

Sedangkan hubungan antara sensor dengan informasi yang didapatkannya di ilustrasikan pada gambar 2.2 [5]



Gambar 2.2 Hubungan antara Sensor dengan Informasi yang di dapatkannya

Radiometer adalah alat pengukur level energi dalam kisaran panjang gelombang tertentu, yang disebut channel. Penginderaan Jauh multispectral menggunakan sebuah radiometer yang berupa deretan dari banyak sensor, yang masing-masing peka terhadap sebuah channel atau band dari panjang gelombang tertentu. Data spectral yang dihasilkan dari suatu target berada dalam kisaran level energi yang ditentukan.

Radiometer yang dibawa oleh pesawat terbang atau satelit mengamati bumi dan mengukur level radiasi yang dipantulkan atau dipancarkan dari benda-benda yang ada di permukaan bumi atau pada atmosfer. Karena masing-masing jenis permukaan bumi dan tipe partikel pada atmosfer mempunyai karakteristik spectral yang khusus (*spectral signature*) maka data ini bisa dipakai untuk menyediakan informasi mengenai sifat target. Pada permukaan yang rata, hampir semua energi dipantulkan dari permukaan pada suatu arah, sedangkan pada permukaan kasar, energy dipantulkan hampir merata ke semua arah. Pada umumnya permukaan bumi berkisar diantara kedua ekstrim tersebut, tergantung pada kekasaran permukaan.

Pengetahuan mengenai perbedaan *spectral signature* dari berbagai bentuk di permukaan bumi memungkinkan kita untuk menginterpretasi citra.

Ada dua tipe deteksi yang dilakukan oleh sensor : deteksi pasif dan aktif [6]. Banyak bentuk Penginderaan Jauh yang menggunakan deteksi pasif, dimana sensor mengukur level energi yang secara alami dipancarkan, dipantulkan, atau dikirimkan oleh target. Sensor ini hanya bias bekerja apabila terdapat sumber

energi yang alami. Pada umumnya sumber radiasi adalah matahari, sedangkan pada malam hari atau apabila permukaan bumi tertutup awan, debu, asap dan partikel atmosfer lain, pengambilan data dengan cara deteksi pasif tidak bias dilakukan dengan baik.

Sedangkan pada deteksi aktif, Penginderaan Jauh menyediakan sendiri sumber energy untuk menyinari target dan menggunakan sensor untuk mengukur refleksi energi oleh target dengan menghitung sudut refleksi atau waktu yang diperlukan untuk mengembalikan energi. Keuntungan menggunakan deteksi aktif adalah pengukuran bias dilakukan kapan saja. Akan tetapi system aktif ini memerlukan energi yang cukup besar untuk menyinari target.

2.3. MODIS

MODIS (*Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer*) merupakan sebuah instrumen yang dibuat untuk tujuan pengamatan dinamika global yang terjadi di bumi. Dinamika global merupakan istilah untuk menggambarkan perubahan atmosfer bumi, lautan, dan lahan (terrestrial) [7].

Instrumen MODIS dioperasikan di dalam dalam satelit Terra dan Aqua. Orbit satelit Terra di sekeliling bumi diatur waktunya sedemikian sehingga melewati ekuator di pagi hari dari utara ke selatan. Sementara itu satelit Aqua melewati ekuator di sore hari dari selatan ke utara. Dengan demikian Terra/Aqua MODIS mengamati seluruh permukaan bumi setiap 1 hingga 2 hari. Kedua satelit ini mendapatkan data dalam 36 kanal spectrum (*spectral band*). Data ini akan digunakan untuk membantu meningkatkan pemahaman terhadap dinamika global dan proses yang terjadi di bumi baik di daratan, lautan maupun atmosfer.

2.3.1. Komponen MODIS

MODIS telah dirancang dan dikembangkan sejak pertengahan tahun 1995. Terra diluncurkan pada 18 Desember 1999 dan Aqua diluncurkan pada 4 Mei 2002. Instrumen MODIS dirancang dengan beberapa kemampuan antara lain adalah pemetaan atmosfer, darat dan laut dalam satu instrumen dan resolusi

spectral kanal 1000m, 500m dan 250m. Adapun resolusi spasial MODIS untuk kanal 1 dan 2 ($0.6 \mu\text{m} - 0.9 \mu\text{m}$) yaitu 250 m, untuk kanal 3 sampai 7 ($0.4 \mu\text{m} - 2.1 \mu\text{m}$) yaitu 500 m, untuk kanal 8 sampai 36 ($0.4 \mu\text{m} - 14.4 \mu\text{m}$) yaitu 1 km [8].

2.3.2. Spesifikasi MODIS

Berikut ini adalah spesifikasi teknik dari sensor MODIS beserta penggunaan utama dari tiap kanal yang dijelaskan dalam Tabel 2.2.

Orbit	: 705 km, 10:30 a.m. descending node (Terra) atau 1:30 p.m. ascending node (Aqua), sun-synchronous, nearpolar, circular
Kecepatan scan	: 20.3 rpm, cross track
Dimensi swath	: 2330 km (cross track) by 10 km (along track at nadir)
Teleskop	: 17.78 cm diam. off-axis, afocal (collimated), with intermediate field stop Ukuran : 1.0 x 1.6 x 1.0 m
Berat	: 228.7 kg
Daya	: 162.5 W (single orbit average)
Kecepatan data	: 10.6 Mbps (peak daytime); 6.1 Mbps (orbital average)
Kuantisasi	: 12 bit
Resolusi spasial	: 250 m (kanal 1-2) 500 m (kanal 3-7) 1000m (kanal 8-36)
Rancangan usia pakai	: 6 tahun

Tabel 2.2 Pembagian kanal MODIS dan karakteristiknya

Penggunaan Utama	Band	Bandwidth	Spectral Radiance
Batas daratan/awan/aerosol	1	620 – 670	21.8
	2	841 – 876	24.7
Karakteristik daratan/awan/aerosol	3	459 – 479	35.3
	4	545 – 565	29
	5	1230 – 1250	5.4
	6	1628 – 1652	7.3
	7	2105 – 2155	1
Warna luat/fitoplankton/biokimia	8	405 – 420	44.9
	9	438 – 448	41.9
	10	483 – 493	32.1
	11	526 – 536	27.9
	12	546 – 556	21
	13	662 – 672	9.5
	14	673 – 683	8.7
	15	743 – 753	10.2
	16	862 – 877	6.2
Uap air/atmosfer	17	890 – 920	10
	18	931 – 941	3.6
	19	915 – 965	15
Suhu permukaan/awan	20	3660 – 3840	0.45
	21	3929 – 3989	2.38
	22	3929 – 3989	0.67
	23	4020 – 4080	0.79
Suhu atmosfer	24	4433 – 4498	0.17
	25	4482 – 4549	0.59
Awan sirus/uap air	26	1360 – 1390	6.00
	27	6535 – 6895	1.16
	28	7175 -7475	2.18
Karakteristik awan	29	8400 – 8700	9.58
Ozon	30	9580 – 9880	3.69
Suhu permukaan/awan	31	10780 – 11280	9.55
	32	11770 – 12270	8.94
Ketinggian awan	33	13185 – 13485	4.52
	34	13485 - 13785	3.76
	35	13785 – 14085	3.11
	36	14085 – 14385	2.08

2.3.3. Data MODIS

Data MODIS terdiri dari beberapa level, penjelasan dari masing-masing level tersebut dijelaskan sebagai berikut :

➤ Data Level 0

Data mentah yang didapatkan langsung dari satelit masih dalam format data transmisi.

➤ Data Level 1a

Data yang telah diperiksa dan direkonstruksi. Data level 1a ini telah mempunyai informasi waktu dan keterangan koefisien kalibrasi serta parameter *georeference*.

➤ Data Level 1b

Data level ini sudah disisipkan beberapa sub-file lain yang berupa data lokasi geografis, data kalibrasi sensor untuk konversi perhitungan digital. Data level 1b dari satelit MODIS berbentuk format file HDF (*Hierarchical Data Format*) berekstensi **.hdf*.

➤ Data Level 2

Data ini merupakan data level 1 yang telah diproses untuk menghasilkan produk geofisik seperti *brightness temperature, radiance, cloud mask, NDVI, SST, LST* dan *fire*.

Data MODIS juga berbeda antara MODIS Aqua dengan MODIS Terra. Hal ini dikarenakan kedua instrumen ini melakukan pengamatan pada waktu yang berbeda.

2.3.4. Hierarchical Data Format (HDF)

Hierarchical Data Format (HDF) adalah format data yang telah dikenal luas yang dikembangkan untuk membantu para ilmuwan dan pembuat program dalam memindahkan, menyimpan dan mendistribusikan sekumpulan data (*dataset*) dan produk yang dibuat pada berbagai mesin dengan perangkat lunak yang berbeda. HDF telah dipilih dalam proyek *Earth Science Data and Information System* (ESDIS) NASA sebagai format untuk distribusi produk

standar yang akan menjadi bagian dari *Earth Observing System Data and Informations System* (EOSDIS) [9].

Fitur HDF

HDF adalah format file *multi-object* untuk berbagi dan menyimpan data ilmiah. Beberapa fitur penting dari HDF adalah sebagai berikut [9] :

1. *Self-describing*: Untuk setiap objek data dalam sebuah file HDF, terdapat juga informasi (atau metadata) tentang tipe data, ukuran, dimensi dan lokasi yang ditemukan dalam file itu sendiri.
2. *Extensibility*: HDF dirancang untuk mengakomodasi tipe data dan model data yang baru.
3. *Versatility*: Saat ini, HDF mendukung enam jenis data yang berbeda dan memperbolehkan perangkat lunak dan aplikasi untuk membaca dan menulis data-data tersebut dalam HDF.
4. *Flexibility*: HDF memungkinkan pengguna untuk mengelompokan, menyimpan, dan membaca / menulis berbagai jenis data dalam file yang sama atau di lebih dari satu file.
5. *Portability*: HDF merupakan platform independen dan dapat dipakai hampir diseluruh platform komputer.
6. *Standardization*: HDF menstandarisasi format dan deskripsi berbagai jenis tipe data yang sering digunakan (contohnya array, gambar, dll).
7. HDF tersedia pada domain publik.

HDF Library

HDF *Library* adalah kumpulan rutin perangkat lunak (*software routines*) yang menyediakan dua jenis interface yang memungkinkan pengguna untuk bekerja dengan file HDF. HDF *Library* mendukung jenis data sebagai berikut :

1. Scientific Data sets
2. Vertex Data (Vdata and Vgroups)
3. General Raster (Gr)

4. Annotation
5. 8-bit Raster images
6. 24-bit Raster images
7. Palette -- 8-bit color palettes (accompany images)

2.4. TOMS

TOMS (*Total Ozone Mapping Spectrometer*) adalah instrumen satelit untuk mengukur nilai ozon. Instrumen-instrumen tersebut adalah Nimbus-7, Meteor 3, ADEOS, *Earth Probe* dan OMI. Nimbus-7 dan Meteor-3 menyediakan pengukuran ketebalan lapisan ozon setiap hari dari November 1978 - Desember 1994. Dilanjutkan dengan peluncuran ADEOS pada 17 Agustus 1996, satelit ini hanya berjalan selama 1 tahun dan dapat dikatakan gagal. *Earth Probe* diluncurkan pada tanggal 2 Juli 1996 untuk menyediakan pengukuran tambahan, tetapi didorong ke orbit yang lebih tinggi untuk menggantikan ADEOS yang gagal. *Earth Probe* mengalami kerusakan pada tanggal 2 Desember 2006 dan untuk selanjutnya sampai sekarang digantikan oleh OMI (*Ozone Monitoring Instrument*).[10]

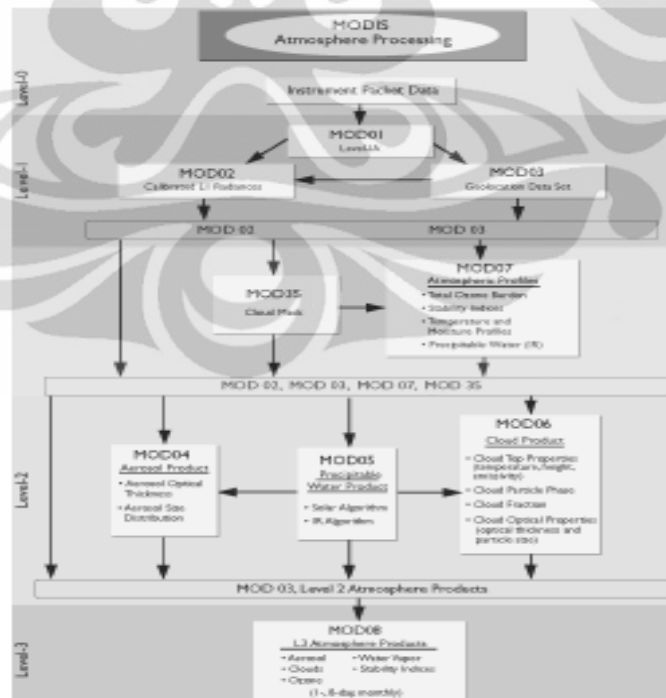
BAB 3

PERANCANGAN SISTEM DAN IMPLEMENTASI

3.1. PENGOLAHAN DATA ATMOSFER MODIS

Pengolahan data dari MODIS dimulai dengan pengolahan terhadap data mentah yaitu data MODIS Level 0. Dengan menggunakan algoritma-algoritma yang telah distandarisasi oleh NASA, diperoleh data level 1A menggunakan algoritma MOD01 dan data level 1B menggunakan algoritma MOD02 dan MD03. Algoritma MOD02 digunakan untuk mendapatkan data radiasi yang telah dikalibrasi dan algoritma MOD03 digunakan untuk memperoleh data geolokasi. Setelah itu data-data level 1 ini dapat diolah menjadi data level 2 dengan menggunakan algoritma yang sesuai dengan produk yang ingin didapatkan.

Pemrosesan data atmosfer beserta data produk yang dihasilkan oleh MODIS dapat dilihat pada Gambar 3.1 [11]

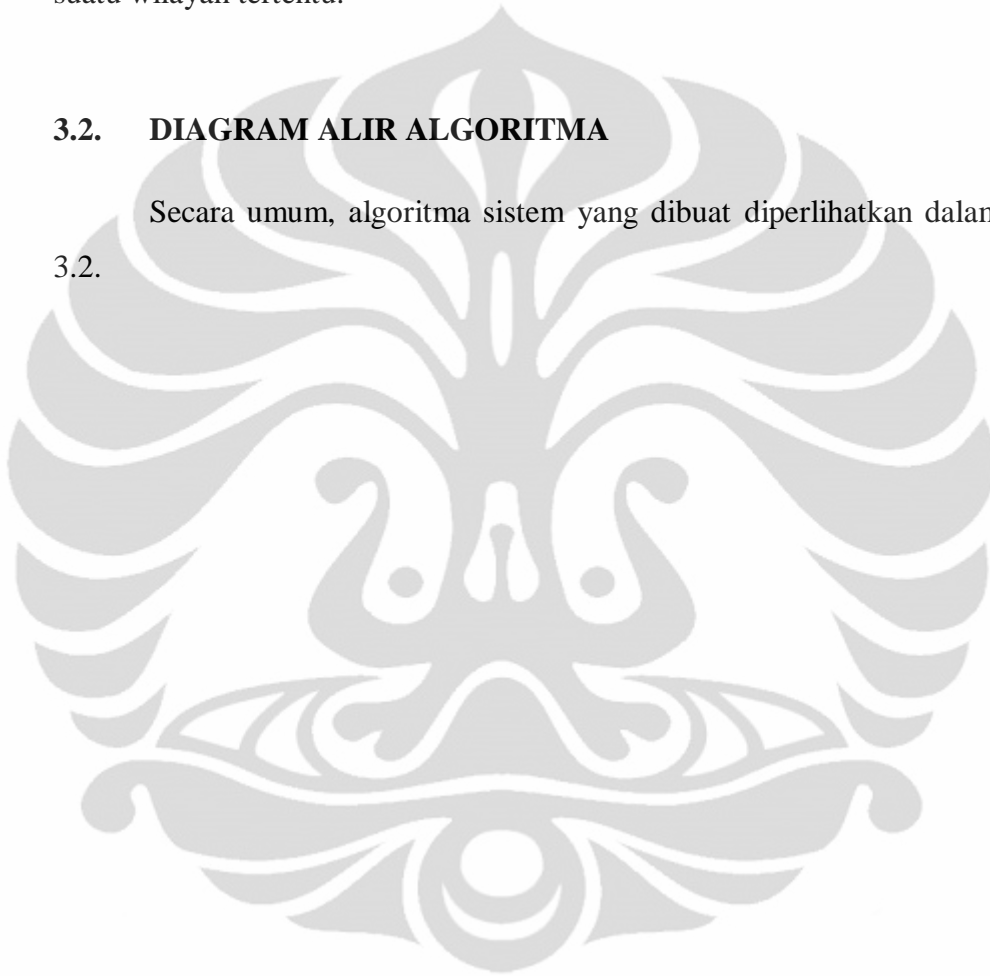


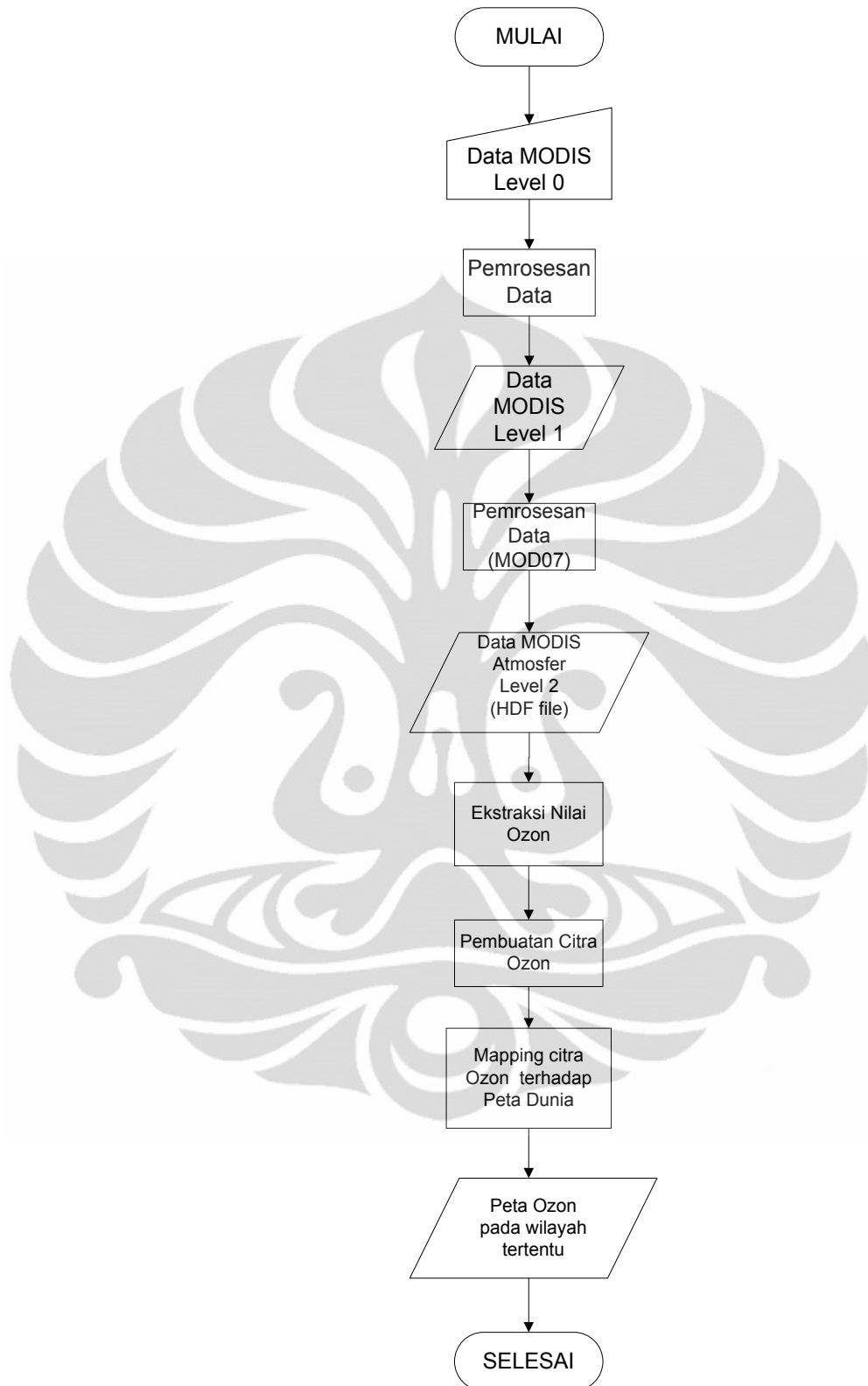
Gambar 3.1 Pemrosesan Data Atmosfer MODIS

Dari gambar 3.1. diatas terlihat bahwa ozon merupakan produk dari Level 2 dan Level 3. Perbedaannya adalah bahwa ozon pada level 2 merupakan perhitungan terhadap Ketebalan ozon wilayah (*swath*) sedangkan pada level 3 merupakan Ketebalan ozon global (*grid*). Data pada level 2 biasanya digunakan oleh ilmuwan atau komunitas tertentu untuk memantau Ketebalan lapisan ozon suatu wilayah tertentu.

3.2. DIAGRAM ALIR ALGORITMA

Secara umum, algoritma sistem yang dibuat diperlihatkan dalam gambar 3.2.





Gambar 3.2 Algoritma Sistem

Penjelasan secara rinci dari diagram alir diatas akan diuraikan dalam sub-bab tersendiri.

3.2.1. Input data MODIS level 0 secara manual

Input awal dari sistem adalah data MODIS level 0, dimana di dalam level ini, file data mengandung banyak sekali informasi (36 Band) yang belum diolah. Format file untuk MODIS level 0 ini adalah PDS (*Planetary Data System*) [12]. File MODIS level 0 ini dapat di download di situs NASA yang berkaitan dengan penyediaan data Atmosfer (<http://ladsweb.nascom.nasa.gov/>). Hal penting yang perlu diperhatikan saat mengambil data level 0 adalah menentukan data di wilayah mana yang akan di ambil dan kapan waktu pengambilannya oleh satelit. Adapun parameter wilayah dan waktu dari data yang akan di ambil disesuaikan dengan kebutuhan, yaitu sebagai berikut :

- a. Wilayah Indonesia pada tanggal 01-02 Mei masing-masing pada tahun 2003, 2005, 2007, 2009 dan 2011.
- b. Wilayah Amerika Serikat pada tanggal 01-02 Mei masing-masing pada tahun 2003, 2005, 2007, 2009 dan 2011.
- c. Wilayah Kutub Selatan / Antartika pada tanggal 10-11 Oktober masing-masing pada tahun 2003, 2005, 2007, 2009 dan 2010.

Pengambilan data pada tanggal 1-2 Mei dimaksudkan agar dapat melihat kondisi ketebalan lapisan ozon pada saat suhu ataupun cuaca berada pada kondisi lebih hangat. Sedangkan pada wilayah Kutub Selatan, pemilihan tanggal 10-11 Oktober dimaksudkan agar dapat diamati kondisi ketebalan lapisan ozon pada saat sinar matahari masuk ke Kutub Selatan.

3.2.2. Pemrosesan Data

Pemrosesan data dari level 0 ke level 1 ini dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak IMAPP (*International MODIS/AIRS Processing Package*). Perangkat lunak ini harus dijalankan di Sistem Operasi *Red Hat 64 bit* atau *CentOS 64 bit*. Saat ini terdapat perangkat lunak IMAPP yang dapat di jalankan secara virtual di lingkungan Windows dengan menggunakan bantuan perangkat lunak VMWare Player, yaitu IMAPP Virtual Appliance (IMAPP VA)

[12]. Perangkat lunak ini lah yang akan digunakan dalam penelitian untuk memproses data dari level 0 sampai level 2.

Untuk mulai memproses data level 0 menggunakan IMAPP VA, pada terminal *linux* digunakan *syntax* pada gambar 3.3 :

```
$ cd dbvm/data/level0
$ touch P0420064AAAAAAAAAAAAAAAAA10067015524001.PDS.event
```

Gambar 3.3 Kode untuk menjalankan pemrosesan data dalam IMAPP

P0420064AAAAAAAAAAAAAAAAA10067015524001.PDS adalah nama salah satu file dari data MODIS level 0 yang akan diproses. File ini terletak di direktori dbvm/data/level0.

Ketika *syntax*

```
$ touch P0420064AAAAAAAAAAAAAAAAA10067015524001.PDS.event
```

dijalankan, maka sistem akan membuat file baru yaitu P0420064AAAAAAAAAAAAAAAAA10067015524001.PDS.event yang akan menandakan kepada system bahwa file tersebut telah siap untuk di proses. Ketika file tersebut mulai diproses, ekstensi file akan berubah lagi menjadi P0420064AAAAAAAAAAAAAAAAA10067015524001.PDS.processing. Kemudian ekstensi *.processing tersebut akan menghilang dalam waktu sekitar 30-60 detik, namun walaupun demikian pemrosesan akan terus berjalan. Pemrosesan data ini hingga mendapatkan data level 1 akan memakan waktu sekitar 2-3 jam tergantung kepada besarnya file yang diproses. Hasil dari pemrosesan data ini adalah data MODIS level 1 dalam format *.hdf yang akan disimpan otomatis dalam direktori dbvm/data/level1.

3.2.3. Input data MODIS level 1

Data MODIS level 1 yang merupakan hasil/output pemrosesan data sebelumnya merupakan input bagi pemrosesan data selanjutnya, adapun untuk setiap file level 0, akan dihasilkan 4 file level 1, yang dapat dilihat pada gambar 3.4 :

```
NamaFile.250m.hdf  
NamaFile.500m.hdf  
NamaFile.1000m.hdf  
NamaFile.geo.hdf
```

Gambar 3.4 Data level 1 yang dihasilkan

Ekstensi file yang dihasilkan disini sudah berupa *.hdf, yang berarti data telah mengalami pengolahan (bukan lagi data mentah). HDF yang dihasilkan disini merupakan HDF-EOS. 3 file yang dihasilkan diatas sudah merupakan data MODIS level 1B untuk masing-masing resolusi 250 meter, 500 meter dan 1 km, satu file lagi yaitu *NamaFile.geo.hdf* merupakan *sub-sample geolocation* data yang berisi data penunjang yang berguna seperti posisi, sudut sensor dan sudut matahari. Data level 1B yang akan digunakan sebagai input untuk pemrosesan selanjutnya adalah data level 1B resolusi 1 km, karena data produk ozon hanya bisa didapatkan dari resolusi 1 km.

3.2.4. Pemrosesan data (MOD07)

Algoritma yang digunakan untuk memproses data level 1 menjadi data level 2 ini disebut dengan ATBD. Dalam hal ini, Ketebalan Lapisan Ozon dihitung menggunakan ATBD MOD07, yang merupakan algoritma untuk menghasilkan produk *Atmospheric Profile*, termasuk *Total Column Ozone*. Ketebalan Lapisan Ozon sendiri merupakan bagian dari *Atmospheric Profile* [13].

Algoritma MOD07 ini adalah sebuah algoritma regresi statistik (*statistical regression*) dengan opsi penambahan metode fisis (*physical retrieval*). Prosedur pencarian ini melibatkan linearisasi dari model transfer radiatif (*radiative transfer model*) dan inversi dari pengukuran radiasi. [14]

Adapun algoritma yang digunakan untuk mendapatkan nilai *total column ozone* (*Dobson Unit*) dapat dijelaskan berdasarkan kode dalam file *total_ozone.f* yang ada di direktori *modis/dbvm/apps/imapp_modisl2/src/profiles/src* dalam IMAPP VA. Kode yang dimaksud ditulis dalam bahasa *Fortran*. Kode lengkap

dapat dilihat di dalam lampiran. Gambar 3.5 memperlihatkan potongan kode yang dimaksud.

```

c ... Integrate the profile
  total = 0.0
  phd1 = o3ppmv(1)
  tem1 = p(1)
  do ip = 2, 1s
    phd2 = o3ppmv(ip)
    tem2 = p(ip)
    total = total + 0.5 * (phd1 + phd2) * (tem2 -
tem1)
    phd1 = phd2
    tem1 = tem2
  end do
  total = total * oct

END

```

Gambar 3.5 Kode di dalam IMAPP yang menjelaskan Algoritma perhitungan ketebalan lapisan ozon

Total column ozone merupakan nilai ozon dalam suatu layer yang dibatasi oleh dua level tekanan. Sesuai dengan kode diatas, maka pengertian *total column ozone* dapat dirumuskan seperti terlihat pada persamaan 3.1.

$$Total\ column\ ozone = \frac{(phd1 + phd2)(tem2 - tem1)}{2}$$

(Persamaan 3.1)

Dimana :

Total column ozone adalah ketebalan lapisan ozon dalam Dobson Unit.

tem1 dan *tem2* adalah level tekanan (*pressure level*) yang saling berbatasan/berdekatan. (hPa)

phd1 dan *phd2* adalah nilai ozone dalam ppmv (*part per milion by volume*), dalam level tekanan yang saling berbatasan/berdekatan.

3.2.5. Output : Data MODIS atmosfer level 2

Output yang dihasilkan setelah pemrosesan menggunakan algoritma MOD07 adalah berupa file data MODIS atmosfer level 2 dalam format *.hdf. File ini sudah berisi data-data ilmiah (*scientific data set*) untuk menghasilkan produk atmosfer seperti *Total Ozone*, *Temperature Profile*, *Atmospheric Stability*, *Moisture Profile*, dan *atmospheric water vapor*.

File hdf yang dihasilkan memiliki format penamaan yang berbeda antara MODIS Aqua dengan MODIS Terra, dimana untuk MODIS Aqua, nama file berawalan MYD sedangkan untuk MODIS Terra nama file berawalan MOD.

3.2.6. Ekstraksi Nilai Ketebalan Lapisan Ozon

Nilai ozon yang telah dihasilkan di simpan dalam suatu Scientific Data Set (SDS) di dalam file HDF yang dapat dilihat dan di ekstraksi menggunakan beberapa perangkat lunak. Perangkat yang digunakan adalah *hdftool* [15]. Dari *dataset* tersebut kemudian dapat dihitung nilai rata-rata total ozon pada daerah tersebut. Adapun dataset yang dihasilkan memiliki dimensi 406 x 270.

3.2.7. Pembuatan Citra Ketebalan Lapisan Ozon

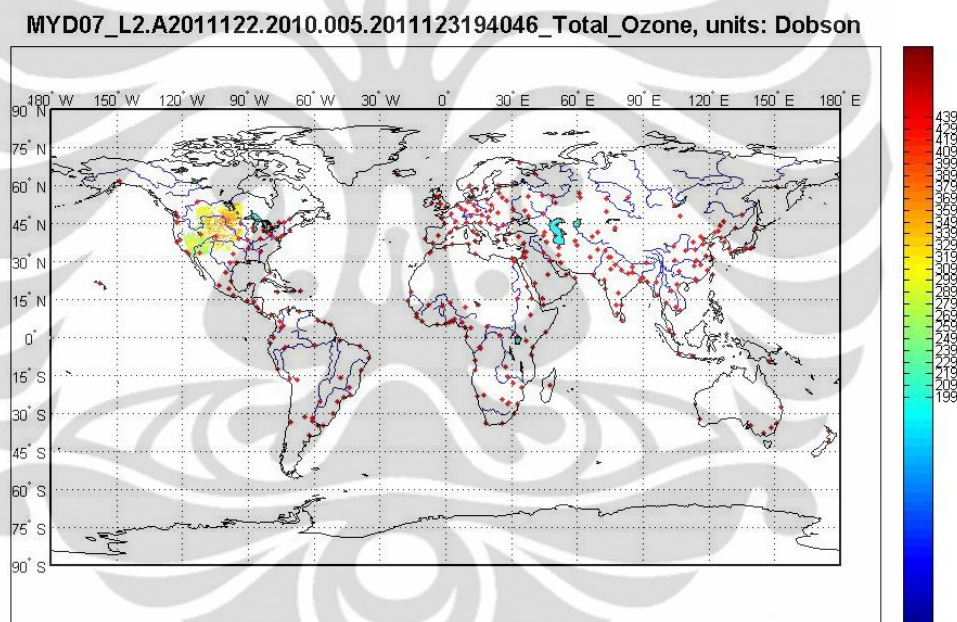
Pembuatan citra ketebalan lapisan ozon ini menggunakan perangkat lunak pengolahan data matematis, dimana citra yang dihasilkan adalah berdasarkan data yang telah didapatkan. Data-data berupa angka tersebut nantinya akan diubah menjadi warna-warna yang telah ditentukan sebelumnya. Setiap satu data di dalam dataset akan merepresentasikan satu piksel warna dalam citra yang dihasilkan.

Dalam penelitian ini, bentangan warna yang digunakan adalah 'Jet', yaitu bentangan warna dari biru ke merah [15]. Data minimal diset 0 dan data maksimal diset 500.

3.2.8. Mapping Citra Lapisan Ozon terhadap Peta Dunia (Global)

Pada tahap ini, citra yang telah dihasilkan akan diplot didalam peta dunia (*globe*) dengan memanfaatkan data *latitude* dan *longitude* yang ada di dalam dataset. Terdapat dua pemetaan yang dilakukan dalam penelitian, yaitu pemetaan terhadap peta global yang berbentuk datar, dan pemetaan terhadap peta *globe* wilayah Kutub Selatan.

Dalam implementasi yang dilakukan, digunakan proyeksi peta `'eqdcylin'`, yang merupakan fungsi untuk mendapatkan peta dunia yang datar. Gambar 3.9 adalah tampilan dari peta yang dihasilkan dengan menggunakan proyeksi `'eqdcylin'`.

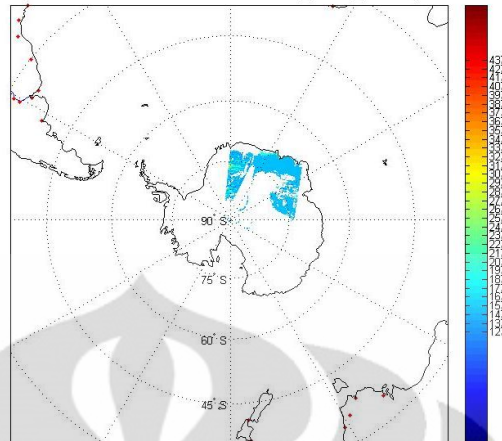


Gambar 3.6 Peta Dunia hasil Proyeksi 'eqdcylin'

- **Pemetaan terhadap peta Kutub Selatan**

Proyeksi peta yang digunakan adalah `'stereo'` yang merupakan proyeksi khusus untuk daerah kutub [15]. Gambar 3.12 adalah tampilan dari peta yang dihasilkan dengan menggunakan proyeksi `'stereo'`.

MOD07_L2.A2005283.0400.005.2010161214042_Total_Ozone, units: Dobson



Gambar 3.7 Peta Dunia hasil Proyeksi 'stereo'

3.2.9. Keluaran/Output : Peta Ketebalan Lapisan Ozon pada wilayah tertentu

Keluaran dari sistem ini adalah berupa citra *swath*, yaitu citra pada wilayah tertentu. Pada satu wilayah yang diamati dalam satu hari, terdapat lebih dari satu *swath* yang dihasilkan. Penjelasan lebih rinci mengenai keluaran yang dihasilkan akan dijelaskan pada bab 4.

BAB 4

HASIL DAN ANALISA

Jumlah citra ozon yang didapatkan dari hasil pemrosesan data berbeda-beda untuk tiap wilayah. Berikut ini adalah data jumlah citra yang dihasilkan dari masing-masing wilayah :

- ❖ Wilayah Indonesia dan sekitarnya : 10 citra
- ❖ Wilayah Amerika Serikat dan sekitarnya : 10 citra
- ❖ Wilayah Kutub Selatan : 8 – 10 citra

Setiap satu citra akan diambil nilai ozon rata-rata dari setiap titik di citra tersebut, untuk kemudian akan dihitung juga nilai ozon rata-rata pada masing-masing wilayah untuk Instrumen *Aqua* maupun *Terra* pada waktu-waktu yang telah ditentukan.

4.1. ANALISIS TEMPORAL

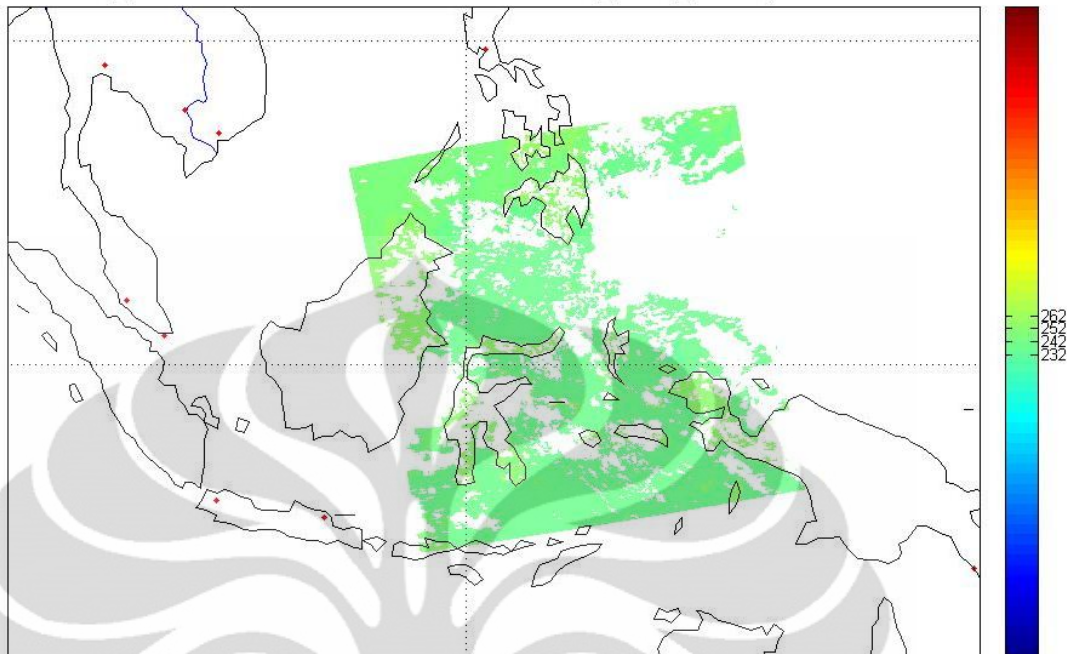
Analisis temporal merupakan analisis perubahan fenomena yang diamati menurut pola waktu tertentu. Dalam hal ini, pola waktunya adalah perubahan setiap 2 tahun.

4.1.1. KETEBALAN LAPISAN OZON PADA WILAYAH INDONESIA

A. AQUA

Gambar 4.1 adalah contoh citra ketebalan lapisan ozon di wilayah Indonesia yang dihasilkan untuk Instrumen MODIS Aqua :

MYD07_L2.A2005121.0505.005.2010093025624_Total_Ozone, units: Dobson

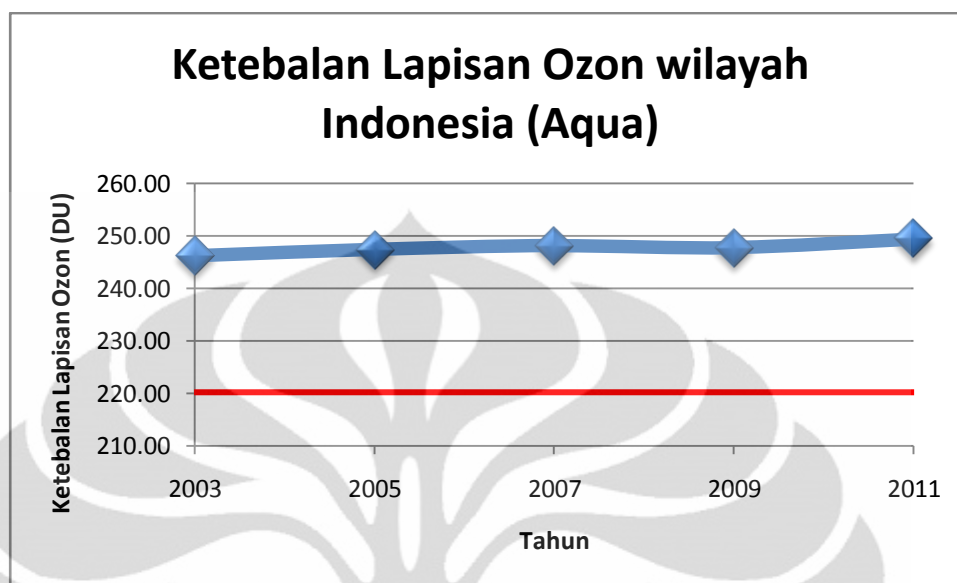


Gambar 4.1 (MODIS Aqua) ketebalan lapisan ozon untuk wilayah Indonesia (02 Mei 2005)

Rangkuman dari data yang dihasilkan dari instrumen MODIS aqua wilayah Indonesia dapat dilihat dari tabel 4.1 dan gambar grafik 4.2.

Tabel 4.1 Data Ketebalan Lapisan Ozon untuk wilayah Indonesia (MODIS Aqua)

Citra Ke	[AQUA] Ozon rata-rata (DU)				
	2003	2005	2007	2009	2011
1	244.84	242.59	248.82	251.33	249.76
2	238.50	257.06	258.93	251.15	247.38
3	241.75	246.47	245.69	240.53	247.14
4	253.26	243.67	243.54	251.89	251.27
5	240.23	244.77	247.96	245.06	249.91
6	247.13	250.58	252.19	246.25	242.36
7	258.22	248.91	248.85	241.45	247.76
8	243.82	243.73	242.19	257.62	255.11
9	254.83	244.45	238.90	247.24	252.23
10	240.05	252.10	254.80	245.25	251.66
Rata-rata	246.26	247.43	248.19	247.78	249.46
minimum	238.50	242.59	238.90	240.53	242.23
maximum	258.22	257.06	258.93	257.62	255.11

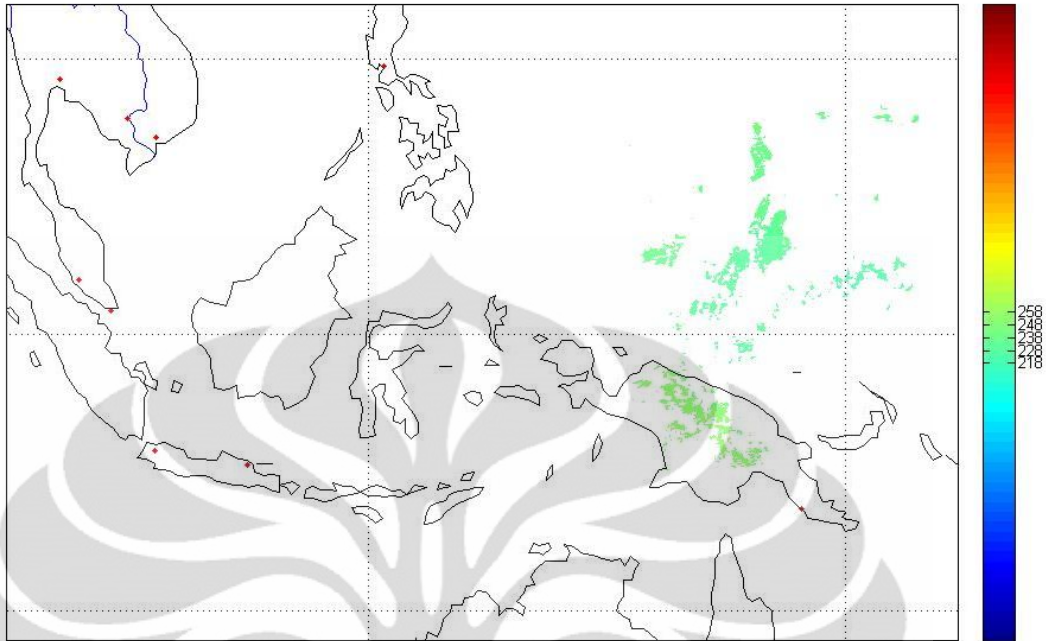


Gambar 4.2. Grafik Rata-Rata Ketebalan Lapisan Ozon wilayah Indonesia (Aqua)

Dari tabel 4.1 dan gambar 4.2 dapat dilihat bahwa rata-rata ketebalan lapisan ozon di wilayah Indonesia cenderung mengalami kenaikan pada 8 tahun terakhir. Kenaikan ketebalan lapisan ozon dari tahun 2003 ke 2011 mencapai 3,2 DU atau 1,2 %. Angka ini memang cukup kecil, namun demikian hal ini merupakan sesuatu yang positif karena tidak terjadinya penipisan lapisan ozon, kecuali pada tahun 2009. Pada tahun 2009, penurunan terjadi sebesar 0,41 DU dari tahun 2007. Angka penurunan ini tergolong sangat kecil dan dapat disebabkan oleh fenomena penurunan ketebalan lapisan ozon global ataupun karena cukup banyaknya nilai ozon yang tidak bisa didapatkan (*unretrieval*) pada saat itu.

Dari tabel juga dapat dilihat bahwa nilai ozon rata-rata terendah terjadi pada tahun 2003, dimana saat itu terdapat satu citra yang nilai ozon rata-rata nya adalah 238,50 DU. Citra tersebut ditunjukkan dalam gambar 4.3

MYD07_L2.A2003121.0345.005.2010043200123_Total_Ozone, units: Dobson

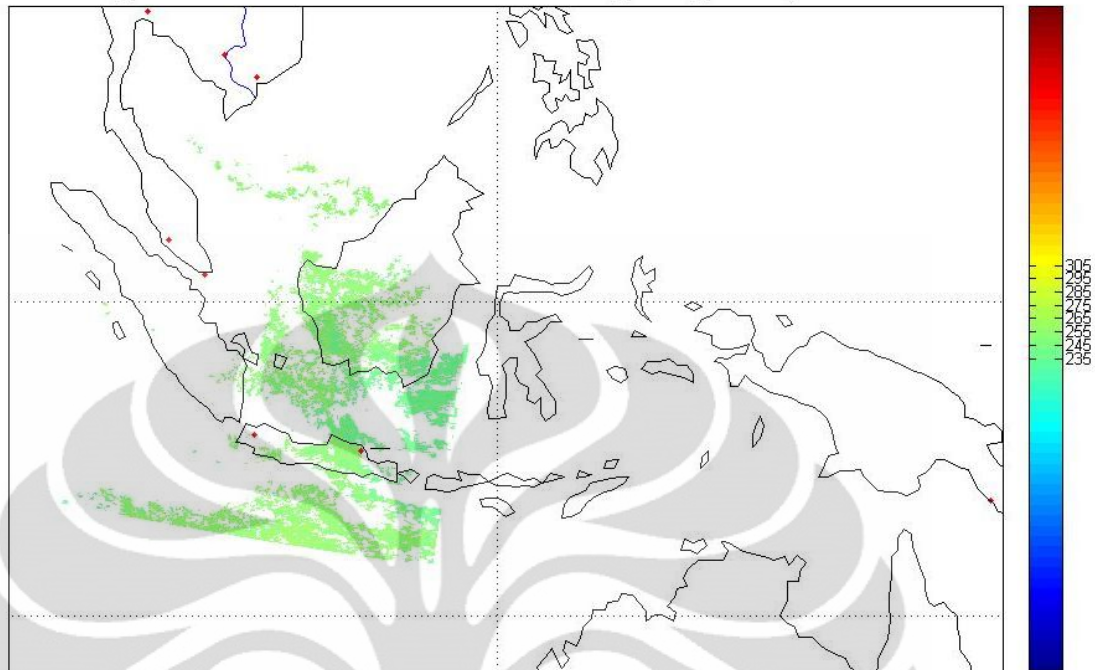


Gambar 4.3 wilayah dengan ozon rata-rata terendah pada 2003 (Aqua)

B. TERRA

Gambar 4.4 adalah contoh citra ketebalan lapisan ozon di wilayah Indonesia yang dihasilkan untuk Instrumen MODIS Terra :

MOD07_L2.A2009122.0315.005.2010241192741_Total_Ozone, units: Dobson

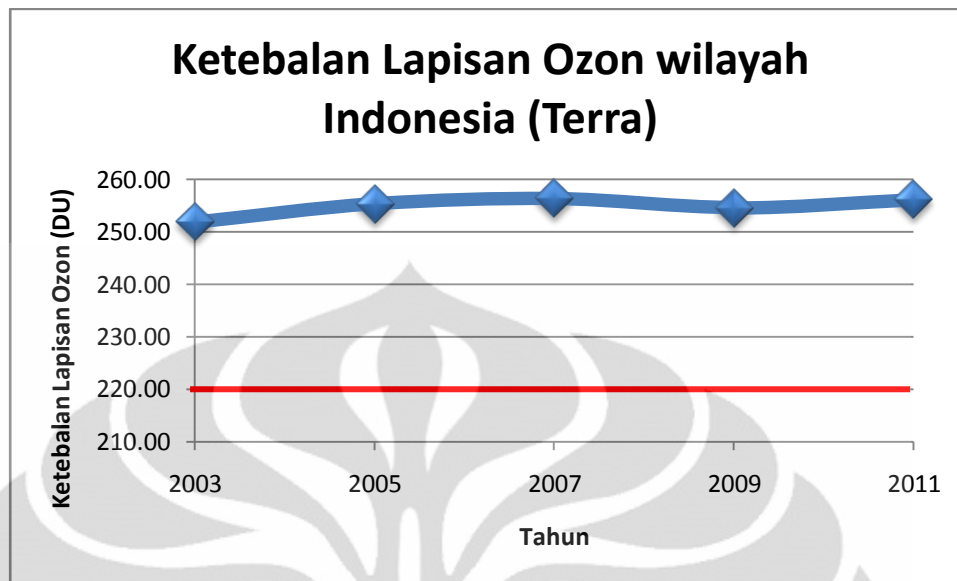


Gambar 4.4 (MODIS Terra) ketebalan lapisan ozon untuk wilayah Indonesia (02 Mei 2009)

Rangkuman dari data yang dihasilkan dari instrumen MODIS Terra wilayah Indonesia dapat dilihat dari tabel 4.2 dan gambar 4.5.

Tabel 4.2 Data Ketebalan Lapisan Ozon untuk wilayah Indonesia (MODIS Terra)

Citra Ke	[TERRA] Ozon rata-rata (DU)				
	2003	2005	2007	2009	2011
1	242.45	258.81	250.21	251.80	266.33
2	252.01	254.67	250.84	250.77	248.79
3	247.49	254.41	269.91	249.65	256.54
4	253.54	253.37	247.14	255.35	252.93
5	245.76	257.00	269.72	258.18	262.85
6	249.67	259.19	255.13	249.11	249.91
7	251.55	249.82	268.89	256.60	268.69
8	261.46	254.39	245.71	251.87	247.30
9	249.02	253.17	261.49	261.00	249.28
10	266.30	258.77	245.10	261.87	259.32
Rata-rata	251.93	255.36	256.41	254.62	256.19
minimum	242.45	249.82	245.10	249.11	247.30
maximum	266.30	259.19	269.91	261.87	268.69

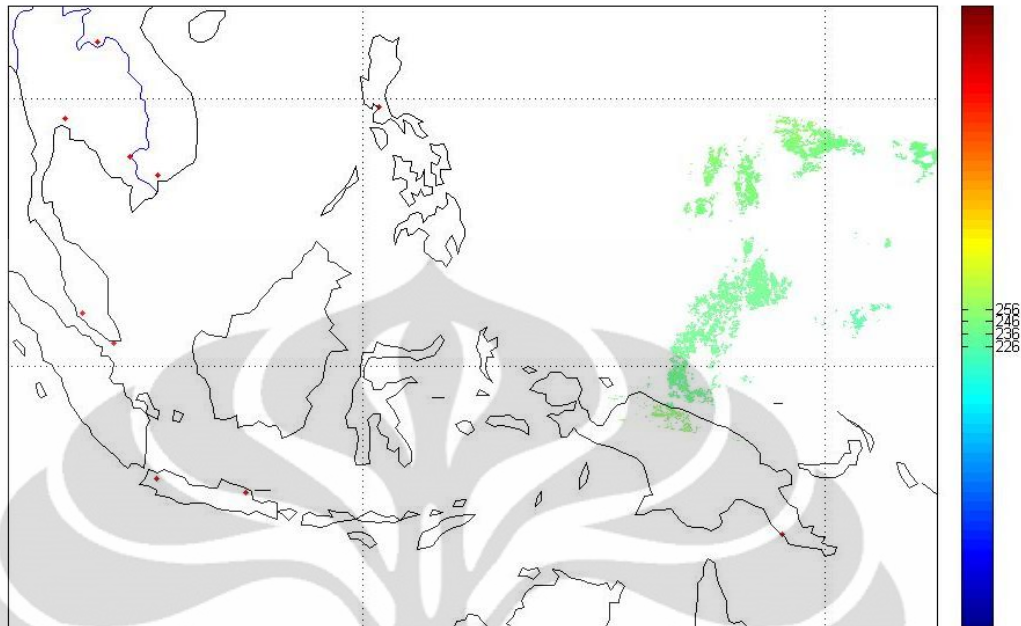


Gambar 4.5 Grafik Rata-Rata Ketebalan Lapisan Ozon wilayah Indonesia (Terra)

Tabel 4.2 dan Gambar 4.5 menunjukkan bahwa data yang dihasilkan oleh instrumen MODIS Terra memiliki pola yang hampir serupa dengan yang dihasilkan oleh instrumen MODIS Aqua untuk wilayah Indonesia, dimana rata-rata ketebalan lapisan ozon cenderung meningkat kecuali pada tahun 2009. Peningkatan rata-rata ketebalan lapisan ozon dari tahun 2003 ke 2011 adalah sebesar 4,26 DU atau sekitar 1,6%, yang berarti sedikit lebih besar dari data yang dihasilkan oleh instrumen MODIS Aqua. Penurunan yang terjadi pada tahun 2009 adalah sebesar 1,79 DU dari tahun 2007 (256,41).

Nilai rata-rata lapisan ozon terendah ditemukan pada tahun 2003 dengan nilai 242,45. Ditahun ini pula, rata-rata lapisan ozon wilayah Indonesia mencapai nilai terendah. Gambar 4.6 adalah citra wilayah di Indonesia dengan rata-rata lapisan ozon paling rendah.

MOD07_L2.A2003121.0050.005.2010147135255_Total_Ozone, units: Dobson



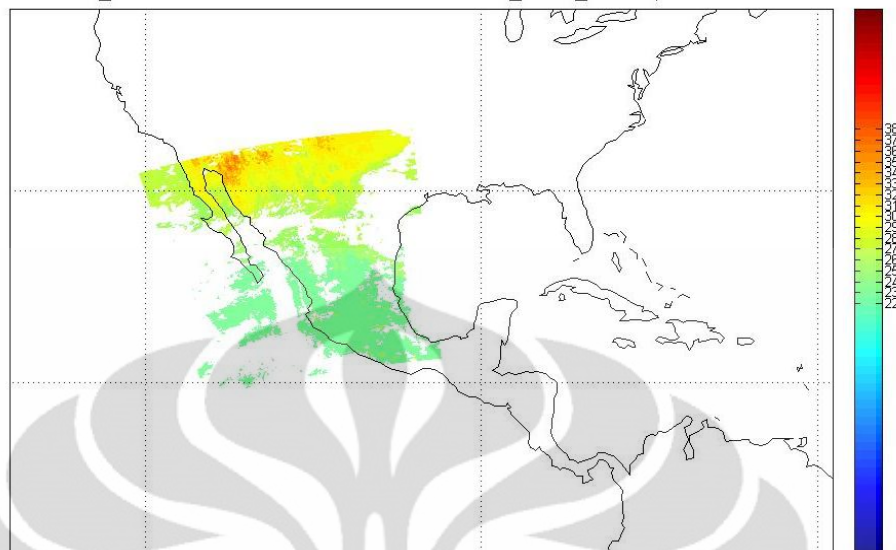
Gambar 4.6 wilayah dengan ozon rata-rata terendah pada 2003 (Terra)

4.1.2. KETEBALAN LAPISAN OZON PADA WILAYAH AMERIKA SERIKAT

A. AQUA

Gambar 4.7 adalah contoh citra ketebalan lapisan ozon di wilayah Indonesia yang dihasilkan untuk Instrumen MODIS Aqua.

MYD07_L2.A2003121.2020.005.2010043201334_Total_Ozone, units: Dobson

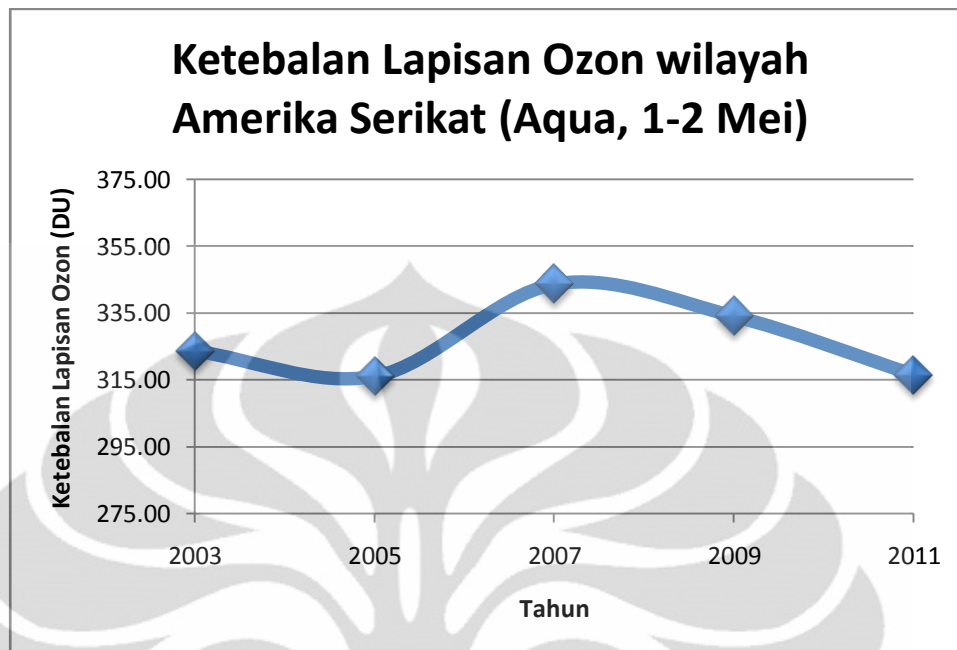


Gambar 4.7 (MODIS Aqua) ketebalan lapisan ozon untuk wilayah Amerika Serikat (01 Mei 2011)

Rangkuman dari data yang dihasilkan dari instrumen MODIS Aqua untuk wilayah Amerika Serikat dapat dilihat dari tabel 4.3 dan gambar 4.8.

Tabel 4.3 Data Ketebalan Lapisan Ozon untuk wilayah Amerika Serikat (MODIS Aqua)

Citra Ke	[AQUA] Ozon rata-rata (DU)				
	2003	2005	2007	2009	2011
1	299.63	278.89	385.02	282.83	356.26
2	267.73	367.09	326.08	280.51	284.51
3	376.47	280.24	370.27	366.26	294.01
4	339.6	374.12	304.98	355.15	306.31
5	263.26	338.58	290.15	423.1	336.31
6	378.36	265.41	390.11	330.17	287.97
7	307.35	332.21	308.36	274.38	268.48
8	384.81	267.19	351.02	392.17	412.72
9	324.53	368.07	328.52	363.24	349.49
10	294.72	289.24	382.51	272.8	269.49
Rata-rata	323.65	316.10	343.70	334.06	316.56
minimum	263.26	265.41	290.15	272.80	268.48
maximum	384.81	374.12	390.11	423.10	412.72



Gambar 4.8 Grafik Rata-Rata Ketebalan Lapisan Ozon wilayah Amerika Serikat (Aqua)

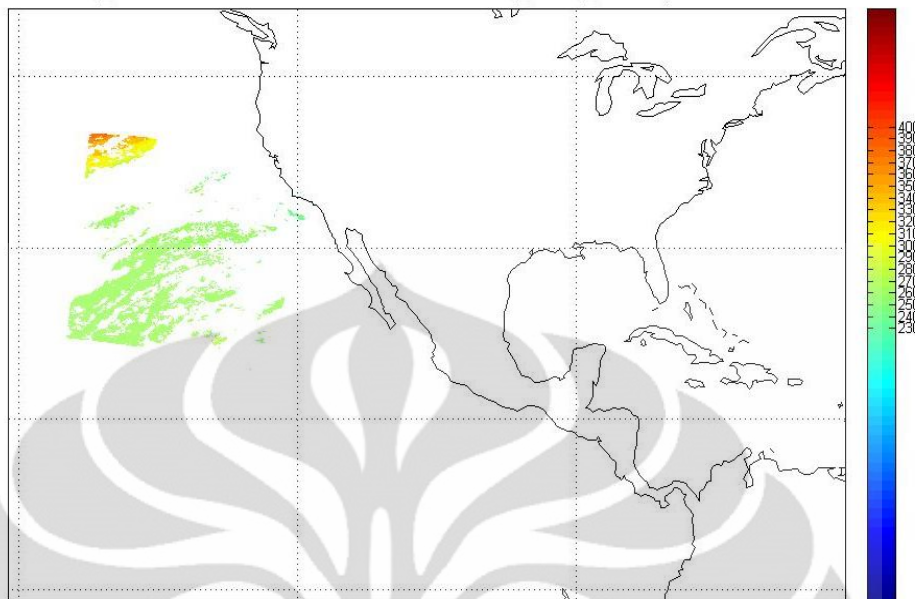
Tabel 4.3 dan Gambar 4.8. menunjukkan adanya penurunan ketebalan rata-rata lapisan ozon di wilayah Amerika Serikat pada tahun 2005, 2009 dan 2011. Dari sini terlihat bahwa penurunan ketebalan rata-rata lapisan ozon dari tahun 2007 ke 2011 terjadi cukup ekstrem yaitu mencapai 27,14 DU atau sekitar 7,8 %. Namun, sekalipun terjadi penurunan yang ekstrem, rata-rata ketebalan lapisan ozon di Wilayah Amerika masih tetap berapa di atas 300 DU, dan nilai minimum ketebalan lapisan ozon selama masa 2003-2011 adalah 263,26 DU, yang berarti masih sangat jauh dari fenomena lubang ozon.

Penurunan rata-rata lapisan ozon ini dapat terjadi karena penurunan lapisan ozon global selama masa tersebut dimana diketahui bahwa pada satu dekade kebelakang, suhu bumi semakin meningkat. Hal ini dapat menyebabkan Bahan-bahan Perusak Ozon (BPO) akan semakin cepat mencapai lapisan stratosfer.

B. TERRA

Gambar 4.9 adalah contoh citra ketebalan lapisan ozon di wilayah Indonesia yang dihasilkan untuk Instrumen MODIS Terra.

MOD07_L2.A2009122.1935.005.2010241111851_Total_Ozone, units: Dobson

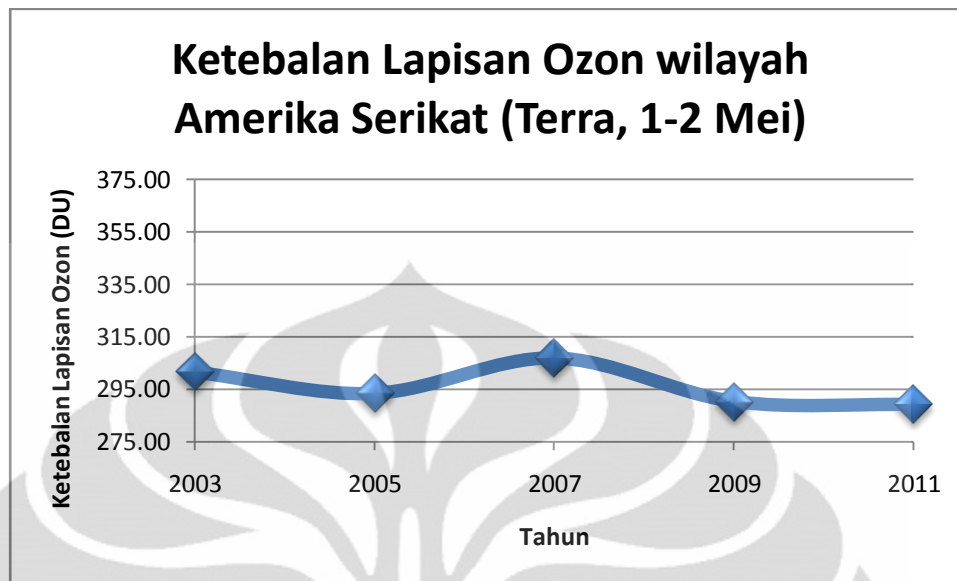


Gambar 4.9 (MODIS Terra) ketebalan lapisan ozon untuk wilayah Amerika Serikat (02 Mei 2009)

Rangkuman dari data yang dihasilkan dari instrumen MODIS Terra untuk wilayah Amerika Serikat dapat dilihat dari tabel 4.4 dan gambar 4.10.

Tabel 4.4 Data Ketebalan Lapisan Ozon untuk wilayah Amerika Serikat (MODIS Terra)

Citra Ke	[TERRA] Ozon rata-rata (DU)				
	2003	2005	2007	2009	2011
1	260.45	305.3	286.41	286.89	270.84
2	302.12	258.9	325.68	262.06	314.35
3	374.65	303.69	304	262.78	254.78
4	278.76	339.53	286.56	317.68	375.16
5	342.17	256.12	355.28	309.28	257.41
6	292.45	287.97	259.82	264.23	304.1
7	258.19	264.25	303.72	346.76	259.91
8	271.86	332.9	325.77	269.94	262.05
9	349.92	272.91	265.86	333.86	328.04
10	286.16	312.39	355.38	249.66	265.22
Rata-rata	301.67	293.40	306.85	290.31	289.19
minimum	258.19	256.12	259.82	249.66	254.78
maximum	374.65	339.53	355.38	346.76	375.16



Gambar 4.10 Grafik Rata-Rata Ketebalan Lapisan Ozon wilayah Amerika Serikat (Terra)

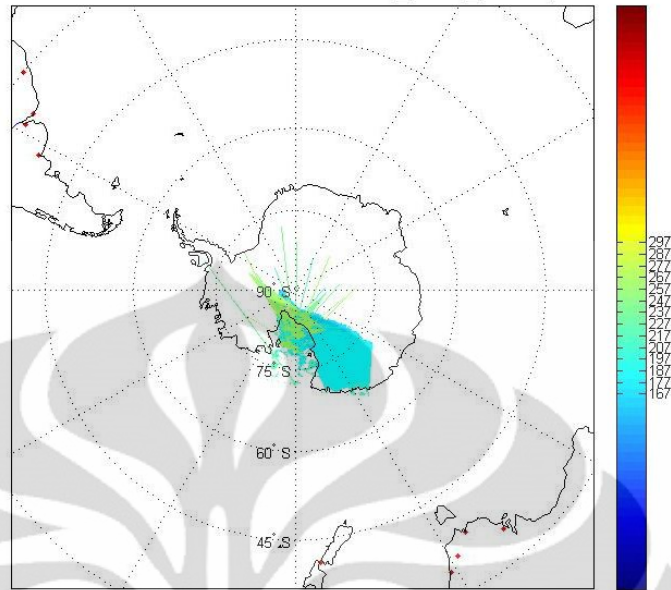
Pengukuran menggunakan instrumen MODIS Terra pada wilayah Amerika Serikat menghasilkan data dengan pola yang serupa pada instrumen MODIS Aqua, dimana penurunan rata-rata ketebalan lapisan ozon terjadi pada tahun 2005, 2009 dan 2011.

4.1.3. KETEBALAN LAPISAN OZON PADA WILAYAH KUTUB SELATAN

A. AQUA

Gambar 4.11 adalah contoh citra ketebalan lapisan ozon di wilayah Kutub Selatan yang dihasilkan untuk Instrumen MODIS Aqua.

MYD07_L2.A2003284.0710.005.2010064040646_Total_Ozone, units: Dobson

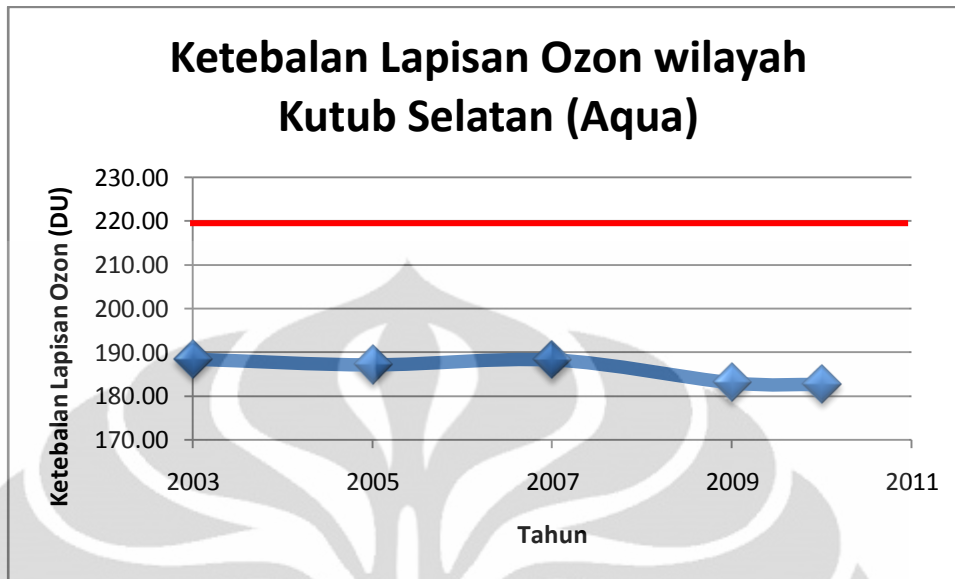


Gambar 4.11 (MODIS Aqua) ketebalan lapisan ozon untuk wilayah Kutub Selatan (10 Oktober 2003)

Rangkuman dari data yang dihasilkan dari instrumen MODIS Aqua untuk wilayah Kutub Selatan dapat dilihat dari tabel 4.5 dan gambar 4.12.

Tabel 4.5 Data Ketebalan Lapisan Ozon untuk wilayah Kutub Selatan (MODIS Aqua)

Citra Ke	[AQUA] Ozon rata-rata (DU)				
	2003	2005	2007	2009	2010
1	196.46	177.83	181.26	179.82	181.29
2	179.86	184.91	189.24	179.41	187.35
3	180.97	217.24	198.09	183.55	196.31
4	189.33	175.17	182.38	180.34	173.98
5	175.98	192.23	193.76	184.11	183.32
6	202.27	182.58	180.15	187.22	187.2
7	186.57	188.64	186.96	196.09	175.9
8	194.94	214.58	201.82	174.04	186.06
9	194.63	164.28	180.33		172.7
10	183.06	173.8			
Rata-rata	188.41	187.13	188.22	183.07	182.68
minimum	175.98	164.28	180.15	174.04	172.70
maximum	202.27	217.24	201.82	196.09	196.31



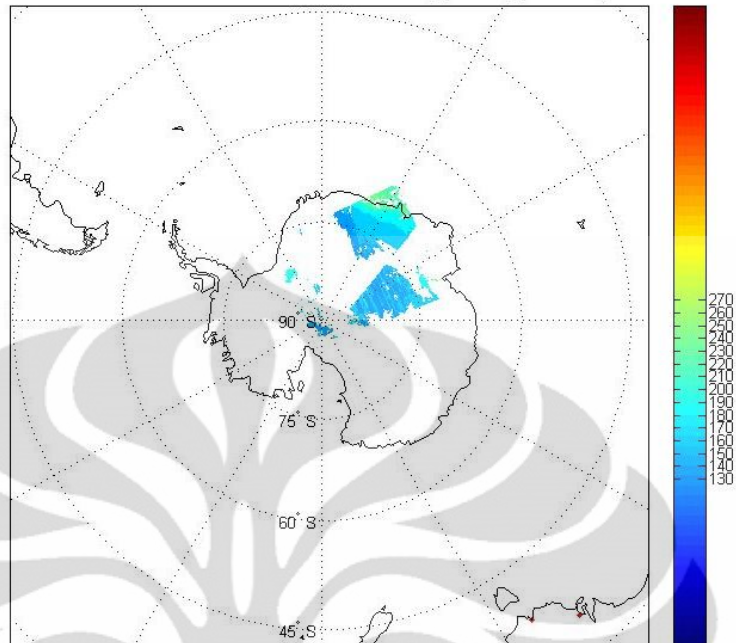
Gambar 4.12 Grafik Rata-Rata Ketebalan Lapisan Ozon wilayah Kutub Selatan (Aqua)

Tabel dan grafik menunjukkan bahwa rata-rata ketebalan lapisan ozon di daerah Kutub Selatan cenderung mengalami penurunan. Penurunan yang terjadi dari tahun 2003 ke 2010 adalah sebesar 5,73 DU atau sekitar 3%. Dari grafik dapat dilihat bahwa penurunan ketebalan lapisan ozon sangat jelas terlihat pada tahun 2009. Rata-rata ketebalan lapisan ozon terendah terjadi pada tahun 2010, dimana pada saat itu memang dilaporkan bahwa lapisan ozon di Kutub Selatan mencapai titik ketebalan paling rendah sepanjang sejarah [1].

Kutub Selatan merupakan wilayah yang paling sering diamati karena merupakan wilayah kritis, dimana di wilayah tersebut ditemukan adanya lubang ozon. Hal ini dibuktikan dalam penelitian yang telah dilakukan, dimana rata-rata ketebalan lapisan ozon di wilayah ini pada tahun 2003, 2005, 2007, 2009 dan 2010 tidak pernah melebihi nilai 220.

Nilai minimum dari rata-rata ketebalan lapisan ozon yang didapatkan adalah 164,28 DU yang terjadi pada tahun 2005. Dari data diatas, dapat diketahui bahwa nilai minimum rata-rata lapisan ozon tidak selalu terjadi pada tahun dengan rata-rata lapisan ozon terendah. Adapun citra dari wilayah tersebut terlihat pada gambar 4.13

MYD07_L2.A2005284.1505.005.2010097060338_Total_Ozone, units: Dobson

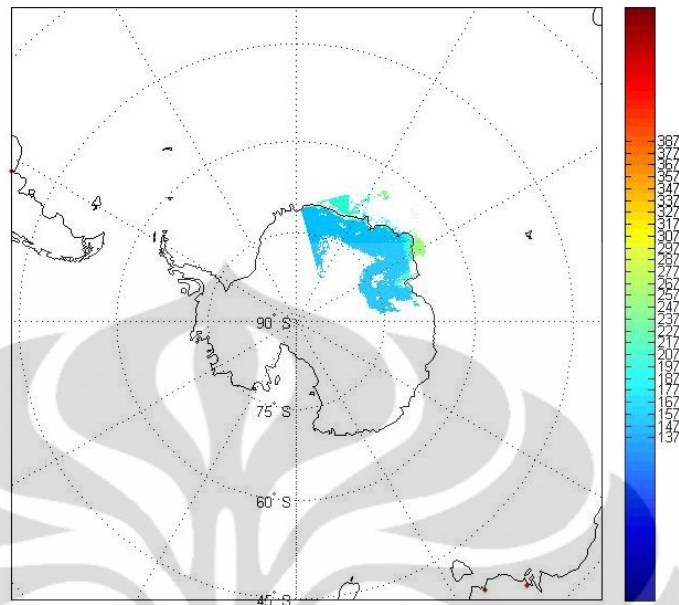


Gambar 4.13 wilayah dengan ozon rata-rata terendah pada 2005 (Aqua)

B. TERRA

Gambar 4.14. adalah contoh citra ketebalan lapisan ozon di wilayah Kutub Selatan yang dihasilkan untuk instrumen MODIS Terra.

MOD07_L2.A2010283.0525.005.2010283143854_Total_Ozone, units: Dobson

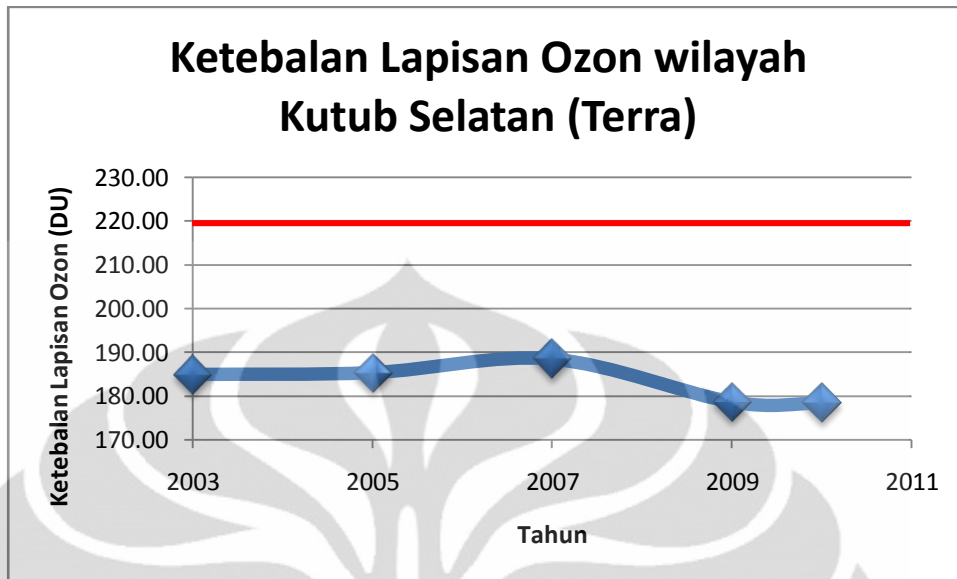


Gambar 4.14 (MODIS Terra) ketebalan lapisan ozon untuk wilayah Kutub Selatan (10 Oktober 2010)

Rangkuman dari data yang dihasilkan dari instrumen MODIS Terra untuk wilayah Kutub Selatan dapat dilihat dari tabel 4.6 dan gambar 4.15.

Tabel 4.6 Data Ketebalan Lapisan Ozon untuk wilayah Kutub Selatan (MODIS Terra)

Citra Ke	[AQUA] Ozon rata-rata (DU)				
	2003	2005	2007	2009	2010
1	172.22	177.04	176.24	174.14	162.58
2	203.1	172.01	199.37	169.27	183.23
3	177.93	205.05	187.95	183.19	178.09
4	181.02	175.32	180.57	181.31	180.16
5	188.21	169.91	204.77	183.08	199.3
6	186.24	185.49	181.95	180.73	166.69
7	174.73	196.01	184.86	172.26	181.13
8	179.9	201.85	191.84	177.1	175.61
9	188.43			179.79	
10	197.36			185.17	
Rata-rata	184.91	185.34	188.44	178.60	178.35
minimum	172.22	169.91	176.24	169.27	162.58
maximum	203.10	205.05	204.77	185.17	199.30

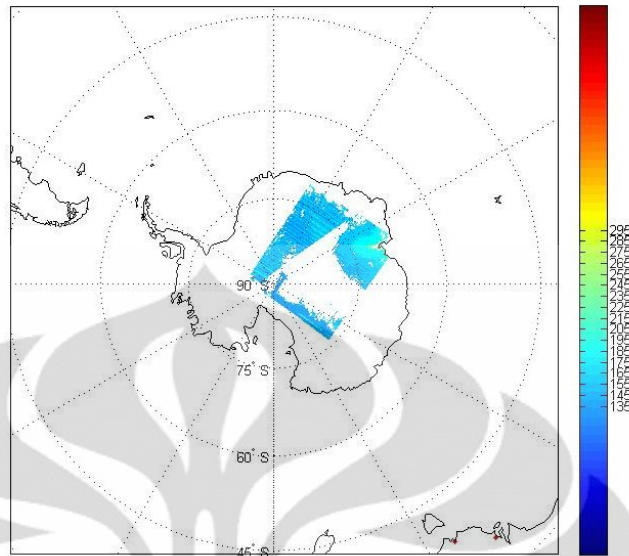


Gambar 4.15 Grafik Rata-Rata Ketebalan Lapisan Ozon wilayah Kutub Selatan (Terra)

Pengukuran menggunakan instrumen MODIS Terra, menghasilkan pengukuran yang sedikit berbeda. Pada pengukuran menggunakan MODIS Terra didapatkan bahwa ketebalan lapisan ozon pada tahun 2003 lebih rendah dibandingkan dengan tahun 2005, sedangkan dengan menggunakan MODIS Aqua berlaku sebaliknya. Namun pengukuran pada kedua instrumen tersebut juga menunjukkan jika perbedaan ketebalan lapisan ozon pada tahun 2003 dan 2005 sangat kecil yaitu 0,43 DU untuk MODIS Terra dan 1,28 DU untuk Aqua. Rata-rata ketebalan lapisan ozon terendah untuk seluruh wilayah kutub selatan terjadi pada tahun 2010, yaitu 162,58.

Pada instrumen MODIS Terra, nilai minimum dari rata-rata ketebalan lapisan ozon pada tahun 2003, 2005, 2007, 2009 dan 2010 adalah 162,58 yang terjadi pada tahun 2010. Citra tersebut terlihat pada gambar 4.16

MOD07_L2.A2010283.0210.005.2010283094542_Total_Ozone, units: Dobson



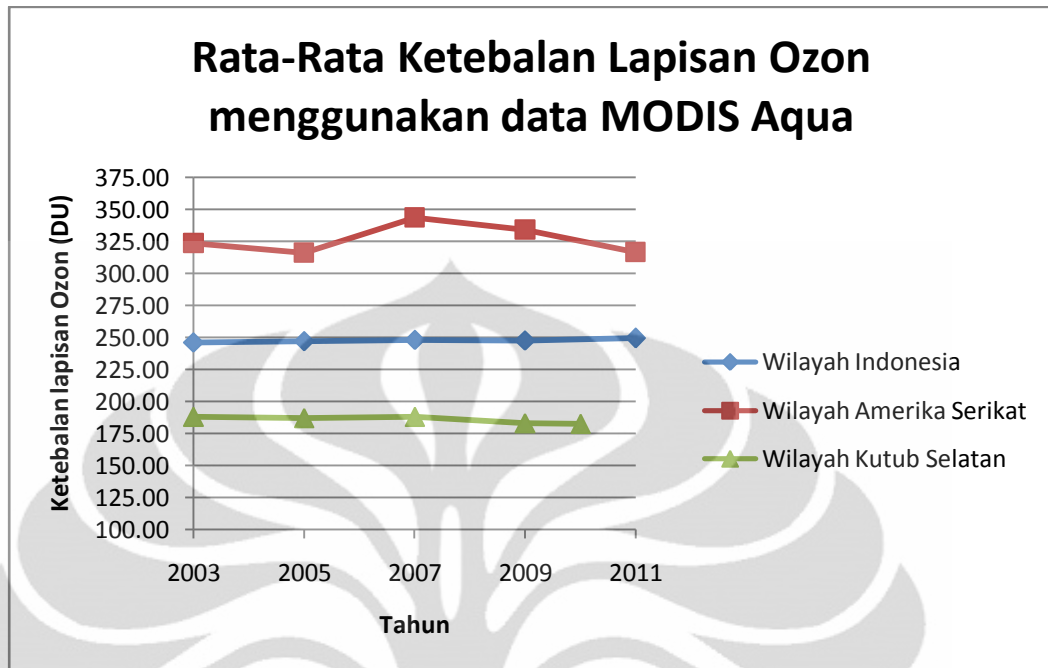
Gambar 4.16 wilayah dengan ozon rata-rata terendah pada 2010 (Terra)

4.2. ANALISIS SPASIAL

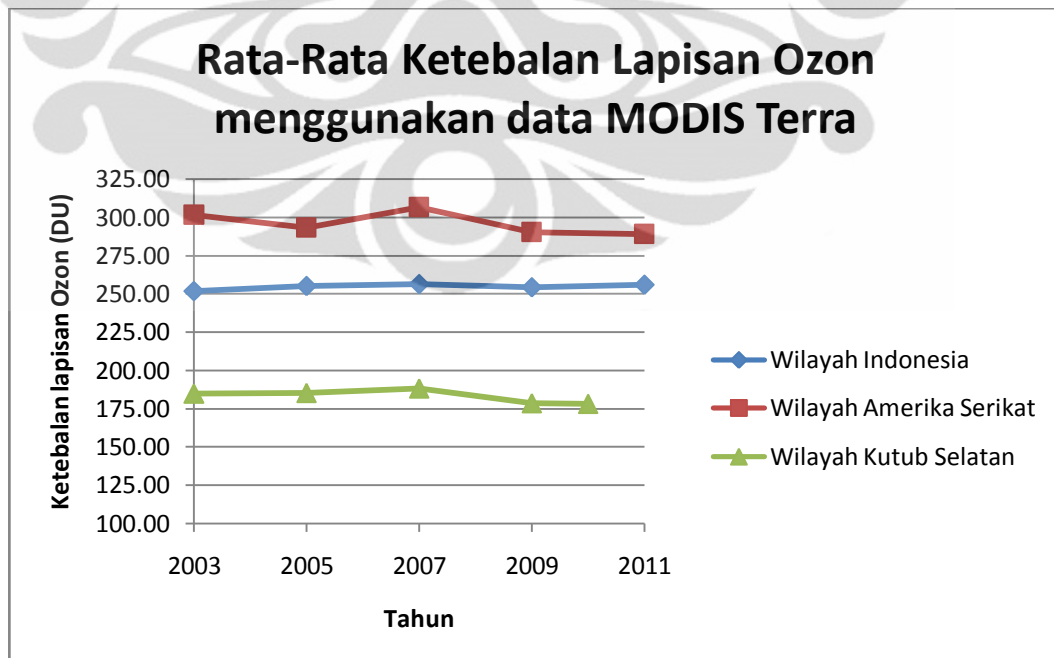
Analisis Spasial merupakan analisis yang berhubungan dengan tempat atau ruang sebagai acuan analisis. Dalam penelitian ini, pengukuran ketebalan lapisan ozon dilakukan pada tiga wilayah yang berbeda, yaitu wilayah Indonesia, wilayah Amerika Serikat dan wilayah Kutub Selatan. Ketiga wilayah tersebut memiliki karakteristik tersendiri, sehingga hasil pengukuran yang didapatkan pun berbeda untuk tiap wilayah. Tabel 4.7 dan gambar 4.17 dan 4.18 memperlihatkan perbandingan ketiga wilayah tersebut.

Tabel 4.7 Rangkuman Data Ketebalan Lapisan Ozon

Tahun	Wilayah					
	Indonesia		Amerika Serikat		Kutub Selatan	
	Aqua	Terra	Aqua	Terra	Aqua	Terra
2003	246.26	251.93	323.65	301.67	188.41	184.91
2005	247.43	255.36	316.10	293.40	187.13	185.34
2007	248.19	256.41	343.70	306.85	188.22	188.44
2009	247.78	254.62	334.06	290.31	183.07	178.60
2010					182.68	178.35
2011	249.46	256.19	316.56	289.19		



Gambar 4.17 Grafik Rata-Rata Ketebalan Lapisan Ozon menggunakan data MODIS Aqua



Gambar 4.18 Grafik Rata-Rata Ketebalan Lapisan Ozon menggunakan data MODIS Terra

Pada tabel 4.7 dapat dilihat perbandingan keseluruhan wilayah baik untuk MODIS Aqua maupun MODIS Terra. Untuk wilayah Indonesia dan Amerika Serikat, pada tahun 2010 tidak dilakukan pengukuran, oleh karena itu, di dalam tabel tahun tersebut di kosongkan. Sedangkan untuk wilayah Kutub Selatan, tidak dilakukan pengukuran pada tahun 2011.

Grafik yang dihasilkan berdasarkan tabel menunjukkan bagaimana kecenderungan ketebalan lapisan ozon untuk tiap wilayah menggunakan data dari instrumen MODIS Aqua dan MODIS Terra.

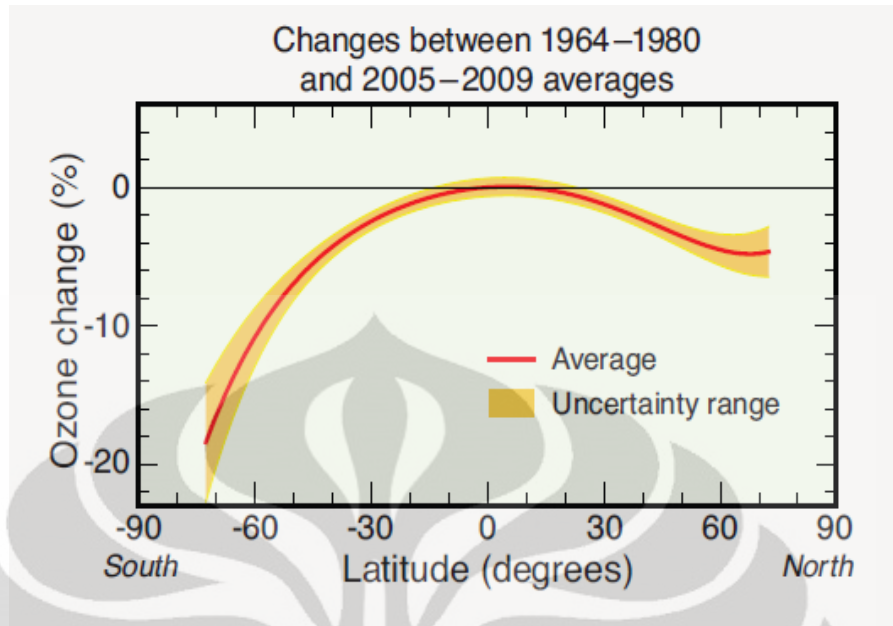
Garis biru pada grafik menunjukkan bahwa rata-rata ketebalan lapisan ozon menggunakan data MODIS Terra untuk wilayah Indonesia berkisar antara 225 DU – 250 DU, sedangkan dengan menggunakan data MODIS Aqua berkisar antara 250 DU – 275 DU. Jika kedua data dari MODIS Aqua dan MODIS Terra digabungkan, maka rata-rata ketebalan lapisan ozon untuk wilayah Indonesia berkisar antara 225 DU – 275 DU. Dapat dilihat pada kedua grafik juga bahwa nilai rata-rata ketebalan lapisan ozon di wilayah Indonesia stabil berada pada nilai sekitar 250 DU. Hal ini disebabkan karena wilayah tropis merupakan wilayah dengan suhu yang panas dibandingkan dengan wilayah lainnya. Wilayah tropis seperti Indonesia juga sangat jarang mengalami suhu dingin yang ekstrem. Seperti yang telah disebutkan di dalam tinjauan literatur, cuaca merupakan salah satu faktor yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan lapisan ozon.

Garis Merah pada grafik menunjukkan rata-rata ketebalan lapisan ozon menggunakan data MODIS Aqua untuk wilayah Amerika Serikat berkisar antara 300 DU – 350 DU, sedangkan dengan menggunakan data MODIS Terra berkisar antara 275 DU – 325 DU. Jika kedua data dari MODIS Aqua dan MODIS Terra digabungkan, maka rata-rata ketebalan lapisan ozon untuk wilayah Amerika Serikat berkisar antara 275 DU – 350 DU. Wilayah Amerika Serikat merupakan wilayah yang luas dan berada pada beberapa wilayah garis lintang, tidak seperti Indonesia yang wilayahnya luas namun berada pada sekitar garis lintang 0 (khatulistiwa). Oleh karena itu, ketebalan lapisan ozon di wilayah Amerika ini lebih bervariasi. Wilayah Amerika Serikat juga memiliki rata-rata lapisan ozon yang lebih tebal dibandingkan dengan wilayah Indonesia, hal ini karena wilayah

Amerika Serikat berada pada lintang yang lebih tinggi di bandingkan dengan wilayah Indonesia. Dalam tinjauan literatur telah dijelaskan bahwa posisi/lokasi suatu wilayah sangat berpengaruh terhadap ketebalan lapisan ozon di wilayah tersebut.

Garis Hijau pada grafik menunjukkan rata-rata ketebalan lapisan ozon menggunakan data MODIS Aqua untuk wilayah Kutub Selatan berkisar antara 175 DU – 200 DU, begitupun dengan menggunakan data MODIS Terra berkisar antara 175 DU – 200 DU. Nilai rata-rata ketebalan lapisan ozon di wilayah Kutub Selatan menunjukkan nilai yang paling rendah di bandingkan kedua wilayah sebelumnya, dan merupakan wilayah dimana ditemukannya lubang ozon (ketebalan lapisan ozon dibawah 220 DU) . Hal ini dikarenakan pada wilayah Kutub Selatan, suhu dingin ekstrem hampir terjadi sepanjang musim, yang menyebabkan bahan-bahan perusak ozon berkumpul sangat banyak di atmosfer wilayah Kutub Selatan. Ketika wilayah ini mendapatkan pencahayaan dari sinar matahari, yang biasa terjadi pada bulan Oktober dan November, maka bahan-bahan berbahaya tersebut akan bereaksi untuk merusak lapisan ozon. Inilah mengapa pada bulan Oktober dan November, rata-rata ketebalan lapisan ozon di wilayah kutub selatan mencapai titik terendah.

Hasil yang di dapatkan dari penelitian sesuai dengan hasil penelitian NASA, seperti yang terlihat pada gambar 4.19 [16]. Dari gambar tersebut terlihat bahwa perubahan ketebalan lapisan ozon paling stabil terjadi di daerah ekuator. Hal ini disebabkan karena didaerah ekuator perubahan suhu dan intensitas matahari tidak terjadi secara ekstrem.



Gambar 4.19 Tingkat Perubahan Ozon berdasarkan Koordinat Wilayah

4.3. VALIDASI MENGGUNAKAN DATA TOMS

Seperti halnya MODIS, TOMS (*Total Ozone Mapping Spectrometer*) merupakan instrumen yang berfungsi untuk mengawasi kondisi dinamika global yang terjadi di bumi. Salah satu misi utama TOMS adalah untuk mengamati kondisi ozon [17]. Data dari instrumen TOMS dapat dijadikan suatu validasi terhadap hasil yang di dapatkan dari penelitian menggunakan instrument MODIS.

Validasi di lakukan dengan menguji suatu titik koordinat tertentu dalam *latitude* dan *longitude* pada masing-masing wilayah. Ketiga titik tersebut adalah sebagai berikut :

1. Wilayah Indonesia : *Latitude* -06, *Longitude* 106 (sekitar wilayah Jakarta)
2. Wilayah Amerika Serikat : *Latitude* 43, *Longitude* -75 (Sekitar New York)
3. Wilayah Kutub Selatan : *Latitude* -84, *longitude* -116

Tabel 4.8, 4.9, dan 4.10 menunjukkan perbandingan dari data yang di dapatkan dari TOMS [18] dengan hasil yang didapatkan dari MODIS dalam penelitian.

Tabel 4.8. Validasi menggunakan data TOMS pada latitude -06, longitude 106

Tahun	Ketebalan Lapisan Ozon (DU)					
	1 Mei			2 Mei		
	TOMS	Aqua / Error	Terra / Error	TOMS	Aqua / Error	Terra / Error
2003	255	Data tidak tersedia	Data tidak tersedia	257	251 (2,3%)	257 (0%)
2005	255	Data tidak tersedia	Data tidak tersedia	256	260 (1,5%)	258 (0,7%)
2007	245	245 (0%)	242 (1,2%)	241	242 (0,4%)	249 (3,3%)
2009	264	254 (3,7%)	260 (1,5%)	255	Data tidak tersedia	260 (1,9%)
2011	251	248 (1,1%)	Data tidak tersedia	252	250 (0,7%)	Data tidak tersedia

Dari tabel 4.8. dapat diketahui bahwa tingkat *error* data untuk wilayah dengan *latitude* -6 dan *longitude* 106 berkisar antara 0,4 % - 3,7%, sedangkan terdapat 2 data dengan tingkat *error* 0% (akurasi 100%).

Tabel 4.9. Validasi menggunakan data TOMS pada latitude 43, longitude -75

Tahun	Ketebalan Lapisan Ozon (DU)					
	1 Mei			2 Mei		
	TOMS	Aqua / Error	Terra / Error	TOMS	Aqua / Error	Terra / Error
2003	334	340 (1,7%)	334 (0%)	304	314 (3,2%)	315 (3,6%)
2005	384	371 (3,3%)	379 (1,3%)	349	350 (0,3%)	349 (0%)
2007	341	354 (3,8%)	350 (2,6%)	Data tidak tersedia	335	Data tidak tersedia
2009	317	327 (3,2%)	Data tidak tersedia	323	330 (2,5%)	323 (0%)
2011	302	312 (3,3%)	310 (2,6%)	Data tidak tersedia	315	Data tidak tersedia

Dari tabel 4.9. dapat diketahui bahwa tingkat *error* data untuk wilayah dengan *latitude* -6 dan *longitude* 106 berkisar antara 0,3 % - 3,8%, sedangkan terdapat 2 data dengan tingkat *error* 0% (akurasi 100%).

Tabel 4.10. Validasi menggunakan data TOMS pada latitude -84, longitude -116

Tahun	Ketebalan Lapisan Ozon (DU)					
	10 Oktober			11 Oktober		
	TOMS	Aqua / Error	Terra / Error	TOMS	Aqua / Error	Terra / Error
2003	147	Data tidak tersedia	152 (3,4%)	140	Data tidak tersedia	145 (3,6%)
2005	204	210 (2,9%)	Data tidak tersedia	171	167 (2,3%)	164 (4,1%)
2007	163	155 (4,9%)	162 (0,6%)	189	Data tidak tersedia	Data tidak tersedia
2009	141	Data tidak tersedia	141 (0%)	160	Data tidak tersedia	155 (3,1%)
2010	144	150 (4,2%)	151 (4,9%)	139	140 (0,7%)	145 (4,3%)

Dari tabel 4.9. dapat diketahui bahwa tingkat *error* data untuk wilayah dengan *latitude* -84 dan *longitude* -116 berkisar antara 0,6 % - 4,9%, sedangkan terdapat 1 data dengan tingkat *error* 0% (akurasi 100%).

BAB 5

PENUTUP

5.1. KESIMPULAN

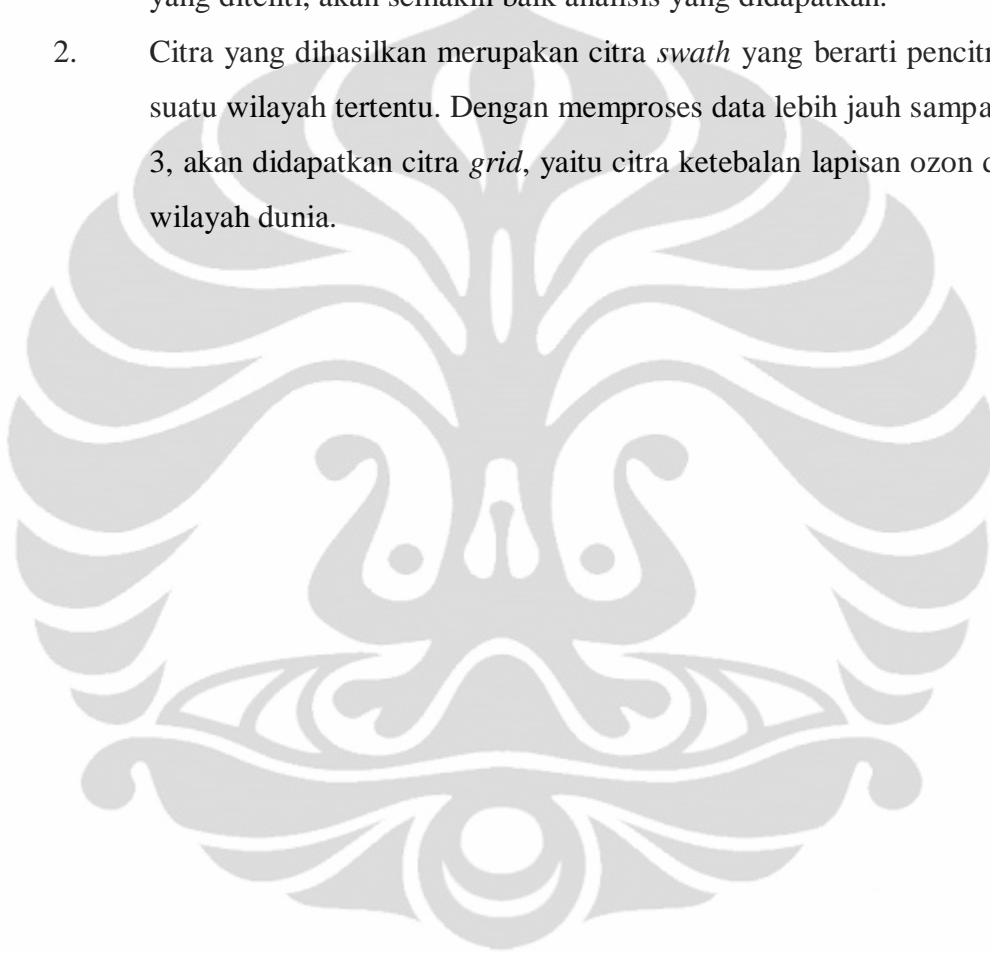
Dari hasil percobaan dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Wilayah Indonesia memiliki rata-rata ketebalan lapisan ozon yang stabil setiap tahunnya, wilayah Amerika Serikat cenderung tidak stabil, sedangkan untuk wilayah Kutub Selatan sedikit mengalami penurunan ketebalan. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh NASA dimana daerah sekitar garis ekuator memiliki rata-rata ketebalan lapisan ozon paling stabil dibandingkan wilayah lainnya.
2. Rata-rata ketebalan lapisan ozon di tiga wilayah yang diamati cenderung menurun pada tahun 2009, walaupun penurunan tidak hanya terjadi pada tahun 2009 saja. Penurunan pada tahun 2009 ini dapat disebabkan karena adanya perluasan lubang ozon di Kutub Selatan pada tahun tersebut, dan semakin ekstremnya perubahan iklim global yang terjadi.
3. Wilayah dengan rata-rata ketebalan ozon paling rendah adalah wilayah Kutub Selatan. Hal ini karena wilayah Kutub Selatan merupakan wilayah dengan suhu dingin yang sangat ekstrem yang menyebabkan banyak terbentuknya reaksi-reaksi kimia yang merusak lapisan ozon.
4. Validasi menggunakan data TOMS menunjukkan tingkat akurasi yang dihasilkan dalam penelitian ini cukup tinggi, dengan *error* maksimum adalah 4,9%.

5.2. PENGEMBANGAN LEBIH LANJUT

Penelitian yang dilakukan sampai saat ini masih dapat dikembangkan menjadi lebih baik lagi. Beberapa hal yang dapat dikembangkan diantaranya adalah :

1. Pengukuran ketebalan lapisan ozon baru dilakukan pada 3 wilayah dan pada 5 waktu yang berbeda. Semakin banyak wilayah dan rentang waktu yang diteliti, akan semakin baik analisis yang didapatkan.
2. Citra yang dihasilkan merupakan citra *swath* yang berarti pencitraan pada suatu wilayah tertentu. Dengan memproses data lebih jauh sampai ke level 3, akan didapatkan citra *grid*, yaitu citra ketebalan lapisan ozon di seluruh wilayah dunia.



DAFTAR REFERENSI

- [1] "Record setting ozone hole". http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2000/ast08sep_1/. Diakses pada tanggal 5 April 2011
- [2] "Lapisan Ozon". <http://www.ozon-indonesia.org/index.php?table=ozon&view=true&no=2> Diakses pada tanggal 14 Oktober 2010.
- [3] Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 46 Tahun 2005 Tentang Pengesahan *Montreal Amendment To The Montreal Protocol On Substances That Deplete The Ozone Layer* (Amendemen Montreal Atas Protokol Montreal Tentang Bahan-Bahan Yang Merusak Lapisan Ozon)
- [4] Rubin, Merdecai B. 2001. "The History of Ozone". *Journal of Technion-Israel Institute of Technology, volume 26, number 1.*
- [5] Charles Elachi and Zakob van Ziel. 2006. "*Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing*", Second Edition. A John Wiley & Sons, inc., Publication.
- [6] "Penginderaan Jauh". <http://geografi.ums.ac.id/ebook> diakses pada tanggal 15 November 2010.
- [7] "MODIS Brochure". <http://modis.gsfc.nasa.gov/> diakses pada tanggal 30 Oktober 2010.
- [8] Mansyur, Abdullah. 2010. "*Metode Pengolahan Data MODIS Untuk Aplikasi Uap Air Mampu Curah*". Skripsi Departemen Teknik Elektro. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok.
- [9] An Introduction to HDF. 2011. <http://www.swa.com/meteorology/hdf/tutorial/Intro.htm>. Diakses pada tanggal 1 Juni 2011.
- [10] TOMS News. 2009. <http://toms.gsfc.nasa.gov/news/news.html#mar05>. Diakses pada tanggal 11 Juli 2011.
- [11] Ed Masuoka, et all. 2001. "*Evolution of the MODIS science data processing system*". Goddard Space Flight Center. IEEE Journal 0-07-870830-37-073013-17.
- [12] Gumley, Liam E. 2010. IMAPP Virtual Appliance User Guide's. Space Science and Engineering Center, University of Wisconsin-Madison.

- [13] W. Paul Menzel, and Liam E. Gumley. 1998. *"MODIS Atmospheric Profile Retrieval Algorithm Theoretical Basis Document"*, Version 4. University of Wisconsin-Madison.
- [14] Suzanne W. Seemann, et all. 2006. *"MODIS Atmospheric Profile Retrieval Algorithm Theoretical Basis Document"*, Version 6. Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies University of Wisconsin-Madison.
- [15] Mapping Toolbox. http://www.mathworks.com/products/mapping/?s_cid=global_nav diakses pada tanggal 2 Juni 2010.
- [16] The Ozone Hole. <http://www.theozonehole.com/> . Diakses pada tanggal 15 Juni 2011
- [17] TOMS website. <http://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/>. Diakses pada tanggal 25 Juni 2011.
- [18] Total Column Ozone Amount Over Your House. http://jwocky.gsfc.nasa.gov/teacher/ozone_overhead_archive_v8.html . Diakses pada tanggal 26 Juni 2011.

LAMPIRAN

Algoritma Pengukuran ketebalan lapisan ozon yang di tulis dalam bahasa fortran.

```

c ... Parameters
  real oct
  parameter (oct = 0.78961)

c ... Scalar arguments
  real total
  integer ls, nl

c ... Array arguments
  real o3ppmv(nl), p(nl)

c ... Local scalars
  real phd1, phd2, tem1, tem2
  integer ip

c ... Integrate the profile
  total = 0.0
  phd1 = o3ppmv(1)
  tem1 = p(1)
  do ip = 2, ls
    phd2 = o3ppmv(ip)
    tem2 = p(ip)
    total = total + 0.5 * (phd1 + phd2) * (tem2 - tem1)
    phd1 = phd2
    tem1 = tem2
  end do
  total = total * oct

END

```