

**DISERTASI**

**KONSTRUKSI MODEL MATEMATIKA  
TANGKAPAN CO<sub>2</sub> PADA TANAMAN HUTAN KOTA**



**THOMAS PENTURY**

**PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS AIRLANGGA  
SURABAYA  
2003**

# **KONSTRUKSI MODEL MATEMATIKA TANGKAPAN CO<sub>2</sub> PADA TANAMAN HUTAN KOTA**

## **DISERTASI**

**Untuk memperoleh Gelar Doktor  
Dalam Program Studi Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Pada Program Pascasarjana Universitas Airlangga  
Telah dipertahankan di hadapan  
Panitia Ujian Doktor Terbuka  
Pada hari : Selasa  
Tanggal : 16 Desember 2003  
Pukul : 10.00 WIB**

**Oleh :**

**THOMAS PENTURY  
NIM : 099813161D**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**DISERTASI INI TELAH DISETUJUI  
TANGGAL 26 DESEMBER 2003**

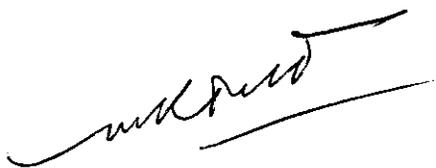
**Oleh**

**Promotor**



**Prof. Ir. Wahyono Hadi, MSc., Ph.D  
NIP : 130 805 286**

**Ko Promotor 1**



**Prof. Dr. H. J. Mukono dr., MS., MPH  
NIP : 130 676 012**

**Ko Promotor 2**



**Basuki Widodo, drs., MSc., Ph.D  
NIP : 131 839 346**

Telah duji pada Ujian Tahap I

Tanggal 29 September 2003

**PANITIA PENGUJI DISERTASI**

**Ketua** : Prof. Dr. Gde Nyoman Astika, Apt.

**Anggota** : 1. Prof. Ir. Wahyono Hadi, MSc., Ph.D  
2. Prof. Dr. H. J. Mukono dr., MS., MPH  
3. Basuki Widodo, drs., MSc., Ph.D  
4. Prof. Kuntoro, dr., MPH., Dr.PH.  
5. Prof. Dr. Sugijanto., MS., Apt.  
6. Dr. Wiwiek Heny Winarsih, Ir., MS.

Ditetapkan dengan Surat Keputusan

Rektor Universitas Airlangga

Nomor : 8010/J03/PP/2003

Tanggal : 7 Oktober 2003

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur dan limpah terima kasih kehadirat Tuhan Yang Maha Kuasa karena hanya berkat dan anugerah-Nya sehingga penelitian dan penulisan disertasi untuk memenuhi persyaratan pendidikan doktor pada Program Studi Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Program Pascasarjana Universitas Airlangga dapat diselesaikan.

Terselesaikannya penyusunan disertasi ini berkat bimbingan dan petunjuk dari Prof. Ir, Wahyono Hadi, MSc., PhD, selaku promotor yang dengan penuh perhatian dan kesabaran telah memberikan dorongan, arahan dan koreksi, sehingga menambah luas wawasan penulis dalam menyempurnakan penyusunan karya ilmiah ini. Untuk itu saya mengucapkan terima kasih.

Kepada Prof. Dr. H.J. Mukono, dr., M.S., MPH Selaku kopromotor I saya mengucapkan terima kasih karena berkat ketulusan beliau dalam memberikan bimbingan dan petunjuk yang sangat berharga dalam penelitian dan penulisan disertasi ini.

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Drs. Basuki Widodo, MSC., PhD. Selaku Kopromotor II, yang telah banyak memberikan bimbingan dalam penelitian maupun petunjuk dan saran-saran yang telah diberikan dengan penuh kesabaran dan keikhlasan dalam penyusunan disertasi ini, sehingga menambah wawasan dan kematangan diri saya.

Saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Pemerintah Republik Indonesia cg. Menteri Pendidikan Nasional melalui Tim Manajemen Program Doktor yang memberikan kesempatan dan

bantuan finansial, sehingga dapat mengikuti dan menyelesaikan pendidikan doktor di Program Pascasarjana Universitas Airlangga Surabaya.

Pada kesempatan ini saya mengucapkan terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah berperan dalam mewujudkan disertasi ini secara langsung maupun tidak langsung terutama kepada: Prof. H. Soedarto, DTM & H. Ph.D. mantan Rektor Universitas Airlangga dan Prof H. Puruhito, Ph.D Rektor Universitas Airlangga atas kesempatan dan fasilitas yang diberikan kepada saya untuk mengikuti dan menyelesaikan pendidikan Doktor pada Program Pascasarjana Universitas Airlangga.

Direktur Program Pascasarjana Universitas Airlangga Prof. Dr. H. Muhammad Amin, dr. SpP atas kesempatan yang diberikan untuk menjadi mahasiswa dan menyelesaikan pendidikan Doktor, kepada mantan Direktur Program Pascasarjana Universitas Airlangga Prof. Dr. H. Soedijono, dr., SPTHT telah memberikan kesempatan. dan memperjuangkan saya untuk memperoleh bantuan dana BPPS dalam mengikuti pendidikan Doktor di Program Pascasarjana Universitas Airlangga, untuk itu diucapkan terima kasih.

Kepada seluruh staf dosen Program Pascasarjana Universitas Airlangga, Prof. H.A. Soeparmo, Drs, MSc., Prof Dr. H. Rejani, MSc., Prof. Prof. Dr. H. Kuntoro, dr. MPH., Drs. Apt., Prof. H. Abdoebasyir, Drs (Alm), Prof. H. Soetandyo Wignyosoebroto, MPA., Prof Dr. H.Koentowibisono, Prof. Dr. Sarmanu, drh., Prof. Dr. H.M. Zainudin, Apt., Prof. Dr. Susanti Linuwih, Prof. Dr. Ami Suwandi J.S. Apt., Dr. H. Sunarjo, dr. MS. MSc., Dr. Widodo, dr. serta dosen-dosen mata kuliah penunjang Disertasi : Prof. Dr.

H.J. Mukono, dr., M.S., MPH., Prof. Susanti Linuwih, MStat., PhD., Dr. Hj Mustikoweny, MSc., Drs. Basuki Widodo, MSc., PhD., yang telah memberikan bekal teori dalam perkuliahan selama saya mengikuti pendidikan pada program Pasacasarjana di Universitas Airlangga. Kepada seluruh dosen saya di atas, semoga jasa-jasa dan amal bakti yang dicurahkan kepada saya dalam mengantarkan saya meraih gelar Doktor di Universitas Airlangga diberkati oleh Tuhan Yang Maha Esa.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Prof. H. A. Soeparmo, Drs., MSc., Prof. Dr. H. Rejani, MSc., Prof. Ir, Wahyono Hadi, MSc., PhD., Prof. Dr. H.J. Mukono, dr., M.S., MPH., Prof. Susanti Linuwih, MStat., PhD., Prof. Ir. S. Lukito, MSc, PhD., Prof. Dr. H. Kuntoro, dr. MPH., Drs. Basuki Widodo, MSc., PhD., Dr. Hj Mustikoweny, MSc., Prof. Dr. Sugijanto, MS. Apt., Dr. Wiwiek Heny Winarsih., Ir., MSc, atas kesediaan beliau-beliau yang telah berkenaan memberikan masukan penyempurnaan rencana penelitian hingga dalam penilaian naskah Disertasi ini.

Kepada Rektor Universitas Pattimura Prof. Dr. H.B. Tetelepta, MPd dan Prof. Dr. M.J. Huliselan serta Prof. Ir. J.L Nanere., MSc. PhD., mantan Rektor Universitas Pattimura diucapkan terima kasih atas ijin yang telah diberikan sehingga saya dapat mengikuti pendidikan Doktor di Program Pascasarjana Universitas Airlangga Surabaya.

Kepada Dra. B. Louehery, MS., Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Pattimura, saya mengucapkan terima kasih atas ijin yang diberikan sehingga saya dapat mengikuti pendidikan Doktor ini.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Ketua Balitbangda Provinsi Jawa Timur Prof. Ir. Wahyono Hadi. MSc. PhD., yang telah memberikan bantuan lewat keikutsertaan dalam proyek penelitian perlindungan atmosfer untuk wilayah Jawa Timur.

Kepada Prof. Dr. Santosa, MSc, Kepala Laboratorium Fisiologi Tumbuhan Fakultas Biologi Universitas Gajah Mada Jokjakarta dan Bapak Drs. Sudjino, MS yang telah membantu dengan penyediaan alat ukur dan pengukuran serta telah memberikan masukan pada pengerjaan penelitian ini.

Kepala Dinas Pertamanan Pemerintah Kota Surabaya yang telah memberikan izin menggunakan kebun bibit Wonorejo Surabaya.

Kepala Balai Teknik Kesehatan Lingkungan, yang telah memberikan bantuan fasilitas peralatan dalam mendukung analisis penelitian saya.

Kepada pemerintah Propinsi Maluku, yang telah memberikan bantuan dana untuk penyelesaian studi.

Kepada Dr. Ir. Joni Hermana, MSc, Drs. Agus Slamet, MSc., Drs. Suhartono, MSc, Sdr Anggowa, MT., Ir Agus Sukarno. MP., serta rekan-rekan dari Institut Pertanian Malang, yang telah membantu dalam tim peneliti Balitbang Pemda Jawa Timur.

Rekan-rekan pada program pascasarjana Universitas Airlangga Surabaya, Dr. H.A Fernades, dr. Mkes., Dr. Ir. Johannes Pelealu. MS., Ir. Suyoto Hadisaputro, MS., Dr. Leny Yuanita. MS., Ir. M Lazuardi. MS., Ir. Sri Rejeki. MS., Ir. Ana Nuriana., MS., Drs. Joko Waluyo., MS, Drs. Istamar. MPd., Dr. Endang Werdiati., Mkes dr. Mkes., Drg. Herman Mulyantoro.

Mkes., Drg Titiek Berniyanti. Mkes., Dra. Sudarti. Mkes., dr, Soenarjo, SpU, dr. David S.P. SpB., Dr. Sabilah Alif, dr SpU., dr Syarwani, SpB yang selalu mendorong dan memberikan semangat untuk menyelesaikan disertasi ini.

Kepada saudara Drs. Fredy Leiwakabessy. MPd., Dr. Tanwey Gerson Ratumanan. MPd., M.J. Sapteno. SH., Mhum. Drs. Hatane Samuel. MS., Ir. Frans Limbong dan Ir. Markus Remiasa MS., Dra. M. Nindatu. Mkes., Drs Hery Jotlely, yang senantiasa memberikan dorongan semangat untuk menyelesaikan disertasi ini, rekan-rekan mahasiswa pascasarjana asal Ambon di Surabaya dan Malang yang telah memberikan berbagai dukungan dan dorongan dalam studi.

Saya juga mengucapkan terima kasih yang dalam kepada keluarga Dr, Sardjana. dr SPOG., yang telah banyak memberikan dukungan selama saya menyelesaikan penelitian disertasi ini.

Pada kesempatan ini saya mengucapkan terima kasih yang tulus pada orang tua saya Jan Obeth Pentury dan Jacoba Pentury, serta Mertua saya Agus Sitaniapessy dan Johana Sitaniapessy atas dorongan dan dukungan yang tiada henti-hentinya serta doa yang senantiasa dipanjatkan untuk keberhasilan anak-anaknya.

Terima kasih yang tulus disampaikan kepada keluarga besar Turukay-Hatumena, keluarga besar Lenakoly, keluarga Yan Picauly, keluarga Yusuf Makaluy, keluarga Michel Pentury, keluarga Octavianus Pentury, keluarga Markus Pentury, keluarga L. Pattinasarany, serta adik-adik, Hery Pentury, Meky Pentury, Augie Pentury, Sherty Sopacua serta Hans dan Nike atas dukungan doa

Kepada Pdt L.R. Muaya dan PHM Jemaat Maranatha Surabaya yang selalu memberikan dorongan dan doa kepada saya juga disampaikan terima kasih yang dalam.

Khususnya kepada istri tercinta Dra. Kemi Sitaniapessy dan anak-anak saya Joshua Gilbert Pentury dan Vanessa Livina Pentury, disampaikan terima kasih atas doa restu, dorongan moral, semangat serta dengan penuh kesabaran kepada saya.

Kepada semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung, saya hanya memohon kiranya Tuhan Allah yang Maha Memberkati akan memberikan berkat dan anugerah yang melimpah-limpah kepada kita.

## RINGKASAN

Udara ambien sebagai salah satu medium lingkungan perlu mendapat perlindungan terhadap bahan pencemar yang mengganggu kesehatan manusia. Sebagai medium lingkungan, udara ambien berfungsi untuk menampung gas oksigen, karbon dioksida, sulfur oksida, nitrogen oksida, metan, ozon dan hidrokarbon yang dihasilkan oleh aktivitas manusia maupun alam. Keberadaan gas ini di udara dalam batas di bawah ambang baku mutu tidak akan membahayakan manusia dan lingkungan di sekitarnya, akan tetapi bila keberadaan gas-gas ini telah melampaui baku mutu yang ditetapkan, maka akan sangat membahayakan kelangsungan hidup manusia dan lingkungannya.

Perlindungan terhadap kualitas udara ambien dapat dilakukan secara terintegrasi dengan melibatkan ilmu dan teknologi. Penggunaan matematika sebagai ilmu telah banyak digunakan khususnya untuk simulasi dalam usaha mempelajari fenomena yang terjadi di alam. Simulasi yang dilakukan untuk mempelajari sebuah fenomena biasanya menggunakan pemodelan matematika sebagai suatu pendekatan.

Model matematika adalah konstruksi matematika yang dirancang untuk mempermudah mempelajari suatu fenomena dan bagaimana menganalisis hubungan-hubungan yang kompleks dari fenomena yang terjadi. Model matematika dikonstruksi untuk menganalisis dan meramalkan perilaku sistem.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengkonstruksi model matematika guna melakukan prediksi luasan daerah hijau untuk proses tangkapan CO<sub>2</sub> dalam rangka penataan ruang hijau guna perlindungan udara dan publik perkotaan.

Penelitian difokuskan pada penentuan jenis tanaman dan kemampuan tanaman dalam menyerap CO<sub>2</sub>,

Penelitian ini adalah penelitian lapangan yang bersifat observasional, dimana fenomena terobservasi akan dikonstruksi dalam bentuk model matematika.

Penelitian ini dilaksanakan dalam beberapa tahapan sebagai berikut :

1. Inventarisasi dan pembibitan tumbuhan peneduh yang akan digunakan untuk pengukuran serapan CO<sub>2</sub>
2. Pengukuran Serapan CO<sub>2</sub> oleh tumbuhan
3. Pengukuran CO dan CO<sub>2</sub> ambien serta karakteristik udara ambien.
4. Pemeriksaan kerusakan daun, kerusakan stomata tanaman
5. Pengambilan data sekunder.
6. Konstruksi model dan penentuan luas daerah hijau

Penelitian dilaksanakan di kebun bibit milik Pemerintah Kota Surabaya (Wonorejo), pemeriksaan serapan CO<sub>2</sub> dilaksanakan di Laboratorium Fisiologi Tumbuhan Fakultas Biologi UGM Yogyakarta, pemeriksaan udara ambien dilakukan oleh BTKL Surabaya serta pemeriksaan kerusakan daun dan stomata dilakukan pada Laboratorium Biologi Lingkungan FMIPA Unair Surabaya.

Dari hasil pengukuran serapan CO<sub>2</sub> untuk 17 jenis tanaman yang dijadikan tanaman percobaan didapatkan jenis tanaman Mangga (*Mangifera indica*) yang mempunyai kemampuan serapan CO<sub>2</sub> lebih tinggi dari jenis yang lain. Hasil pengukuran ini menunjukkan bahwa tanaman Angsana (*Pterocarpus indica*) juga mempunyai kemampuan serapan CO<sub>2</sub> yang lebih baik dibanding dengan jenis lainnya. Pemilihan jenis Angsana (*Pterocarpus indica*) untuk dijadikan model prediksi luas area hijau didasarkan pada kemampuan jenis tanaman ini bertahan terhadap faktor lingkungan. Pengukuran tingkat kerusakan daun untuk sampel yang diambil pada jalan raya. Pengambilan sampel ini mengasumsikan bahwa sampel ini telah terpapar polutan, hasil pengukuran menunjukkan bahwa tingkat kerusakan daun dan kerusakan stomata dari jenis Angsana (*Pterocarpus indica*) relatif lebih kecil dibanding dengan jenis yang lain khususnya mangga.

Konstruksi model hubungan fungsional antara laju serapan CO<sub>2</sub> dan intensitas cahaya adalah berbentuk fungsi eksponensial dengan nilai R<sup>2</sup> (Koefisien determinasi) adalah 0,906. Ekspresi matematika dari model hubungan tersebut adalah  $S = b_0 \exp ( b_1 I)$ , dimana

$S$  : Laju serapan  $\text{CO}_2$  persatuan luas daun

$b_0$  dan  $b_1$  : konstanta empirik

$I$  : Intensitas cahaya

$\exp$  : bilangan pokok logaritma natural ( $e$ )

Berdasarkan data pengukuran laju serapan daun angkana yang di intersep cahaya dalam interval 50 W sampai dengan 150 W didapatkan koefisien intensitas cahaya yang dibutuhkan dalam penyerapan  $\text{CO}_2$  persatuan luas dan waktu adalah 0,0048 dan konstanta penjumlahan adalah 0,2278.

Fungsi luas terhadap laju serapan dengan model ekspresi sebagai

berikut: 
$$S = \int_{A=b}^{A=a} 0,278 \exp.(0,0048.I) dA$$

$$S' = \int_{y=a}^{y=b} \int_{x=c}^{x=d} 0,2278 \exp.(0,0048.I) dx dy$$

Berdasarkan karakteristik sistem, maka model keseimbangan yang di konstruksi adalah sebagai berikut :

$$2,729 \exp (0,1719 \text{ CO}) = S' = \int_{y=a}^{y=b} \int_{x=c}^{x=d} 0,2278 \exp.(0,0048.I) dx dy$$

## ABSTRACT

Ambient air as one of an environmental medium require a protection toward pollutant substances that interfere with human health. As an environmental medium, ambient air accommodate oxygen gas, carbon dioxide gas, oxide sulphur, oxide nitrogen, methane, ozone and hydrocarbon produced by human activities as well as from nature. The existence of these gases in the ambient air near at determined standard will not endanger the human being and environment but if the existence of these gases exceed the standard, then will be very harmful to the sustainability of human life and its environment.

From CO<sub>2</sub> absorption measurement results for 17 plant types that are taken in the experiment, it is obtained that Angsana plant (*Pterocarpus Indica*) has better CO<sub>2</sub> absorption ability compared with other types. The selection of the Angsana plant (*Pterocarpus Indica*) as a prediction model of green area zone is based on the ability endures toward environmental factor.

Model construction of functional relationship between the rate of CO<sub>2</sub> absorption and light intensity is an exponential function with the value of R<sup>2</sup> (determination coefficient) of 0.906. Mathematical expression of this model is  $S = b_0 \exp(b_1 I)$ , where

- S : the rate of CO<sub>2</sub> absorption per leaf width.
- b<sub>0</sub> and b<sub>1</sub> : empirical constants
- I : light intensity
- exp : cardinal number of logarithm natural, i.e. e.

Base on measurement of the Angsana absorption rate which intercepts with the light in a range between 50 W and 150 W, it is obtained that the coefficient of light intensity required on CO<sub>2</sub> absorption per both width and time units is 0.0048; and Summation constant is 0.2278.

Width function respect to the rate of absorption using expression as follows:

$$S = \int_{A=b}^{A=a} 0.2278 \exp(0.0048I) dA$$

$$S' = \int_{A=b}^{A=a} 0.2278 \exp(0.0048I) dA$$

Base on the character system, constructed conservation model is expressed as follows:

$$2.729 \exp(0.1719 CO) = S' = \int_{y=ax=c}^{y=bx=d} 0.2278 \exp(0.0048I) dx dy$$

**Keywords :** CO<sub>2</sub> absorption, Angsana plant, Conservation model