

LAPORAN AKHIR  
PENELITIAN PENELITI MUDA (LITMUD) UNPAD

KARAKTERISASI MODEL OPTIMISASI  
UNTUK MASALAH MANAJEMEN CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM (CDM)  
DENGAN STUDI KASUS KABUPATEN BANDUNG BARAT

Oleh :  
Firdaniza,MSi.  
Dr. Diah Chaerani,MSi.  
Dr.H.Sudradjat,MS.

Dibiayai oleh Dana DIPA Universitas Padjadjaran  
Tahun Anggaran 2009

Nomor SK : 258/H6.26/LPPM/PL/2009  
Tanggal : 30 Maret 2009

LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT  
UNIVERSITAS PADJADJARAN



FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS PADJADJARAN  
NOVEMBER 2009

**LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN  
LAPORAN AKHIR PENELITIAN  
PENELITIAN PENELITI MUDA (LITMUD) DIPA UNPAD 2009**

1.	a. Judul Penelitian	:	Karakterisasi Model Optimisasi untuk Masalah Manajemen <i>Clean Development Mechanism (CDM)</i> dengan Studi Kasus Kabupaten Bandung Barat
	b. Katagori Penelitian	:	I
2.	Ketua Peneliti		
	a. Nama	:	Firdaniza, M.Si
	b. Jenis kelamin	:	Perempuan
	c. Golongan pangkat dan NIP	:	III/C/ 19690618
	d. Jabatan fungsional	:	Lektor
	e. Fakultas/Jurusan	:	MIPA/Matematika
	f. Univ/Inst/Akademi	:	Universitas Padjadjaran
	g. Bidang Ilmu yang diteliti	:	Matematika Terapan
3.	Jumlah Anggota Peneliti	:	2 (dua) orang
	Nama Anggota Peneliti	:	1. Dr. Diah Chaerani, M.Si 2. Dr. H. Sudradjat, M.S
4.	Lokasi Penelitian	:	Lab. Penelitian dan Kerjasama Jurusan Matematika FMIPA Unpad
5.	Bila penelitian ini merupakan peningkatan kerjasama kelembagaan, sebutkan:		
	a. Nama Institusi	:	Kesbanglinmas Kabupaten Bandung
	b. Alamat	:	-
6.	Jangka waktu penelitian	:	8 (delapan) bulan
7.	Biaya yang diperlukan	:	Rp. 7.000.000,00 (tujuh juta rupiah)

Mengetahui:  
Dekan Fakultas MIPA

Dr. Wawan Hermawan, M.S  
NIP. 19620527 198801 1 001

Bandung, 14 November 2009

Ketua Peneliti,

Firdaniza, M.Si  
NIP. 19690618 199601 2 001

Menyetujui  
Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat  
Universitas Padjadjaran

Prof. Oekan S Abdoellah, MA, PhD  
NIP. 19540506 198103 1 002

# KARAKTERISASI MODEL OPTIMISASI UNTUK MASALAH MANAJEMEN *CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM (CDM)* DENGAN STUDI KASUS KABUPATEN BANDUNG BARAT <sup>1</sup>

Firdaniza, D.Chaerani, Sudradjat  
Jurusan Matematika FMIPA Universitas Padjadjaran  
Jalan Raya Bandung Sumedang KM 21 Jatinangor 45363  
Email: [firda\\_jondri@yahoo.com](mailto:firda_jondri@yahoo.com), [d.chaerani@unpad.ac.id](mailto:d.chaerani@unpad.ac.id), [adjat03@yahoo.com](mailto:adjat03@yahoo.com)

## ABSTRAK

Pembahasan mengenai *Clean Development Mechanism (CDM)* atau Mekanisme Pembangunan Bersih disajikan sebagai dasar pemodelan optimisasi pada masalah manajemen perhutanan. CDM merupakan suatu isu yang penting dalam kaitannya mencari sumber energi terbarukan. Salah satu sumber daya alam yang memegang peranan penting dalam konteks CDM adalah manajemen perhutanan. Termotivasi oleh model optimisasi untuk manajemen perhutanan berbasis CDM yang diusulkan oleh Guttierrez et al (2006), dalam laporan ini disajikan suatu usulan baru untuk mengaplikasikan model optimisasi yang berbeda dari usulan Guttierrez et al, yaitu Model Optimisasi untuk Masalah Perencanaan Taktis Manajemen Perhutanan (MPTP) yang merupakan pengembangan dari model optimisasi perhutanan yang diusulkan oleh M. Ronnqvist (2003). Model ini merupakan masalah optimisasi yang dapat diklasifikasikan dalam kelas masalah *Mixed Integer Programming (MIP)*. Hal ini mengakibatkan diperlukannya skema khusus untuk menangani keberadaan variabel integer yang terlibat dalam permasalahan. Dalam makalah ini, diusulkan skema *Branch and Bound (BB)* untuk pencarian solusi optimal. Disebabkan oleh keterbatasan data perhutanan dari Kabupaten Bandung Barat, perhitungan yang dibantu dengan MATLAB 7, menggunakan data ilustratif untuk menyajikan analisis hasil perhitungan.

**Kata kunci:** Optimisasi, CDM, Perhutanan, Mixed Integer Programming, skema branch and bound

## ABSTRACT

*In this research report, the main topics discussed is the clean development mechanis (CDM), this mechanism is considered as the basic design for doing a modelling step on optimizing a forestry management problem. In the forestry optimization, CDM is an important issue related to finding a new energy resources. Motivated by an optimization model proposed by Guttierrez et al (2006), in this report we propose a new model by considering a model of M. Ronnviqgist (2003). This model is a mixed integer programming (MIP), thus to solve the problem we employ a branch and bound scheme. Numerical experiment is done by MATLAB 7 and due to a restriction on the data from Kabupaten Bandung Barat, we use an illustrative data to present the analysis of the optimization model.*

**Keyword:** Optimization, CDM, Forestry, Mixed Integer Programming, Branch and Bound scheme

---

<sup>1</sup> Penelitian ini didanai oleh Anggaran Penelitian Peneliti Muda DIPA Universitas Padjadjaran Tahun 2009

## KATA PENGANTAR

Laporan Penelitian ini didanai oleh anggaran Dana Penelitian Peneliti Muda Anggaran DIPA Universitas Padjadjaran Tahun 2009. Dalam laporan ini, telah dikaji aplikasi salah satu metode matematika dalam bidang Riset Operasi yaitu Model Optimisasi untuk Masalah Manajemen Clean Development Mechanism (CDM). Tujuan utama dari penelitian ini adalah memberikan gambaran pentingnya pemodelan matematika dalam menentukan solusi optimal dalam masalah manajemen keputusan khususnya untuk optimisasi bidang kehutanan dengan memperhatikan pentingnya CDM. Untuk melengkapi kajian, eksperimen numeric disajikan dengan menggunakan data ilustratif. Kondisi Kehutanan dari Kabupaten Bandung Barat menyajikan data yang belum dapat diolah sesuai dengan keperluan penelitian.

Penelitian berlangsung selama 8(delapan) bulan dengan personalia penelitian terdiri dari dua orang doctor riset operasi dan satu orang ahli matematika dalam bidang stokastik, dibantu oleh satu orang mahasiswa S1 dan satu orang tenaga administrasi.

Ucapan terimakasih kami ucapkan kepada Ketua Lembaga Penelitian Universitas Padjadjaran yang telah menyetujui proposal penelitian ini untuk didanai, juga kepada Dekan FMIPA dan Ketua Jurusan Matematika FMIPA Universitas Padjadjaran sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan di Laboratorium Penelitian dan Kerjasama Jurusan Matematika FMIPA UNPAD.

Semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat.

Jatinangor, 14 November 2009

Firdaniza, M.Si  
Ketua Peneliti

## DAFTAR ISI

Abstrak

Abstract

Kata Pengantar

Daftar Isi

Daftar Tabel

Daftar Gambar

1. Pendahuluan
2. Kajian Pustaka yang telah dilakukan
  - 2.1 Perumusan Masalah
  - 2.2 Model Optimisasi Pembanding: Corbomax
    - 2.2.1 Modul 1: Simulasi Pertumbuhan
    - 2.2.2 Modul 2 : Profitability assesment
    - 2.2.3 Modul 3: Model Optimisasi
3. Tujuan dan manfaat penelitian
  - 3.1 Tujuan Penelitian
  - 3.2 Manfaat Penelitian
4. Metode Penelitian
5. Hasil dan pembahasan
  - 5.1 Model Optimisasi Perencanaan Taktis Manajemen Perhutanan berbasis CDM
  - 5.2 Masalah Perencanaan Taktis Untuk Manajemen Perhutanan
  - 5.3 Reformulasi Model
  - 5.4 Skema Branch and Bound untuk Menyelesaikan Masalah Perencanaan Taktis Perhutanan
  - 5.5 Hasil dan pembahasan
    - 5.5.1 Data Ilustratif
    - 5.5.2 Analisa dan Hasil Perhitungan
  - 5.6 Data Lapangan dari Kabupaten Bandung Barat
6. Kesimpulan dan saran

Daftar Pustaka

Lampiran



## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Data ilustratif untuk biaya penebangan hutan dan jumlah persediaan

Tabel 2. Biaya pengiriman hasil penebangan hutan dan jumlah permintaan

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Representasi grafis dari struktur model dari Corboma'x [V.H. Gutierrez et al2006 ]

Gambar 2. Grap  $G=(V,A)$  sebagai ilustrasi dari masalah MPTP

Gambar 3. Diagram Alir Skema Branch and Bound untuk Model Optimisasi MPTP

Gambar 3. Solusi optimal model optimisasi MPTP dengan Skema BB untuk data ilustratif



## 1. PENDAHULUAN

Dewasa ini, pentingnya cabang ilmu matematika Riset Operasi tidak dipertanyakan lagi karena cabang ilmu ini telah memberikan kontribusi yang signifikan dalam pencarian dan identifikasi keputusan terbaik dalam berbagai situasi pada masalah riil. Riset Operasi memberikan kemudahan dengan menjadi alat untuk memodelkan dan menyelesaikan masalah untuk menentukan keputusan terbaik dari berbagai kemungkinan solusi yang teridentifikasi. Sebagai contoh, dalam pengambilan keputusan dan penentuan parameter numerik pada saat yang bersamaan dalam disain engineering dari jadwal penggunaan mesin di suatu pabrik atau jadwal dari lalu lintas publik (pesawat, kereta api, bis, dan lain sebagainya). Juga masalah rute seperti disain dari jaringan *wireless* untuk telekomunikasi, rute pengiriman.

Konsep dari keputusan terbaik ini bergantung pada masalah yang akan diselesaikan. Biasanya tidak mudah untuk ditentukan secara matematis. Cara yang paling mudah adalah dengan mendeskripsikan keputusan tersebut dalam suatu himpunan variabel yang disebut variabel keputusan dan meminimumkan (atau memaksimumkan) fungsi tujuan yang bergantung pada variabel keputusan ini [Hiller and Lieberman2000]. Fungsi ini, misalkan, menghitung biaya yang berkaitan dengan keputusan terbaik.

Pada prakteknya, Riset operasi tidak dapat dipisahkan dari Pemodelan Optimisasi. Hal ini disebabkan oleh karena bidang kajian pemodelan optimisasi adalah mengembangkan metode terbaik untuk menyelesaikan kelas masalah yang bertujuan meminimumkan atau memaksimumkan fungsi objektif yang dibatasi oleh suatu himpunan fungsi kendala sehingga variabel keputusan dapat ditentukan [Bishop2006]. Atas dasar pentingnya Riset Operasi dan Pemodelan Optimisasi inilah, maka peneliti utama mengusulkan proposal penelitian ini dalam rangka melengkapi khazanah masalah optimisasi yang selama ini telah dikembangkan seperti disajikan dalam [Chaerani2006]. Diharapkan pula modifikasi model yang dihasilkan dari penelitian ini dapat disimulasikan dengan menggunakan software matematika Mapple untuk melengkapi khazanah pemodelan Riset Operasi seperti yang disajikan dalam buku *Interactive Operations Research via Mapple* yang ditulis oleh M. Parlal pada tahun 2004.

Topik utama yang diteliti adalah Model Optimisasi untuk Masalah Manajemen *Clean Development Mechanism* (CDM). Hal ini mengingat isu yang tengah mendunia mengenai pemanasan global dan perubahan iklim secara besar-besaran.

Mekanisme CDM merupakan suatu mekanisme yang diupayakan untuk mencegah dan mengatasi pemanasan global dan perubahan iklim. Diawali oleh Kyoto Protocol pada tahun 1997 yang bertujuan untuk mengurangi emisi *greenhouse gasses* (GHGs) sebesar 5.1% sepanjang tahun 2008-2012. Mekanisme CDM ini adalah suatu proyek yang berdasarkan pada proyek pengurangan emisi yang bertempat di negara berkembang dengan cara menjual kredit karbon kepada negara industri.

Memandang pentingnya CDM dewasa ini, maka perlu dilakukan kajian teoritis dan praktis dari sisi pemodelan matematika untuk dapat menentukan solusi optimal dari manajemen CDM ini. Dengan memperhatikan dua variabel keputusan yaitu kredit karbon ( $CO_2$ ) dan penjualan kayu, maka fungsi tujuan dari model optimisasi yang akan diteliti dalam proposal ini adalah memaksimumkan keuntungan industri perhutanan sebagai sumber daya penghasil karbon ( $CO_2$ ) dan kayu. Model ini telah terlebih dahulu dikembangkan oleh V.H. Gutierrez et al (2006).

Berikut pada subbab 2.1 akan dirumuskan masalah yang akan diteliti sebagai rencana kerja untuk mengimplementasikan model yang diusulkan oleh V.H. Gutierrez et al (2006) di Kabupaten Bandung Barat.

## 2. KAJIAN PUSTAKA YANG SUDAH DILAKUKAN

### 2.1 Perumusan Masalah

Berdasarkan kepada *Kyoto Protocol* [UNFCCC1997], berbagai proyek dalam bidang *Clean Development Mechanism* (CDM) didisain untuk mempromosikan pembangunan yang berkesinambungan di berbagai negara berkembang dimana pada saat yang bersamaan proyek tersebut dapat digunakan untuk membantu negara berkembang tersebut untuk mencapai target pengurangan emisi [UNFCCC1997]. Aktivitas pada lahan perhutanan dapat membantu untuk mencapai tujuan ini karena proyek-proyek yang didisain dengan baik menghasilkan lingkungan yang penting dan juga kolaterasi sosial yang menguntungkan seperti peraturan perairan, pengurangan erosi, perbaikan habitat dan membuka lapangan kerja [Ji and Junfeng2000; Gracia et al 2005; IUCN 2006].

Akan tetapi, aktivitas perhutanan memiliki detektor karena CO<sub>2</sub> yang diserap oleh hutan tidak dihasilkan kembali dengan jumlah yang sama. Hal ini dipandang penting untuk dijadikan topik dalam *the Ninth Conference of the Parties (COP9)*, yang mana hal-hal yang terkait dengan prosedur untuk proyek CDM telah disetujui untuk dilakukan. Berdasarkan pada COP9 ini, peranan hutan ini terbatas oleh waktu, pada akhirnya, sumber daya alam ini harus diperbaharui atau digantikan oleh sumber daya lain (AAus, CERs, ERUs dan RMUs) sebelum waktu yang ditentukan habis [UNFCCC 2003].

Keputusan-keputusan yang diadopsi mengenai ke-tidakpermanenan dalam COP9 memungkinkan proyek-proyek perhutanan untuk memperoleh keuntungan dari *certified Emission Reductions (CERs)* dan kayu. Namun demikian, harga kayu dan CERs merupakan suatu *variable* yang harus ditentukan besaran optimalnya, seperti akan ditunjukkan berikut ini.

Keputusan yang harus dibuat dalam manajemen perhutanan bertujuan untuk memperoleh keuntungan dari salah satu dari dua sumber penghasilan ini, sehingga dapat memberikan suatu akibat secara negatif dari penghasilan (*income*) yang diperoleh dari sisi lainnya. Hal inilah yang menjadi alasan mengapa para pembuat proyek memerlukan suatu alat yang tepat untuk dapat mengetahui apa yang akan dijadikan suatu aturan regulasi dalam manajemen perhutanan (seperti misalnya frekuensi dan intensitas dari penebangan dan panjang periode rotasi) sehingga para pembuat proyek ini dapat memaksimalkan keuntungan dari kedua sumber penghasilan ini.

V.H. Gutierrez et al dalam tulisannya yang berjudul *Maximizing the profitability of forestry projects under the Clean Development Mechanism using a forest management optimization model* yang diterbitkan dalam jurnal *Forest Ecology and Management* 226 (2006) 341–350, mengusulkan **Carboma'x**: model optimisasi manajemen untuk proyek perhutanan dalam bidang CDM.

Carboma'x ini mensimulasikan beberapa peraturan manajemen dan mencari yang peraturan terbaik yang dapat memaksimalkan keuntungan dari proyek CDM dengan mempertimbangkan variabel karbon dan kapasitas produksi kayu dari spesies yang diperhatikan dan ekspektasi mengenai pasar karbon dan kayu.

Dalam proposal ini akan dilakukan studi mengenai karakterisasi model optimisasi manajemen CDM berdasarkan paper yang diusulkan oleh V.H Gutie´rrez et al dan diharapkan dapat diimplementasikan dalam studi kasus yang direncanakan untuk dilakukan di Kabupaten Bandung Barat. Merujuk pada model tersebut langkah penelitian yang akan dilakukan dibagi menjadi tiga tahap yaitu:

1. Tahap karakterisasi dari struktur umum untuk model optimisasi manajemen CDM. Dalam tahap ini akan dilakukan penyusunan model optimisasi verbal dari skenario manajemen CDM yang sesuai untuk diimplementasikan di Kabupaten Bandung Barat.
2. Tahap kedua, model verbal yang diperoleh pada tahap pertama akan diformulasikan secara matematis sehingga dapat diperkenalkan model optimisasi manajemen CDM ini melalui terminologi dan konsep optimisasi.
3. Tahap ketiga, uji hipotesis akan dilakukan dengan studi kasus di Kabupaten Bandung Barat. Hipotesis tersebut adalah :
  - a. Manajemen perhutanan yang optimal sangat dipengaruhi oleh skenario pasar karbon dan kayu.
  - b. CERs akan lebih menguntungkan untuk industri perhutanan dalam mekanisme CDM karena akan memberikan fleksibilitas pada manajemen perhutanan

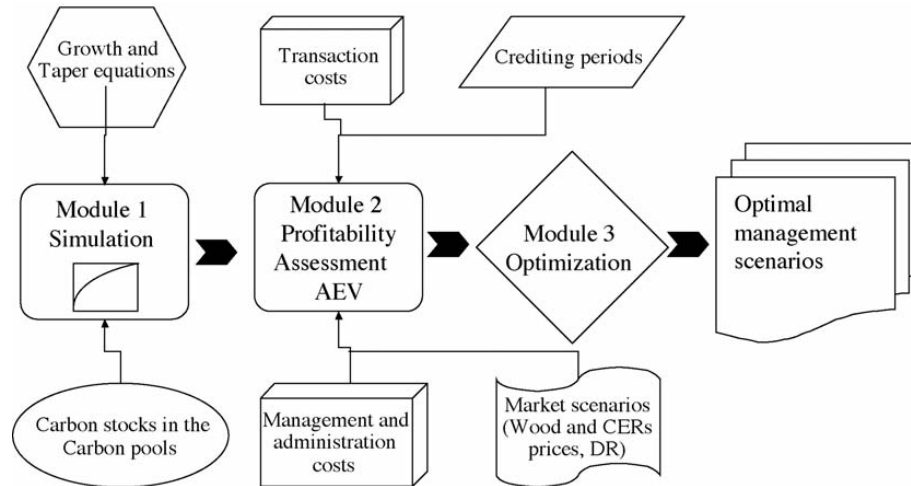
Penting untuk diketahui bahwa Corboma'x dibangun berbasis optimisasi dengan menggunakan algoritma genetika, yaitu suatu algoritma yang dapat menyelesaikan pencarian solusi optimal pada masalah optimisasi berdasarkan mekanisme dari genetika natural dan pemilihan natural [Kalyanmo 1996].

Sementara itu, peneliti utama memfokuskan topik penelitian ini pada tahap-tahap yang telah disebutkan diatas dan mencoba menjajaki kemungkinan penggunaan teknik optimisasi lain khususnya untuk menangani data taktentu, yaitu dengan menggunakan konsep pemodelan robust disain dengan menggunakan teknik optimisasi konik [Chaerani2006]. Hal ini diharapkan dapat dikembangkannya masalah manajemen CDM ini menjadi salah satu khazanah masalah yang dapat diselesaikan menggunakan teknologi optimisasi yang berdasar pada konveksitas dari masalah sehingga diperoleh solusi robust optimal global.

Pada subbab 2.2 berikut ini akan dibahas mengenai struktur model dari Corboma'x.

## **2.2 MODEL OPTIMISASI PEMBANDING : CORBOMAX**

Pada subbab ini disajikan rangkuman dari usulan model optimisasi yang diusulkan oleh V.H. Gutie´rrez et al. Seperti telah disebutkan pada subbab D, Produk penelitian yang dihasilkan oleh V.H. Gutie´rrez et al adalah Corboma'x, dimana Corboma'x ini terdiri dari tiga modul seperti dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 1. Representasi grafis dari struktur model dari Corboma'x [V.H. Gutierrez et al 2006 ]

Modul pertama terdiri dari modul simulasi untuk pertumbuhan karbon dan kayu yang dihasilkan oleh berbagai peraturan manajemen yang berbeda berdasarkan pada struktur biaya dan pendapatan. Modul kedua menghitung keuntungan yang diperoleh dari setiap peraturan yang disimulasikan, Modul ketiga mencari peraturan terbaik yang memaksimalkan keuntungan proyek untuk setiap scenario pasar yang disimulasikan. Berikut ini akan dibahas secara singkat mengenai deskripsi dari setiap modul yang diusulkan oleh V.H. Gutierrez et al.

### 2.2.1 Modul 1 : Simulasi Pertumbuhan

Dalam modul ini, produksi kayu total diprediksi dengan satuan volume yang dapat diformulasikan menjadi persamaan matematika yang tertulis dalam literatur. Dengan menggunakan persamaan Taper, modul ini menghitung produksi kayu untuk produk habis-pakai yang berbeda-beda. Informasi ini diperlukan untuk menghitung pendapatan yang diperoleh dari penjualan kayu karena penggunaan habis-pakai yang berbeda-beda memiliki harga yang berbeda-beda pula.

Untuk mengestimasi dinamika karbon, Corboma'x menggunakan biomass atau persamaan pertumbuhan karbon. Jika hanya persamaan volume yang dapat digunakan, maka volume yang diestimasi ini akan ditransformasi menjadi batas atas biomass yang dikenal sebagai *Biomass Expansion Factors* (BEF) yang dipilih oleh pengguna. Faktor-faktor ini didefinisikan sebagai rasio total dari batas atas pohon biomass terhadap biomass dari volume ua, yang dihitung sebagai hasil kali dari volume asap dan densitas kayu.

Ketika persamaan karbon di tempat lain (akar biomass, kayu mati dan sampah) tidak dapat digunakan, nilai-nilai ini dihitung sebagai proporsi dari total pohon biomass per hectare. Jika tidak ada data mengenai kandungan karbon dalam biomasa, konstanta universal 0.5 digunakan [IPCC2003]. Nilai karbon ditransformasikan untuk CO<sub>2</sub> dikalikan dengan 44/12. Karbon padat tidak diperhitungkan dalam pemodelan karena meskipun besaran ini dapat mengakumulasi kuantitas karbon yang bernilai tinggi, namun rata-rata bersih dari nilai akumulasi ini sulit diprediksi [Bashkin and Binkley 1998, Lopera et al 2003] dan secara variabel spasial pada kedua skala mikro dan makro akan bernilai tinggi.

Pertumbuhan setelah perjalanan mundur diproyeksikan menggunakan metode untuk memprediksi pertumbuhan masa depan, berdasarkan pada kondisi saat ini seperti yang dideskripsikan oleh Clutter et al. (1983). Carboma'x dibentuk untuk menstimulasikan pertumbuhan hutan tanpa waktu perjalanan mundur atau memperhatikan satu atau dua waktu mundur dengan intensitas yang bervariasi antara 20%-60% dari area basal.

### 2.2.2. Module 2: Profitability Assessment

Modul ini menghitung dari indikator profitability dan biaya dengan penjelasan sebagai berikut:

1. *Profitability indicator* dihitung berdasarkan *Annual Equivalent Value* (AEV) (1) [Benitez et.al 2001], dimana AEV ini dapat diperoleh dari perhitungan Net Present Value(NPV) seperti tertulis pada persamaan (2)

$$AEV = \frac{NPV \times i}{1 - (1 - i)^{-n}} \quad (1)$$

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{I_t - E_t}{(1 + i)^t} \quad (2)$$

dimana  $n$  adalah lamanya waktu operasi proyek dan  $i$  adalah rata-rata diskon, sedangkan  $I_t$  pendapatan yang diperoleh pada tahun ke- $t$  (dalam US\$) dan  $E_t$  adalah biaya yang diperlukan pada tahun ke- $t$  (dalam US\$).

2. *Komponenen Biaya* yang terdiri dari

- a. Biaya pendirian, manajemen dan administrasi.

Dalam modul ini, biaya-biaya yang diperlukan dihitung untuk seluruh waktu pelaksanaan proyek penanaman diperhitungkan. Biaya operasional yang termasuk gaji dan upah yang berkaitan dengan penanaman dan manajemen (persiapan lahan, pembibitan, penanaman, transportasi bibit, pupuk, penyiangan, pemeliharaan jalan, perlindungan kebakaran), material ( bibit, pupuk, insektisida dan peralatan), administrasi dan lain-lain. Biaya-biaya ini dihitung untuk hektar/tahun. Biaya administrasi diasumsikan sebagai persentase terhadap biaya total tahunan.

- b. Harga lahan.

Harga lahan tidak diperhitungkan karena model yang dibuat adalah model untuk membandingkan keuntungan yang diperoleh dari beberapa spesies untuk beberapa peraturan manajemen yang berbeda pada lahan yang sama [Benitez et al., 2001]

- c. Biaya transaksi berdasarkan pada waktu, usaha dan sumber daya lainnya seperti biaya inisiasi, negosiasi dan perjanjian [Lile et al. 1998]. Estimasi biaya transaksi dalam proyek CDM tidak dapat ditentukan secara langsung, biasanya biayanya tinggi karena tidak banyak yang berpengalaman dalam pembangunan untuk tipe seperti ini.

Jika tidak ada data yang dapat digunakan pada biaya transaksi, model memberikan nilai tetap berdasarkan pada review ekstensi dari literature terkini [Milne, 2001; Benitez et al., 2001; Michaelowa and Stronzik, 2002; Locatelli and Pedroni, 2003; Michaelowa and Jotzo, 2003].

3. *Pendapatan*. Berdasarkan aturan COP9, partisipan proyek akan memilih salah satu dari *forestry credits* (fCERs) berikut ini: temporary CERs (tCERs) yang berakhir pada akhir periode komitmen pada saat dikeluarkan long-term CERs (lCERs), yang berakhir pada akhir periode kredit. Diasumsikan bahwa dalam analisa ini semua komitmen akan berlaku untuk 5 tahun. Berdasarkan COP9, periode kredit dapat berlaku untuk 20 tahun dengan dua kesempatan pembaharuan atau 30 tahun tanpa pembaharuan. Sekali waktu fCERs tidak berlaku, maka Negara berkembang tersebut harus memperbaharui atau mengganti dengan nilai satuan valid lainnya yang disetujui oleh Kyoto Protocol (CERs, AAUs or ERUs) (UNFCCC, 2003). Disebabkan oleh ketidakpastian dalam beberapa jenis fCERs akan lebih menguntungkan.

### 2.2.3 Module 3: Optimisasi

Modul ini menggunakan algoritma genetic untuk mengoptimalkan manajemen perhutanan. Dimana model ini merupakan model yang adaptif, model stokastik yang berkaitan dengan pemilihan natural untuk menentukan solusi optimal. Dalam hal ini sangat membantu bila masalah yang diselesaikan adalah masalah optimisasi dalam skala besar dengan beberapa titik optimal local [Ansari and Hou, 1997; Fouskakis and Draper, 2002]. Dalam kasus ini, solusi dari dua modul sebelumnya akan dievaluasi dengan fungsi *fitness*, dalam hal ini didefinisikan sebagai AEV untuk menentukan nilai optimal. Kombinasi yang berbeda dari parameter-parameter ini dievaluasi dengan algoritma sampai solusi optimal diperoleh. Pustaka rujukan untuk deskripsi dan formulasi lengkap dari Algoritma Genetika dapat dilihat dalam paper [Fouskakis and Draper 2002].

## 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

### 3.1 Tujuan Penelitian

1. Mengkarakterisasi model optimisasi manajemen CDM dengan menggunakan terminologi dan konsep optimisasi yang meliputi transformasi model optimisasi verbal menjadi model optimisasi matematis.
2. Mempelajari dan membuat studi kelayakan di daerah studi kasus untuk menentukan kemungkinan implementasi mekanisme CDM.
3. Menelusuri kemungkinan untuk memformulasi ulang model optimisasi CDM ini sedemikian sehingga dapat diselesaikan dengan metode optimisasi lain selain algoritma genetika.

### 3.2. Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan kontribusi bagi pengembangan model optimisasi khususnya pada bidang manajemen CDM, juga kontribusi untuk mengukur potensi keberhasilan pembangunan di Kabupaten Bandung Barat.

## 4. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan adalah:

1. Kajian Literatur
2. Proses pengembangan model/penggunaan model optimisasi pada masalah manajemen CDM dengan menggunakan teknik optimisasi linear/nonlinear.
3. Studi kasus, dengan menggunakan data simulasi.

## 5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan penelitian ini, dapat dirangkum dalam uraian berikut ini:

### 5.1 Model Optimisasi Perencanaan Taktis Manajemen Perhutanan berbasis CDM

Pada Subbab ini disajikan karakterisasi model optimisasi manajemen CDM dengan menggunakan terminologi dan konsep optimisasi yang meliputi transformasi model optimisasi verbal menjadi model optimisasi matematis. Perlu dicatat bahwa dalam kajian yang disajikan oleh V.H. Gutierrez et al model optimisasi untuk memaksimalkan keuntungan pada manajemen perhutanan tidaklah disajikan secara eksplisit. Untuk itu, dalam penelitian ini, model optimisasi manajemen perhutanan yang akan dikembangkan diambil berdasarkan model yang diusulkan oleh Mikael Ronnquist. Model ini dikenal dengan Masalah Perencanaan Taktis untuk Industri Perhutanan, yang merupakan masalah *Mixed Integer Programming*. Dengan demikian, dalam metode penyelesaian masalah ini digunakan metode lain selain Algoritma Genetika, dalam hal ini Skema *Branch and Bound*.

### 5.2 Masalah Perencanaan Taktis untuk Manajemen Perhutanan

Perencanaan penebangan hutan untuk sejumlah periode bulan dalam satu tahun menjadi topik utama dalam masalah perencanaan taktis manajemen perhutanan (MPTP) ini. Dalam hal ini, perlu ditentukan daerah perhutanan mana yang dapat ditebang, daerah industri mana yang akan dikirim hasil penebangan hutan dan peralatan atau kelompok kerja mana yang akan digunakan atau ditugaskan untuk menebang hutan. Masalah ini dirumuskan sebagai model *Mixed Integer Programming (MIP)*. Secara verbal, skenario model optimisasi MPTP ini dapat dinyatakan sebagai model verbal berikut:

**Minimumkan** biaya total penebangan hutan dan biaya transportasi  
**dengan kendala**

1. Untuk setiap daerah penebangan, tebang daerah penebangan hanya satu kali dalam satu periode penebangan..
2. Untuk setiap periode penebangan dan kelompok kerja, hanya ada satu pekerjaan penebangan yang dikerjakan oleh satu kelompok kerja dalam satu periode penebangan.
3. Untuk setiap daerah industri, aliran kayu hasil penebangan hutan harus dapat memenuhi permintaan daerah industri.
4. Untuk setiap daerah industri, jumlah persediaan kayu hasil penebangan dari suatu daerah penebangan hutan haruslah lebih besar atau sama dengan jumlah aliran kayu yang dikirim ke daerah industri.

Sehingga, untuk mengkonstruksi model optimisasi MPTP secara matematis, berikut ini variabel dan koefisien-koefisien yang dapat digunakan untuk memformulasikan model matematis dari model optimisasi MPTP:

1. Variabel keputusan yang menyatakan apakah suatu daerah hutan  $i$  ditebang atau tidak, dinyatakan dengan notasi  $x_{itc}$ , dimana nilai  $x_{itc}$  adalah 0 atau 1.

$$x_{itc} = \begin{cases} 1, & \text{jika daerah } i \text{ ditebang pada periode } t \text{ oleh kelompok kerja } c \\ & \text{(dengan peralatan yang diberikan)} \\ 0, & \text{lainnya.} \end{cases}$$

2.  $y_{ijt}$  adalah jumlah aliran kayu hasil penebangan dari daerah penebangan  $i$  ke daerah industri  $j$  pada periode waktu  $t$ .
3.  $s_{itc}$  adalah jumlah persediaan di daerah penebangan  $i$  pada periode  $t$  yang dikerjakan oleh kelompok kerja  $c$ .
4.  $d_{jt}$  adalah jumlah permintaan kayu daerah industri  $j$  pada periode  $t$ .
5.  $f_{itc}$  adalah biaya penebangan yang harus dikeluarkan jika daerah penebangan  $i$  ditebang pada periode  $t$  oleh kelompok kerja  $c$ .
6.  $c_{ijt}$  adalah biaya unit transportasi pengiriman hasil penebangan dari daerah penebangan  $i$  ke daerah industri  $j$  pada periode  $t$ .

Dengan menggunakan notasi-notasi tersebut, maka model optimisasi MPTP dapat dinyatakan sebagai model optimisasi berikut:

$$\begin{aligned} \min z &= \sum_i \sum_t \sum_c f_{itc} x_{itc} + \sum_i \sum_j \sum_t c_{ijt} y_{ijt} \\ s.t \quad & \sum_t \sum_c x_{itc} \leq 1, \forall i \\ & \sum_i x_{itc} \leq 1, \forall t, c \\ & \sum_j y_{ijt} \leq s_{itc} x_{itc}, \forall i, t, c \\ & \sum_i y_{ijt} = d_{jt}, \forall j, t, \\ & x_{itc} \in \{0,1\}, \forall i, t, c, \\ & y_{ijt} \geq 0, \forall i, j, t. \end{aligned} \tag{1}$$

### 5.3 Reformulasi Model Optimisasi MPTP

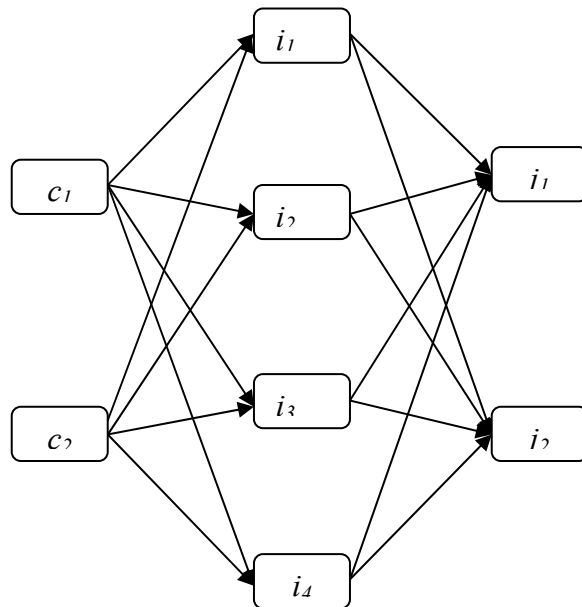
Pada subbab ini dibahas bagaimana model optimisasi MPTP diatas diformulasi ulang ke dalam bentuk standar Pemrograman Linier, khususnya dalam bentuk standar matriks. Pada tahap ini, terlebih dahulu dibahas model ilustratif dari model optimisasi MPTP sebagai berikut.

Misalkan diberikan himpunan  $(I, J, T, C)$  dimana  $I$  adalah himpunan daerah penebangan hutan,  $J$  adalah himpunan daerah industri,  $T$  adalah himpunan periode waktu pelaksanaan pekerjaan, dan  $C$  adalah himpunan dari kelompok kerja yang akan melakukan penebangan hutan.

Selanjutnya, untuk memahami permasalahan MPTP, maka asumsikan bahwa masalah ini dapat dinyatakan sebagai masalah dari sebuah grap  $G=(V,A)$  dimana  $V = V_c \cup V_i \cup V_j$  adalah himpunan titik-titik yang menyatakan titik untuk kelompok kerja  $c$ , daerah penebangan hutan  $i$  dan daerah industri  $j$ ;



dan  $A = A_{ci} \cup A_{ij}$  adalah gabungan antara himpunan  $A_{ci}$  (himpunan sisi-sisi yang menghubungkan kelompok kerja dan daerah penebangan) dan  $A_{ij}$  (himpunan sisi-sisi yang menghubungkan daerah penebangan hutan dan daerah industri). Dengan mengambil  $|I|=4$ ,  $|J|=2$ ,  $|T|=1$  dan  $|C|=2$ , maka grap  $G=(V,A)$  untuk masalah MPTP dapat digambarkan seperti dalam Gambar 2 berikut ini.



**Gambar 2. Grap  $G=(V,A)$  sebagai ilustrasi dari masalah MPTP**

Dengan demikian model optimisasi MPTP (1) untuk kasus ini adalah

$$\begin{aligned} \min \quad & f^T x + c^T y \\ \text{s.t} \quad & Ax \leq b \end{aligned}$$

$$Sx + Ty \leq 0 \tag{2}$$

$$Dy = d$$

$$x \in \{0,1\}, y \geq 0$$

dimana

$$f = \begin{bmatrix} f_{111} \\ f_{211} \\ f_{311} \\ f_{411} \\ f_{112} \\ f_{212} \\ f_{312} \\ f_{412} \end{bmatrix}, x = \begin{bmatrix} x_{111} \\ x_{211} \\ x_{311} \\ x_{411} \\ x_{112} \\ x_{212} \\ x_{312} \\ x_{412} \end{bmatrix}, c = \begin{bmatrix} c_{111} \\ c_{121} \\ c_{211} \\ c_{221} \\ c_{311} \\ c_{321} \\ c_{411} \\ c_{421} \end{bmatrix}, y = \begin{bmatrix} y_{111} \\ y_{121} \\ y_{211} \\ y_{221} \\ y_{311} \\ y_{321} \\ y_{411} \\ y_{421} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$S = \begin{bmatrix} -s_{111} & 0 & 0 & 0 & -s_{112} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -s_{211} & 0 & 0 & 0 & -s_{212} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -s_{311} & 0 & 0 & 0 & -s_{312} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -s_{411} & 0 & 0 & 0 & -s_{412} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, d = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Formulasi model optimisasi (2) equivalent dengan formulasi dalam bentuk standar matriks untuk masalah pemrograman linier mixed integer berikut.

$$\begin{aligned} & \min \begin{bmatrix} f \\ c \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \\ & \text{s.t} \\ & \begin{bmatrix} A & 0 \\ S & T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b \\ 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

(7)

$$\begin{bmatrix} 0 \\ D \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = d$$

$$x \in \{0,1\}, y, u, v \geq 0.$$

Tulis kembali model optimisasi (7) dalam model optimisasi dengan empat variabel keputusan  $x, y, u$  dan  $v$ , maka diperoleh model berikut.

$$\min \begin{bmatrix} f \\ c \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} x \\ y \\ u \\ v \end{bmatrix}$$

s.t

$$\begin{bmatrix} A & 0 & I_u & 0 \\ S & T & 0 & I_v \\ 0 & D & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b \\ 0 \\ d \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$x \in \{0,1\}, y, u, v \geq 0,$$

dimana  $I_u$  dan  $I_v$  adalah matriks identitas yang berukuran  $|u| \times |u|$  dan  $|v| \times |v|$ . Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa model optimisasi MPTP (1) adalah ekuivalen dengan model optimisasi (8).

#### 5.4 Skema *Branch and Bound* untuk menyelesaikan Masalah Perencanaan Taktis Perhutanan

Perhatikan bahwa model optimisasi MPTP (8) diatas merupakan kelas masalah optimisasi mixed integer programming (MIP). Dengan demikian, diperlukan suatu skema khusus untuk menangani keterlibatan variabel integer dalam model (8) ini. Beberapa algoritma yang telah dikenal sebagai metode penyelesaian masalah MIP diantaranya adalah Metode Gomory Cutting Plane (GCP), Metode Balas dan Skema *Branch and Bound* (BB). Dalam makalah ini dibahas mengenai skema khusus BB untuk model optimisasi MPTP, seperti terlihat dalam Gambar 3.

### 5.5 Hasil dan Pembahasan

#### 5.5.1 Data Ilustratif

Untuk melengkapi analisa terhadap model optimisasi MPTP (8), sebuah contoh ilustratif digunakan untuk memberikan pemahaman lebih jelas. Berikut ini data ilustratif yang digunakan dalam makalah ini.

**Tabel 1. Data ilustratif untuk biaya penebangan hutan dan jumlah persediaan**

	Biaya Penebangan (Jutaan Rupiah)			
	Hutan 1	Hutan 2	Hutan 3	Hutan 4
Kelompok kerja 1	5	4,5	4.7	4.4
Kelompok kerja 2	4.5	5.5	4.7	4.8
Jumlah Persediaan (Ton)	1400	1200	1000	1200

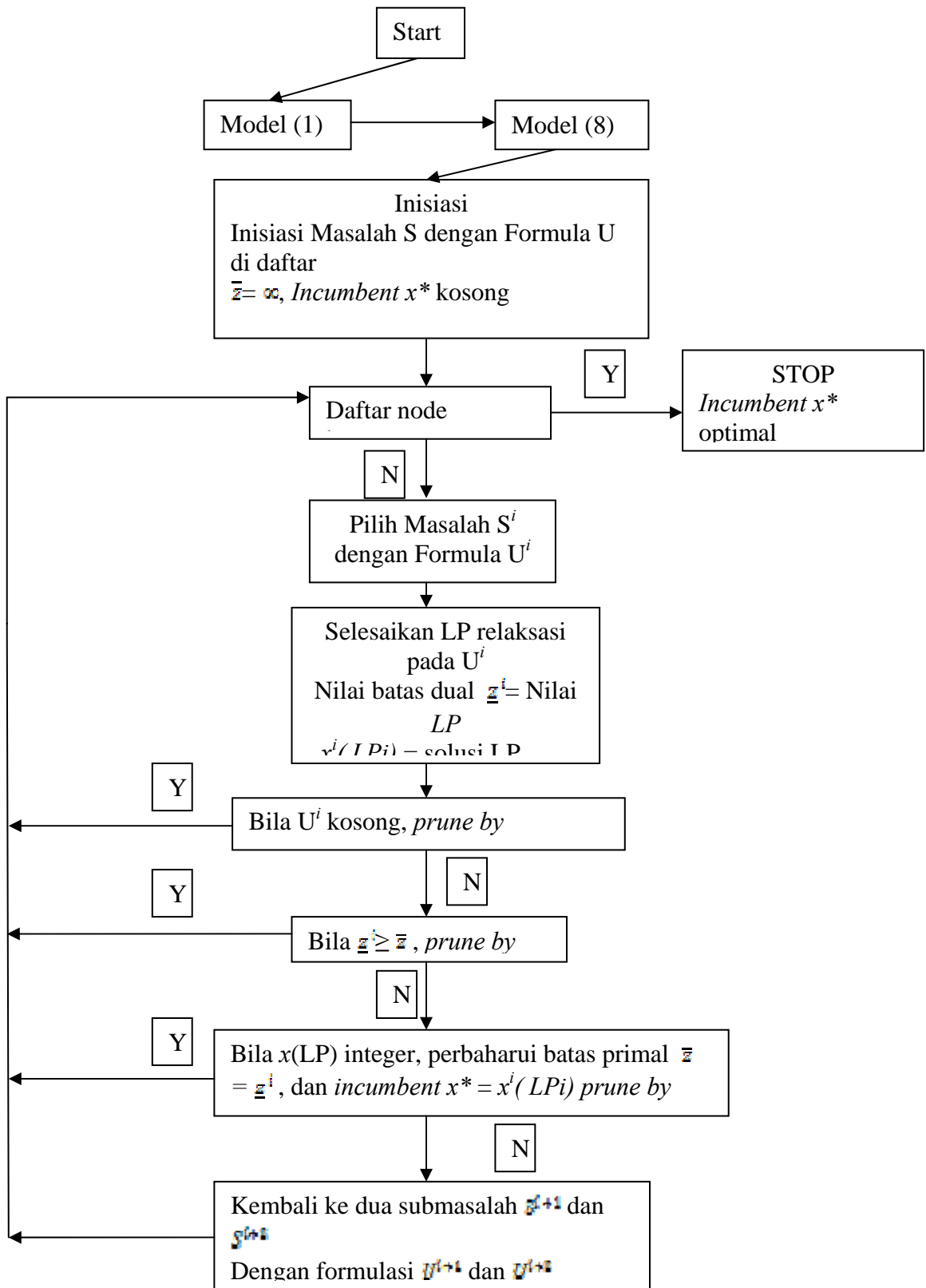
Tabel 2 memberikan data ilustratif untuk biaya pengiriman hasil penebangan hutan dan jumlah permintaan industri.

**Tabel 2. Biaya pengiriman hasil penebangan hutan dan jumlah permintaan**

	Biaya Penebangan (ratusan ribu rupiah)				
	Hutan 1	Hutan 2	Hutan 3	Hutan 4	
Industri 1	200	250	350	200	1500
Industri 2	300	250	230	400	1400

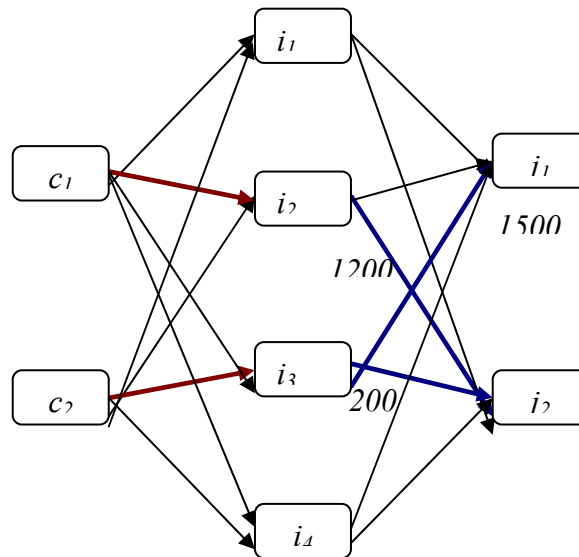
### 5.5.2 Analisa Hasil Perhitungan

Untuk memberikan gambaran akan kompleksitas perhitungan dengan menggunakan skema BB, perhatikan bahwa masalah optimisasi MPTP dengan contoh ilustratif ini, memiliki 26 variabel keputusan dengan 12 persamaan kendala. Untuk ukuran masalah kecil ini, diperlukan 14 iterasi. Dengan menggunakan bantuan Matlab untuk mengimplementasikan skema BB pada data ilustratif ini, maka diperoleh hasil seperti yang dapat digambarkan dalam Gambar 4.



Gambar 3. Diagram Alir Skema Branch and Bound untuk Model Optimisasi MPTP

Gambar 3 menunjukkan bahwa daerah penebangan hutan 2 dapat ditebang oleh kelompok kerja 1 dan daerah penebangan hutan 3 dapat ditebang oleh kelompok kerja 2, dengan biaya penebangan dan biaya transportasi yang diperlukan adalah Rp 670.070.000 Berdasarkan asumsi pada fungsi persamaan kendala keadaan ini menunjukkan bahwa hanya ada satu kelompok kerja yang bekerja untuk menebang daerah penebangan hutan. Hasil ini juga menunjukkan bahwa dalam satu periode, hutan 2 dan hutan 3 hanya ditebang satu kali.



**Gambar 3. Solusi optimal model optimisasi MPTP dengan Skema BB untuk data ilustratif**

Selanjutnya, hasil perhitungan memperlihatkan bahwa jumlah persediaan hasil penebangan di daerah hutan 2, dikirimkan ke daerah industri 2 sebanyak 1200 ton. Sementara itu, daerah penebangan hutan 3 mengirimkan 1500 ton ke daerah industri 1 dan 200 ton ke daerah industri 1. Ini menunjukkan bahwa jumlah permintaan daerah industri 1 dan 2 telah terpenuhi oleh kedua daerah penebangan hutan. Namun demikian, jika kita perhatikan data jumlah persediaan pada setiap hutan, dari Tabel 1, terlihat bahwa jumlah persediaan yang dapat disediakan oleh hutan 3, hanyalah sebanyak 1000 ton. Sementara itu, hasil perhitungan menunjukkan bahwa jumlah hasil penebangan hutan yang dikirimkan ke daerah industri 1 dan 2 berjumlah 1700 ton. Ini menunjukkan adanya kekurangan persediaan yang diijinkan pada daerah hasil penebangan. Hasil ini dapat dikaji lebih lanjut dengan menggunakan Teori Pengendalian Persediaan yang mengijinkan adanya kekurangan.

### 5.5.3 Data Lapangan Kabupaten Bandung Barat

Berikut ini uraian mengenai potensi kehutanan di wilayah kabupaten bandung barat terdapat mata air yang tersebar di tiap tiap kecamatan, kecamatan Cikalongwetan menempati urutan pertama dengan jumlah mata air 53,00 atau 10,33% dari total mata air Kabupaten Bndung sedangkan yang lainnya di Kecamatan Batu Jajar, Cipongkor dan tempat tempat lainnya masing masing 1 atau 0,19% dari total di Kabupaten Bandung. Di wilayah Bandung Barat terdapat hutan lindung / hutan wisata / hutan baru, Kecamatan Cikalong Wetan mempunyai hutan terluas yaitu 5.285,00 Ha, sedangkan di Kecamatan Batujajar seluas 2,00 Ha. Data ini diperoleh melalu akses Internet [http://www.bandungbaratkab.go.id/index.php?option=com\\_content&view=article&id=107:kehutanan&catid=58:sumber-daya-alam](http://www.bandungbaratkab.go.id/index.php?option=com_content&view=article&id=107:kehutanan&catid=58:sumber-daya-alam).

Dikarenakan data dari Kabupaten Bandung Barat yang diperlukan sebagaimana diilustrasikan pada subbab 5.5.2, belum diperoleh, maka kajian topik penelitian ini memerlukan tambahan waktu untuk menampilkan kepentingannya dengan menggunakan data riil.

## 6. KESIMPULAN DAN SARAN

Keterkaitan antara CDM dan teknologi optimisasi di bidang perhutanan tidak dapat dipisahkan. Hal ini terkait dengan efisiensi biaya yang harus dikeluarkan dalam melaksanakan proses CDM itu sendiri. Dalam makalah ini telah dibahas suatu model optimisasi MPTP yang berkaitan dengan meminimumkan biaya penebangan hutan dan biaya pengiriman kayu. Dalam hal ini ekivalen dengan konsep maksimisasi keuntungan yang diusulkan oleh Guttierrez et al. Dalam makalah ini digunakan teknik penyelesaian masalah MIP yaitu dengan skema *branch and bound*, telah ditunjukkan bahwa modul optimisasi berbasis CDM dapat dikembangkan berdasarkan skema ini. Uji model dan validasi sebaiknya dilakukan dengan menggunakan data real dari lapangan. (lihat subbab 5.53).

Sebagai topik lanjutan, penelitian difokuskan untuk menangani penaksiran parameter data dalam kaitannya menaksir biaya penebangan dan biaya transportasi. Lebih lanjut, kedua parameter ini dapat diasumsikan taktentu, sehingga model optimisasi ini dapat dikembangkan dengan menggunakan konsep pemodelan robust disain dengan menggunakan teknik optimisasi konik [Chaerani2006]. Hal ini diharapkan dapat dikembangkannya masalah manajemen CDM ini menjadi salah satu khazanah masalah yang dapat diselesaikan menggunakan teknologi optimisasi yang berdasar pada konveksitas dari masalah sehingga diperoleh solusi robust optimal global.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Ansari, N., Hou, E., Computational Intelligence for Optimization. Kluwer Academic Publishers, Norwell. 1997.
2. Bashkin, M., Binkley, D., Changes in soil carbon following afforestation in Hawaii. Ecology 79 (3), 828–833. 1998.
3. Benitez, P., Olschewski, R., de Koning, F., Lo'pez, M., Investigacio'n de Bosques Tropicales: Ana'lisis Costo Beneficio de Usos del Suelo y Fijacio'n de Carbono en Sistemas Forestales de Ecuador Noroccidental. Begleitprogramm Tropenokologie (TOB) – Deutsche Gelleschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ). Eschborn. 2001.
4. Clutter, J., Forston, J., Pienaar, L., Brister, G., Bailey, R., Timber Management: A Quantitative Approach. John Wiley & Sons, New York. 1983.

5. D. Chaerani, Modelling Robust Design Problems via Conic Optimization, TU Delft PhD thesis, ISBN 90-8559-232-1, Optima Grafische Communicatie, Rotterdam, The Netherlands, 2006.
6. Fouskakis, D., Draper, D., Stochastic optimization: a review. *Int. Stat. Rev.* 70 (3), 315–349. 2002.
7. Garcia, J., Deckmyn, G., Moons, E., Proost, S., Ceulemans, R., Muys, B., An integrated decision support framework for the prediction and evaluation of efficiency, environmental impact and total social cost of domestic and international forestry projects for greenhouse gas mitigation: description and case studies. *For. Ecol. Manage.* 207, 245–262. 2005.
8. Hiller F.S. & Lieberman, G.J., *Introduction Operation Research*, Mc Graw-Hill Incorporation, New York., 2003
9. IUCN, The World Conservation Union, [http://www.iucn.org/themes/carbon/knowcdm/dc\\_opps.htm](http://www.iucn.org/themes/carbon/knowcdm/dc_opps.htm) (online). 2006.
10. J. Bishop. *AIMMS Optimization Modelling*. Paragon Decision Technolgy, Haarleem, The Netherlands. 2006
11. Ji, Z., Junfeng, L., China: CDM opportunities and benefits. In: Austin, D., Faeth, P. (Eds.), *Financing Sustainable Development with the Clean Development Mechanism*. World Resources Institute, Washington DC. 2000.
12. Kalyanmoy Beb. *Optimization for Engineering Design: Algorithm and Examples*. Prentice-Hall of India Private Limited. New Delhi. 1996
13. Locatelli, B., Pedroni, L., Accounting methods for carbon credits: impacts on the minimum size of CDM forestry projects. Working paper. Global Change Group, CATIE, Turrialba. 2003.
14. Lopera, G., Gutierrez, V., Lema, A., Fijaci3n de carbono en plantaciones tropicales de *Pinus patula*. In: Orrego, S., Del Valle, J., Moreno, F. (Eds.), *Existencias y flujos de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia, Centro Andino para la Economí a en el Medio Ambiente, Bogotá . 2003.
15. Lopera, G., Gutierrez, V., Viabilidad técnica y económica de la utilizaci3n de plantaciones de *Pinus patula* como sumideros de CO<sub>2</sub>. Thesis. Universidad Nacional, Medellí n. 2000.
16. M. Parlar. *Interactive Operations Research via Mapple*. 2004
17. Michaelowa, A., Jotzo, F., Impacts of transaction costs and institutional rigidities on the share of the clean development mechanism in the global greenhouse gas market. Paper für die Sitzung des Ausschusses Umwelts - konomie im Verein für Socialpolitik, Rostock. 2003.
18. Michaelowa, A., Stronzik, M., Transaction costs of the Kyoto Protocol. HWWA discussion paper 175. *Hamburgisches Welt-Wirtschafts-Archiv (HWWA)*, Hamburg. 2002.
19. Milne, M., Transaction Costs of Forest Carbon Projects. Working paper CC05. Center for International Forestry Research (CIFOR), Bogor. 2001.
20. UNFCCC, Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. FCCC/CP/L.7/Add.1. 1997.
21. UNFCCC, Report of the Conference of the Parties on its Ninth Session, held at Milan from 1 to 12 December 2003. FCCC/CP/2003/6/Add.2. 2003
22. UNFCCC, Report of the Conference of the Parties on its Seventh Session, held at Marrakesh from 29 October to 10 November 2001. FCCC/CP/2001/13/Add.2. 2002.
23. V.H. Gutierrez et al. Maximizing the profitability of forestry projects under the Clean Development Mechanism using a forest management optimization model. *Forest Ecology and Management* 226 (2006) 341–350. 2006.



## LAMPIRAN

1. Surat Ijin Penelitian dari Kabupaten Bandung Barat
2. Referensi Utama Penelitian
3. Makalah Hasil Penelitian
4. Sertifikat Pemakalah
5. Biodata Peneliti