

Bidang Fokus/Unggulan : Teknologi Manajemen Penanggulangan
Kebencanaan
Fakultas : MIPA

**LAPORAN AKHIR
RISET TERAPAN UNGGULAN UNSRAT**



**MODEL OPTIMASI SISTEM PEMANENAN LESTARI
POHON CEMPAKA (*Elmerillia Sp*)
DALAM SKENARIO PERDAGANGAN KARBON**

TIM PENGUSUL

Yohanes A. R. Langi, S.Si., M.Si	NIDN 0013067002	(Ketua)
Altien J. Rindengan, S.Si, M.Kom	NIDN 0027047403	(Anggota)
Tohap Manurung, S.Si, M.Si	NIDN 0024127902	(Anggota)

**UNIVERSITAS SAM RATULANGI
OKTOBER 2019**

Dibiayai oleh:
Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Universitas Sam Ratulangi
Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi
Nomor: SP DIPA-042.01.2.400959/2019 tanggal 5 Desember 2018



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS SAM RATULANGI**

LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT

Alamat : Kampus UNSRAT Manado

Telp : (0431) 827560, Fax. (0431) 827560

Email : lppm@unsrat.ac.id Laman : <http://lppm.unsrat.ac.id>

**HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR
RTUU**

Judul Kegiatan MODEL OPTIMASI SISTEM PEMANENAN LESTARI POHON CEMPAKA (*Elmerillia Sp*) DALAM SKEMA PERDAGANGAN KARBON

Ketua Peneliti

Nama Lengkap : YOHANES ANDREAS ROBERT LANGI

Perguruan Tinggi : Universitas Sam Ratulangi

NIP/NIK : 197006132005011001

NIDN : 0013067002

Jab. Fungsional : Lektor

Unit Kerja : Matematika

Nomor HP :

Alamat Email : yarlangi@unsrat.ac.id

Usulan Biaya : 60.000.000

Biaya Maksimum : 51.000.000

Lama Penelitian : 6 bulan

Anggota Peneliti (1)

Nama Lengkap : ALTIEN JONATHAN RINDENGAN

NIP : 197404272001121001

NIDN : 0027047403

Perguruan Tinggi : Universitas Sam Ratulangi

Anggota Peneliti (1)

Nama Lengkap : TOHAP MANURUNG

NIP : 197912242006041003

NIDN : 0024127902

Perguruan Tinggi : Universitas Sam Ratulangi



Menggetahui
Dekan Fakultas MIPA

Prof. Dr. Benny Pinontoan, M.Sc.
NIP. 196604061995121001

Manado, 15 Oktober 2019

Ketua Peneliti

YOHANES ANDREAS ROBERT LANGI
NIP. 197006132005011001



Menyetujui

Ketua LPPM Universitas Sam Ratulangi

Prof. Dr. Ir. Charles Lodewijk Kaunang, MS
NIP. 195610181986031002

RINGKASAN

Hutan sebagai sumber daya alam yang cukup potensial akan memberikan keuntungan yang maksimal bila dikelola dengan baik. Pengelolaan hutan yang baik untuk mendapatkan keuntungan semaksimal mungkin bukanlah pekerjaan yang mudah, karena banyak keputusan sulit yang harus diambil oleh pemegang kebijakan pengelola hutan agar mendapatkan hasil yang optimal, salah satunya adalah dalam pengambilan keputusan untuk penentuan lokasi petak pemanenan hutan.

Pengelolaan tegakan dalam hutan rakyat seperti agroforestry, dan tegakan diluar kawasan hutan dapat mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) dalam kerangka Protokol Kyoto. Sistem agroforestri merupakan salah satu pilihan yang lebih baik dalam mengurangi perubahan iklim dibandingkan dengan pilihan lainnya dalam ekosistem terrestrial karena memiliki manfaat ganda dari sisi ekonomis dan ekologis, seperti membantu kelangsungan pangan, peningkatan pendapatan petani, terpeliharanya keanekaragaman hayati, konservasi tanah, pengurangan emisi dan perluasan hutan. Pohon cempaka wasian (*Elmerillia Sp*) adalah pohon endemik Sulawesi khususnya Sulawesi Utara merupakan salah satu primadona kayu hutan asal Sulawesi Utara. Data menunjukkan bahwa dalam 20 tahun terakhir ini kesadaran dari masyarakat dalam menanam dan mengusahakan pohon cempaka di lahan milik, meningkat dengan tajam.

Pemodelan matematika dapat digunakan untuk memecahkan permasalahan pengoptimalan sistem pemanenan lestari dengan mempertimbangan berbagai kendala, seperti volume pemanenan, siklus pemanenan dan keuntungan dengan cara penentuan waktu pemanenan dan lokasi petak pemanenan tegakan hutan rakyat.

Model matematika yang terbentuk mampu memberikan gambaran bagi para petani untuk mendapatkan hasil panen yang optimal dengan mempertimbangkan aspek kelestarian dalam sistem pemanenan lestari pada tegakan hutan rakyat pohon cempaka.

Keyword: optimalisasi, pemanenan, pohon cempaka, hutan rakyat, model matematika

PRAKATA

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang oleh kasihNya sehingga pelaksanaan penelitian berjalan dengan baik hingga dalam tahap pelaporan hasil penelitian dan monitoring evaluasi.

Penelitian ini merupakan penelitian yang di danai melalui DIPA-PNBP skema Riset Terapan Unggulan Universitas (RTUU), dengan judul “**MODEL OPTIMASI SISTEM PEMANENAN LESTARI POHON CEMPAKA (*Elmerillia Sp*) DALAM SKENARIO PERDAGANGAN KARBON**”

Penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu selama pelaksanaan penelitian, sehingga dapat berjalan dengan lancar, hingga pelaporan akhir.

Manado, Oktober 2019
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
RINGKASAN	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	8
BAB 4. METODE PENELITIAN	9
BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI	11
BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN	24
DAFTAR PUSTAKA	25
LAMPIRAN	26
Lampiran 1. Surat Tugas Penelitian	

DAFTAR TABEL

	Halaman
1. Harga Jual Kayu per meter kubik	13
2. Harga Jual Kayu (Rp)	13
3. Perkiraan Volume Setiap Lahan per Periode (dalam meter kubik)	14
4. Perkiraan Pendapatan Setiap Lahan per Periode (jutaan rupiah)	15
5. Tabel Pemanenan per Periode	22

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Bagan Penelitian	10

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Pengelolaan tegakan hutan rakyat seperti agroforestry, kebun rakyat dan tegakan diluar kawasan hutan dapat mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) dalam kerangka Protokol Kyoto. Sistem agroforestri merupakan salah satu pilihan yang lebih baik dalam mengurangi perubahan iklim dibandingkan dengan pilihan lainnya dalam ekosistem terrestrial karena memiliki manfaat ganda dari sisi ekonomis dan ekologis, seperti membantu kelangsungan pangan, peningkatan pendapatan petani dari ragam tanaman yang dikelola, terpeliharanya keanekaragaman hayati yang ada diatas dan dibawah tanah, konservasi tanah, pengurangan emisi dan perluasan hutan. Pohon cempaka (*Elmerillia Sp*) adalah pohon endemik Sulawesi Utara khususnya Minahasa, yang merupakan salah satu primadona kayu hutan asal Sulawesi Utara. Data menunjukkan bahwa dalam 20 (duapuluh) tahun terakhir kesadaran masyarakat dalam menanam dan mengusahakan pohon cempaka di lahan milik, meningkat dengan pesat.

Aktivitas manusia seperti pengrusakan hutan, penambangan dan pembukaan lahan secara tidak bertanggung jawab, adalah sebagian kecil dari penyebab pemanasan global dimana hutan sebagai salah satu sumber penyerap karbondioksida telah terdegradasi. Berbagai upaya telah dilakukan oleh banyak negara termasuk Indonesia untuk mengembalikan fungsi hutan, diantaranya adalah menggalakkan hutan tanaman rakyat dimana petani sebagai pemilik lahan diberikan kemudahan berupa bibit tanaman pohon yang bernilai ekonomis dan ekologis. Pohon cempaka (*Elmerillia Sp*) merupakan salah satu pohon endemik Minahasa yang kini telah habis di tebang oleh masyarakat pada ekosistem aslinya yaitu hutan alam, guna mengejar pendapatan. Data Sensus Pertanian tahun 2013 untuk Minahasa Selatan menunjukkan bahwa adanya peningkatan sangat signifikan sebesar 109 % Rumah tangga Petani yang menanam dan mengusahakan pohon cempaka di lahan milik.

Pelaksanaan dalam pengelolaan hutan rakyat diperlukan perencanaan yang tepat agar kelestarian hutan rakyat tetap terjaga, selain itu masyarakat berperan penting sebagai pengambil keputusan setelah rencana pada pengelolaan hutan sudah dirancang dengan baik. Pemerintah daerah juga perlu melakukan penyuluhan dan monitoring kepada masyarakat sehingga dalam pengelolaan hutan rakyat dapat menerapkan teknik-teknik

atau sistem pengelolaan yang baik. Peningkatan rumah tangga petani cempaka dan luas areal hutan rakyat pohon cempaka di Kabupaten Minahasa Selatan, tidak lagi sebanding dengan pengetahuan masyarakat akan sistem pemanenan lestari. Terutama tentang bagaimana menentukan model sistem pemanenan hasil hutan yang paling optimal dengan tetap memperhitungkan kelestarian pohon itu sendiri secara berkelanjutan. Serta mengetahui potensi cadangan karbon dalam skenario Protokol Kyoto. Luaran dari model ini dapat menjadi suatu inovasi teknologi dalam bidang statistika dan manajemen pengelolaan hutan yang dapat membantu usaha pemerintah dan perguruan tinggi dalam inventarisasi hasil hutan dan metode dalam menentukan model pemanenan lestari kerangka Protokol Kyoto, dimana Indonesia telah meratifikasi.

Tujuan Khusus

Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menghasilkan Inovasi pengetahuan berupa model matematika untuk menentukan sistem pemanenan lestari secara akurat bagi petani sehingga mampu memprediksi. Potensi ekonomi dan ekologis dari penanaman hutan rakyat pohon cempaka.
2. Menghasilkan basis pengetahuan dimana dengan model optimal sistem pemanenan ini, dapat dikembangkan untuk menghitung waktu pemanenan yang ideal melalui kurva permintaan dan penawaran, serta pemanenan yang berkelanjutan.
3. Menghasilkan model baru model optimalisasi dalam sistem pemanenan pohon.

1.2. Urgensi (Keutamaan) Penelitian

Pohon cempaka (*Elmerillia Sp*) merupakan pohon endemic Sulawesi Utara khususnya Minahasa, yang harus selalu dijaga dan dilestarikan secara berkelanjutan terutama pohon cempaka yang di tanam atau di usahakan oleh masyarakat baik individu maupun kelompok di areal tanah milik seperti hutan rakyat. Manfaat pohon cempaka sangat besar bagi kelangsungan hidup manusia karena pohon sebagai tegakan memiliki manfaat ekonomis untuk peningkatan pendapatan petani, dan manfaat ekologis dapat mengurangi dampak dari pemanasan global. Tegakan hutan rakyat pohon cempaka yang kini banyak di tanam di areal hutan rakyat sangat berperan dalam menggantikan keberadaan hutan alam yang telah rusak. Sehingga dengan banyaknya masyarakat

menanam pohon cempaka dengan variasi umur berbeda maka keberlanjutan tanaman dapat terjaga serta kemampuan dalam mengikat zat karbon di udara sangat produktif karena adanya variasi umur tanaman.

Adapun luaran dalam penelitian ini adalah pertama HAKI berupa Karya Cipta, dan publikasi pada jurnal nasional ber-issn, dan pemakalah dalam seminar internasional.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada tahun 2007 penelitian untuk melihat model penduga biomasa dan karbon pohon cempaka telah dilakukan, pada diameter pohon kurang dbh 30 cm (Langi, Suhendang dan Poernomo). Begitu pula penelitian tentang hutan rakyat (agroforestry) sebagai suatu system hutan rakyat yang memiliki kemampuan dalam menyerap karbon telah dilakukan oleh Kettering, 2011, Mc Dicken 1998 dan Langi *et all*, 2018)

Inovasi utama dalam penelitian ini memperkenalkan potensi pohon cempaka sebagai pohon endemik di Minahasa dalam kemampuan untuk menyerap karbon, sebagai upaya mengurangi emisi karbon di udara sebagai dampak pemanasan global. Sehingga dapat diajukan dalam skema perdagangan karbon. Kondisi ini sangat penting mengingat semakin menipisnya kemampuan hutan alam primer dalam menyerap karbon sebagai akibat pengrusakan hutan.

2.1 Hutan Rakyat

Hutan rakyat dalam pengertian menurut (UU No. 41 Tahun 1999) adalah hutan yang tumbuh diatas tanah yang dibebani hak milik maupun hak lainnya dengan ketentuan luas minimum 0,25 ha dan penutupan tajuk tanaman kayu-kayuan lebih dari 50%. Hutan rakyat sebagai hutan buatan yang terletak di luar kawasan hutan Negara, yang dibangun pada lahan milik atau gabungan dari lahan milik yang ditanami pohon yang pengolaannya dilakukan oleh pemilik atau badan usaha.

Praktek hutan rakyat di Indonesia telah lama dusahkan dengan beragam bentuk. Berdasarkan jenis tanaman dan pola penamannya hutan rakyat dapat digolongkan kedalam bentuk hutan rakyat murni, hutan rakyat campuran dan hutan rakyat dengan pola wanatani (*agroforestry*).

Hutan rakyat sistem agroferstri adalah bentuk hutan rakyat yang mempunyai usaha kombinasi kehutanan dengan tanaman musiman, tanaman pangan dan peternakan secara terpadu pada satu lokasi. Hutan rakyat dengan sistem agroferstri berorientasi kepada optimilisasi penmanfaatan lahan, baik dari segi ekonomi maupun ekologi. Sistem agroforestri memiliki nilai ekonomi dan ekologi yang cukup tinggi, selain ragam pendapatan juga memberi keuntungan ganda melalui pemanenan bertahap yang berkasinambungan serta terjadinya kesinambungan kesuburan tanah dan air. Aktivitas

hutan rakyat yang paling dominan dilakukan di Minahasa adalah praktek hutan rakyat sistem agroforestri.

Nair (1995) mengemukakan empat komponen utama sebagai ciri khas agroforestri, yaitu: (1) menghasilkan beragam keluaran yang dikombinasikan dalam perlindungan sumberdaya, (2) menggunakan jenis lokal, tumbuhan bawah dan pohon serba guna yang bertujuan agar agroforestri sesuai dengan lingkungannya, (3) lebih mengedepankan nilai-nilai sosial budaya, (4) praktek yang dilakukan lebih rumit daripada jenis monokultur.

2.2. Linier Programming

Linear Programming (LP), atau program linear merupakan salah satu teknik yang dapat membantu dalam pengambilan keputusan alokasi sumberdaya – sumberdaya yang terbatas dan langka secara optimum. Sumberdaya – sumberdaya terbatas tersebut jika dalam satu industri atau perusahaan meliputi semua faktor-faktor produksi seperti mesin - mesin , tenaga kerja, bahan mentah, modal, teknologi dan informasi (Dedy, 2011).

Menurut Aminudin (2005), Bentuk umum *linear programming* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Max/Min Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (2.1)$$

Dengan kendala :

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i , \text{ untuk } i = 1, 2, \dots, m \quad (2.2)$$

$$x_j \geq 0 , \text{ untuk } j = 1, 2, \dots, n \quad (2.3)$$

Dimana :

Z = fungsi tujuan yang dicari nilai optimalnya

c_j = kenaikan nilai Z apabila ada penambahan tingkat kegiatan x_j dengan satuan unit atau sumbangan setiap satuan keluaran kegiatan j terhadap Z

x_j = tingkat kegiatan ke- j

a_{ij} = banyaknya sumber i yang diperlukan untuk menghasilkan unsur keluaran kegiatan j

b_i = Kapasitas sumber i yang tersedia untuk dialokasikan ke setiap unit kegiatan

x dan c berupa vektor berukuran n , vektor b berukuran m , sedangkan A berupa matriks berukuran $m \times n$ yang disebut juga sebagai matriks kendala. (Nash & Sofer, 1996).

2.2.1 Algoritma Simpleks

Dalam menyelesaikan suatu masalah linear programming (LP), Dantzig pada tahun 1947 mengembangkan sebuah algoritma yang dapat menghasilkan solusi optimum. Algoritma tersebut disebut algoritma simpleks. Hingga kini algoritma simpleks merupakan salah satu algoritma yang lazim digunakan untuk menyelesaikan suatu masalah linear programming (LP).

Algoritma simpleks merupakan prosedur perhitungan yang berulang (iteratif) dimana setiap pengulangan (iterasi) berkaitan dengan satu pemecahan dasar (solusi basis). Bentuk standar dari algoritma simpleks adalah pada LP (2.1), vektor x yang memenuhi kendala $Ax = b$ disebut sebagai solusi feasible dari LP (2.1). Misalkan matriks A dapat dinyatakan sebagai $(B \ N)$, dengan B adalah matriks yang elemennya berupa koefisien variabel basis dan N merupakan matriks yang elemennya berupa koefisien variabel nonbasis pada matriks kendala. Matriks B disebut matriks basis untuk LP (2.1).

Jika vektor x dapat dinyatakan sebagai vektor $x = \begin{pmatrix} x_B \\ x_N \end{pmatrix}$, dengan x_B adalah vektor variabel basis dan x_N adalah vektor variabel nonbasis, maka $Ax = b$ dapat dinyatakan sebagai

$$\begin{aligned} Ax &= (B \ N) \begin{pmatrix} x_B \\ x_N \end{pmatrix} \\ &= Bx_B + Nx_N = b \end{aligned} \quad (2.4)$$

Karena B adalah matriks taksingular, maka B memiliki invers, sehingga dari (2.2) x_B dapat dinyatakan sebagai:

$$x_B = B^{-1}b - B^{-1}Nx_N. \quad (2.5) \quad (\text{Nash \& Sofer, 1996}).$$

2.3 Integer Linear Programming

Pada masalah Program Linear penyelesaian optimalnya dapat berupa bilangan real yang berarti penyelesaian bisa berupa bilangan pecahan. Untuk penyelesaian yang berbentuk pecahan jika mengalami pembulatan ke integer terdekat maka hasil yang diperoleh bisa menyimpang jauh dari yang diharapkan. Akan tetapi banyak permasalahan di kehidupan nyata yang memerlukan penyelesaian variabel keputusannya berupa integer sehingga harus dicari model penyelesaian masalah sehingga diperoleh penyelesaian

integer yang optimum. Program integer merupakan pengembangan dari program linear dimana beberapa atau semua variabel keputusannya harus berupa integer. Jika hanya sebagian variabel keputusannya merupakan integer maka disebut program integer campuran (*mixed integer programming*). Jika semua variabel keputusannya bernilai integer disebut program integer murni (*pure integer programming*) (Garfinkel & Nemhauser, 1972).

Model *Integer Linear Programming* (ILP) atau disebut juga *Integer Programming* (IP), adalah suatu model linear programming dengan variabel yang digunakan berupa bilangan bulat (*integer*). Jika semua variabel harus berupa integer, maka masalah tersebut disebut *pure integer programming*. Jika hanya sebagian yang harus integer maka disebut *mixed integer programming*. IP dengan semua variabelnya harus bernilai 0 atau 1 disebut 0 – 1 IP (Garfinkel & Nemhauser, 1972).

2.3.1 Linear Programming Relaksasi

Linear Programming Relaksasi dari suatu *integer programming* merupakan *linear programming* yang diperoleh dari *integer programming* tersebut dengan menghilangkan kendala integer atau kendala 0 – 1 pada variabelnya (Winston, 1995).

BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

Tujuan Khusus

Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menghasilkan Inovasi pengetahuan berupa model matematika untuk menentukan sistem pemanenan lestari secara akurat bagi petani sehingga mampu memprediksi. Potensi ekonomi dan ekologis dari penanaman hutan rakyat pohon cempaka.
2. Menghasilkan basis pengetahuan dimana dengan model optimal sistem pemanenan ini, dapat dikembangkan untuk menghitung waktu pemanenan yang ideal melalui kurva permintaan dan penawaran, serta pemanenan yang berkelanjutan.
3. Menghasilkan model baru model optimalisasi dalam sistem pemanenan pohon.

Urgensi (Keutamaan) Penelitian

Pohon cempaka (*Elmerillia Sp*) merupakan pohon endemic Sulawesi Utara khususnya Minahasa, yang harus selalu dijaga dan dilestarikan secara berkelanjutan terutama pohon cempaka yang di tanam atau di usahakan oleh masyarakat baik individu maupun kelompok di areal tanah milik seperti hutan rakyat. Manfaat pohon cempaka sangat besar bagi kelangsungan hidup manusia karena pohon sebagai tegakan memiliki manfaat ekonomis untuk peningkatan pendapatan petani, dan manfaat ekologis dapat mengurangi dampak dari pemanasan global. Tegakan hutan rakyat pohon cempaka yang kini banyak di tanam di areal hutan rakyat sangat berperan dalam menggantikan keberadaan hutan alam yang telah rusak. Sehingga dengan banyaknya masyarakat menanam pohon cempaka dengan variasi umur berbeda maka keberlanjutan tanaman dapat terjaga serta kemampuan dalam mengikat zat karbon di udara sangat produktif karena adanya variasi umur tanaman.

BAB 4. METODE PENELITIAN

4.1. Road Map Penelitian

Dari penelitian pendahuluan telah dikemukakan metodologi untuk mengukur volume dan biomassa pohon cempaka wasian berdasarkan persamaan alometrik, khusus pada pohon cempaka wasian dengan diameter (dbh) 20 – 40 cm. Namun model yang telah tersedia akan di validasi kembali, sedangkan pada dbh > 50 cm akan dilakukan destruktif sampling dan pengujian biomassa pohon.

4.2. Masalah dan Pemodelan untuk Menentukan Lokasi Petak Terbaik

Fungsi objektif dalam penelitian ini yakni memaksimumkan present value dari kayu yang dipanen dalam periode waktu tertentu pada petak terbaik yang terpilih sebagai lokasi pemanenan kayu cempaka, hal tersebut dapat dimodelkan sebagai berikut :

$$Max Z = \sum_i \sum_t p_{it} x_{it} .$$

Adapun kendala dalam pemanenan kayu cempaka adalah sebagai berikut:

1. Batasan yang terkait dengan setiap petak yang dipanen hanya satu kali dalam lima tahun.

$$\sum_t x_{it} \leq 1; \quad \forall i.$$

2. Batasan yang terkait dengan jumlah hasil pemanenan yang diijinkan dalam satu tahun.

$$\sum_t x_{it} \cdot v_{it} \leq \text{batasan volume (m}^3\text{)}; \quad \forall t.$$

3. Batasan yang terkait dengan jumlah luas pemanenan yang diijinkan dalam satu tahun.

$$\sum_t x_{it} \cdot l_i \leq \text{batasan luas (ha)}; \quad \forall t.$$

4. Batasan yang terkait dengan larangan pemanenan dua petak yang berdekatan.

$$x_{it} + x_{jt} \leq 1; \quad \forall (i, j) \in A \text{ dan } t.$$

Dengan,

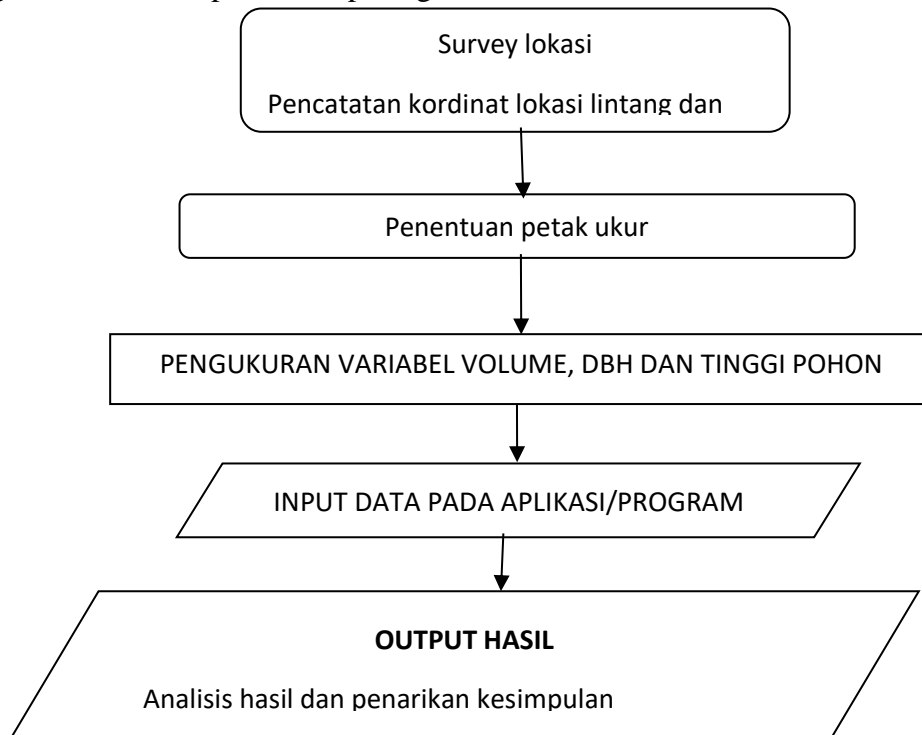
- V_{it} = volume dari petak i pada periode t ,
- l_i = luas petak i ,
- P_{it} = *present value* petak ke- i dalam periode ke- t ,
- i, j = indeks untuk petak pemanenan,
- t = indeks untuk periode waktu,
- A = $\{(i, j) \mid \text{petak } i \text{ dan petak } j \text{ berdekatan}\}$.

4.3. Bahan dan Sumber Data

Data yang digunakan adalah data primer yaitu pengukuran volume pohon cempaka pada tegakan pohon cempaka, present value, syarat pemanenan lestari. dari tiap-tiap bagian pohon yang diperoleh melalui pengukuran langsung di lokasi penelitian. Adapun kegiatan dilapangan meliputi survey lokasi, penentuan petak ukur, pengukuran peubah volume, diameter dan tinggi. Bahan peralatan yang digunakan adalah komputer notebook dengan spesifikasi prosesor minimal Core i3, sistem operasi Windows 7 Professional, Program Linggo, haga altimeter, pita meter, timbangan, dan dua unit GPS.

4.4. Bagan Penelitian

Bagan Penelitian dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Bagan Penelitian

BAB 5 HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

5.1 Sumber Data

Studi kasus dalam penelitian ini adalah mengambil data primer, dari tegakan pohon cempaka pada tegakan hutan rakyat Kecamatan Tareran Kabupaten Minahasa Selatan. Data yang diperoleh dalam studi kasus ini adalah sebagai berikut:

1. Data luas lahan, dan perkiraan umur pohon.
2. Data diameter pohon setinggi dada (Dbh), dan tinggi pohon bebas cabang.
3. Data harga jual kayu cempaka per m³

5.2 Pengolahan Data

Dalam proses observasi dan pengambilan data yang dilakukan secara primer, yang dilakukan pertama kali adalah melihat tingkat kepadatan pohon cempaka didalam suatu lahan, karena didalam suatu lahan terdapat berbagai jenis pohon, jadi dilakukan pengambilan data hanya pada lahan yang memiliki kepadatan pohon cempaka yang lebih banyak dibanding pohon – pohon lainnya. Selain itu, pengambilan data hanya dilakukan pada lahan yang memiliki tingkat keragaman yang tidak jauh berbeda, yaitu pada diameter pohon setinggi dada (*dbh*) dan tinggi pohon. Setelah itu, dibuat petak ukur terpilih yang lebih kecil, yang bisa mewakili keseluruhan pohon yang terdapat pada lahan. Dari beberapa data yang telah diterima, dilakukan pengolahan data yang lebih lanjut untuk memprediksi volume pohon dalam suatu lahan (m³) dalam setiap periode dan pendapatan yang akan diterima (juta rupiah) dalam setiap periode jika dilakukan pemanenan. Data prediksi volume lahan dan pendapatan yang dihasilkan pada saat pemanenan lahan inilah yang akan digunakan untuk diproses sebagai *input*, dengan menggunakan *software linear programming*.

5.2.1 Memprediksi Volume Pohon

Untuk memprediksi volume pohon pada setiap periode, terlebih dahulu diprediksi volume pohon pada saat penelitian, menghitung volume pohon digunakan bantuan *Microsoft Office Excel*.

Diberikan contoh, misalkan diameter pohon setinggi dada (*Dbh*) adalah 40 cm, dan tinggi pohon adalah 35 m, maka untuk mengukur volume pohon adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V &= 0,25\pi \times \left(\frac{Dbh}{100}\right)^2 \times H \times F \\
 &= 0,25\pi \times \left(\frac{40}{100}\right)^2 \times 35 \times 0,6 \\
 &= 0,25\pi \times (0,4)^2 \times 35 \times 0,6 \\
 &= 2,64 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Perhitungan yang sama dilakukan untuk pohon – pohon yang lain, yang ada didalam petak ukur terpilih. Pendugaan pengukuran volume diatas adalah pendugaan pengukuran standar yang digunakan oleh Kementerian Kehutanan. Setelah mendapatkan volume pohon didalam petak ukur terpilih yang mewakili suatu lahan, lalu dilakukan konversi dari volume pohon pada petak terpilih, menjadi volume dalam suatu lahan.

5.2.2 Memprediksi Riap Pohon

Sebelum memprediksi volume pohon untuk periode berikutnya, harus diketahui terlebih dahulu berapa pertambahan diameter pohon dan tinggi pohon tersebut. Diberikan contoh, misalkan umur pohon adalah 25 tahun, dengan tinggi pohon bebas cabang adalah 35 m dan diameternya adalah 40 cm, maka prediksi riap atau pertumbuhan pohon tersebut adalah sebagai berikut :

$$MAI \text{ } Dbh = \frac{40}{25} = 1,6 \text{ cm/tahun}$$

$$MAI \text{ } H = \frac{35}{25} = 1,4 \text{ m/tahun}$$

Perhitungan yang sama dilakukan untuk pohon – pohon yang lain, yang ada didalam petak ukur terpilih. Prediksi riap pohon diatas adalah prediksi riap tahunan, dan untuk menghitung pertumbuhan riap pohon dalam 1 periode yaitu 2 tahun, dilakukan perkalian 2 dengan riap diameter dan riap tinggi pohon tersebut. Setelah mendapatkan prediksi volume pohon didalam petak ukur terpilih yang mewakili suatu lahan pada periode I, lalu dilakukan konversi dari volume pohon pada petak terpilih, menjadi volume dalam suatu lahan pada periode I. Perhitungan yang sama dilakukan untuk periode – periode selanjutnya hingga pada periode V.

5.2.3 Memprediksi Pendapatan Pemanenan Setiap Periode

Pendapatan yang dimaksudkan disini yaitu pendapatan kotor yang diperoleh petani kayu cempaka setelah melakukan pemanenan dan dijual ke tempat pengolahan kayu cempaka. Pendapatan kotor dimaksudkan disini yaitu pendapatan yang diterima oleh petani sebelum dikurangi dengan biaya – biaya lainnya seperti biaya pemanenan, pajak, transportasi dan sebagainya. Untuk memperoleh data pendapatan setiap periode pemanenan, dilakukan perkalian antara volume lahan i pada periode t dengan harga jual kayu cempaka pada periode t . Berikut adalah tabel harga jual kayu cempaka:

Tabel 1. Harga Jual Kayu per m^3

Jenis Kayu	Harga Jual (m^3)
Kayu bulat (gelondongan)	Rp. 3.500.000,-
Papan ($30\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 400\text{ cm}$)	Rp. 7.150.000,-
Papan ($28\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 400\text{ cm}$)	Rp. 7.500.000,-

Harga jual kayu cempaka jenis kayu bulat (gelondongan) diperoleh dari petani cempaka di Kecamatan Tareran, harga jual papan ($30\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 400\text{ cm}$) diperoleh dari toko bangunan UD. Perintis Karombasan Manado, dan harga jual papan ($28\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 400\text{ cm}$) diperoleh dari toko bangunan UD. Kalpataru Bahu Manado. Dalam penelitian ini digunakan harga jual terendah yaitu harga kayu bulat (gelondongan). Diperkirakan harga jual kayu cempaka naik 5% setiap periode. Berikut adalah harga jual kayu cempaka per m^3 :

Tabel 2. Harga Jual Kayu per m^3

Periode	Harga Jual (Juta Rupiah)
I	3.50
II	3.68
III	3.86
IV	4.05
V	4.25

5.3 Model Optimasi Pemanenan Kayu Cempaka

Tujuan utama dari pemanenan suatu hasil hutan adalah memperoleh keuntungan bagi para petani dan memenuhi kebutuhan pasar, contohnya seperti penggunaan kayu untuk bahan bangunan, mebel dan lain – lain. Namun untuk memperoleh tujuan tersebut ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yakni kendala – kendala atau batasan – batasan yang ada. Berikut ini adalah data – data yang digunakan dalam penelitian ini :

Tabel 3. Perkiraan volume setiap lahan perperiode (dalam m³)

Nama Lahan	Periode I Tahun 2021	Periode II Tahun 2023	Periode III Tahun 2025	Periode IV Tahun 2027	Periode V Tahun 2029
Lh_1	501.53	621.44	759.09	915.69	1092.48
Lh_2	320.54	397.18	485.15	585.24	698.22
Lh_3	305.79	378.90	462.82	558.31	666.09
Lh_4	285.07	353.23	431.47	520.48	620.97
Lh_5	462.76	555.06	658.89	774.92	903.83
Lh_6	297.50	368.63	450.28	543.17	648.04
Lh_7	227.10	281.40	343.73	414.64	494.69
Lh_8	387.36	479.98	586.29	707.24	843.78
Lh_9	408.70	506.42	618.58	746.20	890.26
Lh_10	455.37	564.24	689.22	831.40	991.91
Lh_11	375.86	487.96	620.40	774.87	953.05
Lh_12	158.27	205.48	261.25	326.30	401.33
Lh_13	214.38	265.63	324.47	391.41	466.97
Lh_14	336.86	404.05	479.63	564.09	657.93
Lh_15	656.55	813.53	993.72	1198.73	1430.16
Lh_16	410.61	508.78	621.47	749.68	894.41
Lh_17	415.36	514.67	628.66	758.36	904.77
Lh_18	393.34	487.38	595.33	718.15	856.79
Lh_19	1031.38	1277.97	1561.03	1883.08	2246.63
Lh_20	439.01	543.97	664.46	801.54	956.28
Lh_21	162.22	201.01	245.53	296.19	353.37
Lh_22	264.65	327.92	400.55	483.19	576.47
Lh_23	1069.74	1325.51	1619.10	1953.12	2330.19
Lh_24	759.95	941.64	1150.21	1387.50	1655.37
Lh_25	760.75	942.64	1151.43	1388.97	1657.13
Lh_26	480.68	595.61	727.53	877.62	1047.05
Lh_27	999.90	1238.96	1513.38	1825.60	2178.05
Lh_28	581.96	721.10	880.81	1062.53	1267.66
Lh_29	912.91	1131.18	1381.73	1666.79	1988.58
Lh_30	407.72	505.20	617.10	744.41	888.12
Total					31560.61

Tabel 4.Perkiraan Pendapatan setiap lahan perperiode (Juta Rupiah)

Nama Lahan	Periode I Tahun 2021	Periode II Tahun 2023	Periode III Tahun 2025	Periode IV Tahun 2027	Periode V Tahun 2029
Lh_1	1755.37	2283.81	2929.14	3710.10	4647.70
Lh_2	1121.89	1459.62	1872.07	2371.19	2970.43
Lh_3	1070.26	1392.46	1785.92	2262.08	2833.74
Lh_4	997.75	1298.12	1664.93	2108.83	2641.76
Lh_5	1619.66	2039.86	2542.50	3139.74	3845.14
Lh_6	1041.25	1354.71	1737.51	2200.76	2756.92
Lh_7	794.86	1034.15	1326.37	1680.00	2104.56
Lh_8	1355.77	1763.92	2262.34	2865.53	3589.68
Lh_9	1430.45	1861.08	2386.96	3023.37	3787.41
Lh_10	1593.78	2073.58	2659.51	3368.59	4219.87
Lh_11	1315.50	1793.27	2393.98	3139.52	4054.55
Lh_12	553.95	755.14	1008.10	1322.05	1707.37
Lh_13	750.32	976.20	1252.04	1585.86	1986.63
Lh_14	1179.01	1484.89	1850.78	2285.53	2799.02
Lh_15	2297.94	2989.72	3834.52	4856.88	6084.27
Lh_16	1437.12	1869.76	2398.10	3037.47	3805.08
Lh_17	1453.76	1891.40	2425.85	3072.63	3849.12
Lh_18	1376.67	1791.11	2297.22	2909.71	3645.03
Lh_19	3609.83	4696.55	6023.64	7629.66	9557.78
Lh_20	1536.53	1999.10	2563.98	3247.58	4068.29
Lh_21	567.78	738.71	947.45	1200.06	1503.33
Lh_22	926.26	1205.10	1545.63	1957.72	2452.46
Lh_23	3744.09	4871.23	6247.69	7913.44	9913.27
Lh_24	2659.81	3460.53	4438.37	5621.72	7042.40
Lh_25	2662.63	3464.20	4443.08	5627.69	7049.87
Lh_26	1682.38	2188.85	2807.35	3555.84	4454.45
Lh_27	3499.64	4553.18	5839.77	7396.76	9266.02
Lh_28	2036.85	2650.03	3398.84	4305.04	5392.98
Lh_29	3195.20	4157.09	5331.76	6753.30	8459.95
Lh_30	1427.01	1856.61	2381.23	3016.11	3778.32

5.3.1 Fungsi Objektif Pemanenan Kayu Cempaka

Fungsi objektif dalam masalah penentuan lahan pemanenan kayu cempaka pada hutan rakyat Kecamatan Tareran yakni memaksimumkan pendapatan yang akan

diperoleh para petani dalam lima periode pada lahan yang terpilih sebagai lahan pemanenan kayu cempaka setiap periode, hal ini dapat dimodelkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Max Z = & p_{1,1}x_{1,1} + p_{1,2}x_{1,2} + p_{1,3}x_{1,3} + p_{1,4}x_{1,4} + p_{1,5}x_{1,5} + p_{2,1}x_{2,1} + p_{2,2}x_{2,2} \\
 & + p_{2,3}x_{2,3} + p_{2,4}x_{2,4} + p_{2,5}x_{2,5} + p_{3,1}x_{3,1} + p_{3,2}x_{3,2} + p_{3,3}x_{3,3} \\
 & + p_{3,4}x_{3,4} + p_{3,5}x_{3,5} + p_{4,1}x_{4,1} + p_{4,2}x_{4,2} + p_{4,3}x_{4,3} + p_{4,4}x_{4,4} \\
 & + p_{4,5}x_{4,5} + p_{5,1}x_{5,1} + p_{5,2}x_{5,2} + p_{5,3}x_{5,3} + p_{5,4}x_{5,4} + p_{5,5}x_{5,5} + \dots \\
 & + p_{14,1}x_{14,1} + p_{14,2}x_{14,2} + p_{14,3}x_{14,3} + p_{14,4}x_{14,4} + p_{14,5}x_{14,5}
 \end{aligned}$$

5.3.2 Batasan Pemanenan Kayu Cempaka

Dari fungsi objektif diatas, adapun batasan – batasan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Batasan yang terkait dengan setiap lahan yang dipanen hanya satu kali dalam lima periode (sepuluh tahun). Batasan ini dibangun untuk melihat lahan-lahan mana yang terbaik untuk dipanen dalam setiap periode. Jadi, satu lahan hanya dipanen satu kali dalam lima periode (sepuluh tahun).

$$x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3} + x_{1,4} + x_{1,5} \leq 1$$

$$x_{2,1} + x_{2,2} + x_{2,3} + x_{2,4} + x_{2,5} \leq 1$$

$$x_{3,1} + x_{3,2} + x_{3,3} + x_{3,4} + x_{3,5} \leq 1$$

$$x_{4,1} + x_{4,2} + x_{4,3} + x_{4,4} + x_{4,5} \leq 1$$

$$x_{5,1} + x_{5,2} + x_{5,3} + x_{5,4} + x_{5,5} \leq 1$$

$$x_{6,1} + x_{6,2} + x_{6,3} + x_{6,4} + x_{6,5} \leq 1$$

$$x_{7,1} + x_{7,2} + x_{7,3} + x_{7,4} + x_{7,5} \leq 1$$

$$x_{8,1} + x_{8,2} + x_{8,3} + x_{8,4} + x_{8,5} \leq 1$$

$$x_{9,1} + x_{9,2} + x_{9,3} + x_{9,4} + x_{9,5} \leq 1$$

$$x_{10,1} + x_{10,2} + x_{10,3} + x_{10,4} + x_{10,5} \leq 1$$

$$x_{11,1} + x_{11,2} + x_{11,3} + x_{11,4} + x_{11,5} \leq 1$$

$$x_{12,1} + x_{12,2} + x_{12,3} + x_{12,4} + x_{12,5} \leq 1$$

$$x_{13,1} + x_{13,2} + x_{13,3} + x_{13,4} + x_{13,5} \leq 1$$

$$x_{14,1} + x_{14,2} + x_{14,3} + x_{14,4} + x_{14,5} \leq 1$$

2. Batasan yang terkait dengan jumlah hasil pemanenan yaitu volume kayu cempaka (m^3) yang diijinkan dalam satu periode yaitu dua tahun. Batasan ini diperoleh dari wawancara langsung oleh peneliti dengan pemilik-pemilik lahan. Batasan ini dibangun dengan melihat jumlah tenaga kerja dan biaya yang tersedia, dan juga batasan volume maksimal agar tidak keseluruhan lahan dipanen dalam periode yang bersamaan, yang dapat mengakibatkan kegundulan hutan rakyat.

$$\begin{aligned} x_{1,1} \cdot v_{1,1} + x_{2,1} \cdot v_{2,1} + x_{3,1} \cdot v_{3,1} + x_{4,1} \cdot v_{4,1} + x_{5,1} \cdot v_{5,1} + x_{6,1} \cdot v_{6,1} \\ + x_{7,1} \cdot v_{7,1} + x_{8,1} \cdot v_{8,1} + x_{9,1} \cdot v_{9,1} + x_{10,1} \cdot v_{10,1} + x_{11,1} \cdot v_{11,1} \\ + x_{12,1} \cdot v_{12,1} + x_{13,1} \cdot v_{13,1} + x_{14,1} \cdot v_{14,1} \leq 1700 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{1,2} \cdot v_{1,2} + x_{2,2} \cdot v_{2,2} + x_{3,2} \cdot v_{3,2} + x_{4,2} \cdot v_{4,2} + x_{5,2} \cdot v_{5,2} + x_{6,2} \cdot v_{6,2} \\ + x_{7,2} \cdot v_{7,2} + x_{8,2} \cdot v_{8,2} + x_{9,2} \cdot v_{9,2} + x_{10,2} \cdot v_{10,2} + x_{11,2} \cdot v_{11,2} \\ + x_{12,2} \cdot v_{12,2} + x_{13,2} \cdot v_{13,2} + x_{14,2} \cdot v_{14,2} \leq 1700 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{1,3} \cdot v_{1,3} + x_{2,3} \cdot v_{2,3} + x_{3,3} \cdot v_{3,3} + x_{4,3} \cdot v_{4,3} + x_{5,3} \cdot v_{5,3} + x_{6,3} \cdot v_{6,3} \\ + x_{7,3} \cdot v_{7,3} + x_{8,3} \cdot v_{8,3} + x_{9,3} \cdot v_{9,3} + x_{10,3} \cdot v_{10,3} + x_{11,3} \cdot v_{11,3} \\ + x_{12,3} \cdot v_{12,3} + x_{13,3} \cdot v_{13,3} + x_{14,3} \cdot v_{14,3} \leq 1700 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{1,4} \cdot v_{1,4} + x_{2,4} \cdot v_{2,4} + x_{3,4} \cdot v_{3,4} + x_{4,4} \cdot v_{4,4} + x_{5,4} \cdot v_{5,4} + x_{6,4} \cdot v_{6,4} \\ + x_{7,4} \cdot v_{7,4} + x_{8,4} \cdot v_{8,4} + x_{9,4} \cdot v_{9,4} + x_{10,4} \cdot v_{10,4} + x_{11,4} \cdot v_{11,4} \\ + x_{12,4} \cdot v_{12,4} + x_{13,4} \cdot v_{13,4} + x_{14,4} \cdot v_{14,4} \leq 1700 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{1,5} \cdot v_{1,5} + x_{2,5} \cdot v_{2,5} + x_{3,5} \cdot v_{3,5} + x_{4,5} \cdot v_{4,5} + x_{5,5} \cdot v_{5,5} + x_{6,5} \cdot v_{6,5} \\ + x_{7,5} \cdot v_{7,5} + x_{8,5} \cdot v_{8,5} + x_{9,5} \cdot v_{9,5} + x_{10,5} \cdot v_{10,5} + x_{11,5} \cdot v_{11,5} \\ + x_{12,5} \cdot v_{12,5} + x_{13,5} \cdot v_{13,5} + x_{14,5} \cdot v_{14,5} \leq 1700 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{1,6} \cdot v_{1,6} + x_{2,6} \cdot v_{2,6} + x_{3,6} \cdot v_{3,6} + x_{4,6} \cdot v_{4,6} + x_{5,6} \cdot v_{5,6} + x_{6,6} \cdot v_{6,6} \\ + x_{7,6} \cdot v_{7,6} + x_{8,6} \cdot v_{8,6} + x_{9,6} \cdot v_{9,6} + x_{10,6} \cdot v_{10,6} + x_{11,6} \cdot v_{11,6} \\ + x_{12,6} \cdot v_{12,6} + x_{13,6} \cdot v_{13,6} + x_{14,6} \cdot v_{14,6} \leq 1700 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{1,7} \cdot v_{1,7} + x_{2,7} \cdot v_{2,7} + x_{3,7} \cdot v_{3,7} + x_{4,7} \cdot v_{4,7} + x_{5,7} \cdot v_{5,7} + x_{6,7} \cdot v_{6,7} \\ + x_{7,7} \cdot v_{7,7} + x_{8,7} \cdot v_{8,7} + x_{9,7} \cdot v_{9,7} + x_{10,7} \cdot v_{10,7} + x_{11,7} \cdot v_{11,7} \\ + x_{12,7} \cdot v_{12,7} + x_{13,7} \cdot v_{13,7} + x_{14,7} \cdot v_{14,7} \leq 1700 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{1,8} \cdot v_{1,8} + x_{2,8} \cdot v_{2,8} + x_{3,8} \cdot v_{3,8} + x_{4,8} \cdot v_{4,8} + x_{5,8} \cdot v_{5,8} + x_{6,8} \cdot v_{6,8} \\ + x_{7,8} \cdot v_{7,8} + x_{8,8} \cdot v_{8,8} + x_{9,8} \cdot v_{9,8} + x_{10,8} \cdot v_{10,8} + x_{11,8} \cdot v_{11,8} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +x_{12,8} \cdot v_{12,8} + x_{13,8} \cdot v_{13,8} + x_{14,8} \cdot v_{14,8} \leq 1700 \\
x_{1,9} \cdot v_{1,9} + x_{2,9} \cdot v_{2,9} + x_{3,9} \cdot v_{3,9} + x_{4,9} \cdot v_{4,9} + x_{5,9} \cdot v_{5,9} + x_{6,9} \cdot v_{6,9} \\
& +x_{7,9} \cdot v_{7,9} + x_{8,9} \cdot v_{8,9} + x_{9,9} \cdot v_{9,9} + x_{10,9} \cdot v_{10,9} + x_{11,9} \cdot v_{11,9} \\
& +x_{12,9} \cdot v_{12,9} + x_{13,9} \cdot v_{13,9} + x_{14,9} \cdot v_{14,9} \leq 1700 \\
x_{1,10} \cdot v_{1,10} + x_{2,10} \cdot v_{2,10} + x_{3,10} \cdot v_{3,10} + x_{4,10} \cdot v_{4,10} + x_{5,10} \cdot v_{5,10} \\
& +x_{6,10} \cdot v_{6,10} + x_{7,10} \cdot v_{7,10} + x_{8,10} \cdot v_{8,10} + x_{9,10} \cdot v_{9,10} \\
& +x_{10,10} \cdot v_{10,10} + x_{11,10} \cdot v_{11,10} + x_{12,10} \cdot v_{12,10} + x_{13,10} \cdot v_{13,10} \\
& +x_{14,10} \cdot v_{14,10} \leq 1700 \\
x_{1,11} \cdot v_{1,11} + x_{2,11} \cdot v_{2,11} + x_{3,11} \cdot v_{3,11} + x_{4,11} \cdot v_{4,11} + x_{5,11} \cdot v_{5,11} \\
& +x_{6,11} \cdot v_{6,11} + x_{7,11} \cdot v_{7,11} + x_{8,11} \cdot v_{8,11} + x_{9,11} \cdot v_{9,11} \\
& +x_{10,11} \cdot v_{10,11} + x_{11,11} \cdot v_{11,11} + x_{12,11} \cdot v_{12,11} + x_{13,11} \cdot v_{13,11} \\
& +x_{14,11} \cdot v_{14,11} \leq 1700 \\
x_{1,12} \cdot v_{1,12} + x_{2,12} \cdot v_{2,12} + x_{3,12} \cdot v_{3,12} + x_{4,12} \cdot v_{4,12} + x_{5,12} \cdot v_{5,12} \\
& +x_{6,12} \cdot v_{6,12} + x_{7,12} \cdot v_{7,12} + x_{8,12} \cdot v_{8,12} + x_{9,12} \cdot v_{9,12} \\
& +x_{10,12} \cdot v_{10,12} + x_{11,12} \cdot v_{11,12} + x_{12,12} \cdot v_{12,12} + x_{13,12} \cdot v_{13,12} \\
& +x_{14,12} \cdot v_{14,12} \leq 1700 \\
x_{1,13} \cdot v_{1,13} + x_{2,13} \cdot v_{2,13} + x_{3,13} \cdot v_{3,13} + x_{4,13} \cdot v_{4,13} + x_{5,13} \cdot v_{5,13} \\
& +x_{6,13} \cdot v_{6,13} + x_{7,13} \cdot v_{7,13} + x_{8,13} \cdot v_{8,13} + x_{9,13} \cdot v_{9,13} \\
& +x_{10,13} \cdot v_{10,13} + x_{11,13} \cdot v_{11,13} + x_{12,13} \cdot v_{12,13} + x_{13,13} \cdot v_{13,13} \\
& +x_{14,13} \cdot v_{14,13} \leq 1700 \\
x_{1,14} \cdot v_{1,14} + x_{2,14} \cdot v_{2,14} + x_{3,14} \cdot v_{3,14} + x_{4,14} \cdot v_{4,14} + x_{5,14} \cdot v_{5,14} \\
& +x_{6,14} \cdot v_{6,14} + x_{7,14} \cdot v_{7,14} + x_{8,14} \cdot v_{8,14} + x_{9,14} \cdot v_{9,14} \\
& +x_{10,14} \cdot v_{10,14} + x_{11,14} \cdot v_{11,14} + x_{12,14} \cdot v_{12,14} + x_{13,14} \cdot v_{13,14} \\
& +x_{14,14} \cdot v_{14,14} \leq 1700
\end{aligned}$$

3. Batasan yang terkait dengan jumlah luas lahan (hektar) pemanenan yang diijinkan dalam satu periode yaitu dua tahun. Batasan ini merupakan maksimal luas lahan untuk setiap periode pemanenan. Batasan ini dibangun dengan melihat jumlah tenaga kerja dan biaya yang tersedia, dan batasan ini bertujuan agar tidak semua

lahan dipanen dalam setiap periode yang sama, karena akan mengakibatkan hutan yang tidak lestari karena mengakibatkan kegundulan hutan.

$$\begin{aligned} x_{1,1} \cdot l_1 + x_{2,1} \cdot l_2 + x_{3,1} \cdot l_3 + x_{4,1} \cdot l_4 + x_{5,1} \cdot l_5 + x_{6,1} \cdot l_6 + x_{7,1} \cdot l_7 \\ + x_{8,1} \cdot l_8 + x_{9,1} \cdot l_9 + x_{10,1} \cdot l_{10} + x_{11,1} \cdot l_{11} + x_{12,1} \cdot l_{12} + x_{13,1} \cdot l_{13} \\ + x_{14,1} \cdot l_{14} \leq 3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{1,2} \cdot l_1 + x_{2,2} \cdot l_2 + x_{3,2} \cdot l_3 + x_{4,2} \cdot l_4 + x_{5,2} \cdot l_5 + x_{6,2} \cdot l_6 + x_{7,2} \cdot l_7 \\ + x_{8,2} \cdot l_8 + x_{9,2} \cdot l_9 + x_{10,2} \cdot l_{10} + x_{11,2} \cdot l_{11} + x_{12,2} \cdot l_{12} + x_{13,2} \cdot l_{13} \\ + x_{14,2} \cdot l_{14} \leq 3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{1,3} \cdot l_1 + x_{2,3} \cdot l_2 + x_{3,3} \cdot l_3 + x_{4,3} \cdot l_4 + x_{5,3} \cdot l_5 + x_{6,3} \cdot l_6 + x_{7,3} \cdot l_7 \\ + x_{8,3} \cdot l_8 + x_{9,3} \cdot l_9 + x_{10,3} \cdot l_{10} + x_{11,3} \cdot l_{11} + x_{12,3} \cdot l_{12} + x_{13,3} \cdot l_{13} \\ + x_{14,3} \cdot l_{14} \leq 3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{1,4} \cdot l_1 + x_{2,4} \cdot l_2 + x_{3,4} \cdot l_3 + x_{4,4} \cdot l_4 + x_{5,4} \cdot l_5 + x_{6,4} \cdot l_6 + x_{7,4} \cdot l_7 \\ + x_{8,4} \cdot l_8 + x_{9,4} \cdot l_9 + x_{10,4} \cdot l_{10} + x_{11,4} \cdot l_{11} + x_{12,4} \cdot l_{12} + x_{13,4} \cdot l_{13} \\ + x_{14,4} \cdot l_{14} \leq 3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{1,5} \cdot l_1 + x_{2,5} \cdot l_2 + x_{3,5} \cdot l_3 + x_{4,5} \cdot l_4 + x_{5,5} \cdot l_5 + x_{6,5} \cdot l_6 + x_{7,5} \cdot l_7 \\ + x_{8,5} \cdot l_8 + x_{9,5} \cdot l_9 + x_{10,5} \cdot l_{10} + x_{11,5} \cdot l_{11} + x_{12,5} \cdot l_{12} + x_{13,5} \cdot l_{13} \\ + x_{14,5} \cdot l_{14} \leq 3 \end{aligned}$$

4. Batasan yang terkait dengan larangan pemanenan dua lahan yang berdekatan.

Batasan ini dibangun agar lahan-lahan yang berdekatan tidak dipanen pada periode yang sama, karena jika lahan yang berdekatan dipanen secara bersamaan maka akan mengalami kegundulan lahan.

$$x_{1,1} + x_{2,1} \leq 1, x_{1,2} + x_{2,2} \leq 1, x_{1,3} + x_{2,3} \leq 1, x_{1,4} + x_{2,4} \leq 1,$$

$$x_{1,5} + x_{2,5} \leq 1$$

$$x_{1,1} + x_{4,1} \leq 1, x_{1,2} + x_{4,2} \leq 1, x_{1,3} + x_{4,3} \leq 1, x_{1,4} + x_{4,4} \leq 1,$$

$$x_{1,5} + x_{4,5} \leq 1$$

$$x_{1,1} + x_{5,1} \leq 1, x_{1,2} + x_{5,2} \leq 1, x_{1,3} + x_{5,3} \leq 1, x_{1,4} + x_{5,4} \leq 1,$$

$$x_{1,5} + x_{5,5} \leq 1$$

$$x_{2,1} + x_{3,1} \leq 1, x_{2,2} + x_{3,2} \leq 1, x_{2,3} + x_{3,3} \leq 1, x_{2,4} + x_{3,4} \leq 1,$$

$$\begin{aligned}
& x_{2,5} + x_{3,5} \leq 1 \\
& x_{2,1} + x_{4,1} \leq 1, x_{2,2} + x_{4,2} \leq 1, x_{2,3} + x_{4,3} \leq 1, x_{2,4} + x_{4,4} \leq 1, \\
& x_{2,5} + x_{4,5} \leq 1 \\
& x_{3,1} + x_{4,1} \leq 1, x_{3,2} + x_{4,2} \leq 1, x_{3,3} + x_{4,3} \leq 1, x_{3,4} + x_{4,4} \leq 1, \\
& x_{3,5} + x_{4,5} \leq 1 \\
& x_{3,1} + x_{7,1} \leq 1, x_{3,2} + x_{7,2} \leq 1, x_{3,3} + x_{7,3} \leq 1, x_{3,4} + x_{7,4} \leq 1, \\
& x_{3,5} + x_{7,5} \leq 1 \\
& x_{3,1} + x_{8,1} \leq 1, x_{3,2} + x_{8,2} \leq 1, x_{3,3} + x_{8,3} \leq 1, x_{3,4} + x_{8,4} \leq 1, \\
& x_{3,5} + x_{8,5} \leq 1 \\
& x_{4,1} + x_{5,1} \leq 1, x_{4,2} + x_{5,2} \leq 1, x_{4,3} + x_{5,3} \leq 1, x_{4,4} + x_{5,4} \leq 1, \\
& x_{4,5} + x_{5,5} \leq 1 \\
& x_{4,1} + x_{6,1} \leq 1, x_{4,2} + x_{6,2} \leq 1, x_{4,3} + x_{6,3} \leq 1, x_{4,4} + x_{6,4} \leq 1, \\
& x_{4,5} + x_{6,5} \leq 1 \\
& \\
& x_{4,1} + x_{7,1} \leq 1, x_{4,2} + x_{7,2} \leq 1, x_{4,3} + x_{7,3} \leq 1, x_{4,4} + x_{7,4} \leq 1, \\
& x_{4,5} + x_{7,5} \leq 1 \\
& x_{5,1} + x_{6,1} \leq 1, x_{5,2} + x_{6,2} \leq 1, x_{5,3} + x_{6,3} \leq 1, x_{5,4} + x_{6,4} \leq 1, \\
& x_{5,5} + x_{6,5} \leq 1 \\
& x_{6,1} + x_{7,1} \leq 1, x_{6,2} + x_{7,2} \leq 1, x_{6,3} + x_{7,3} \leq 1, x_{6,4} + x_{7,4} \leq 1, \\
& x_{6,5} + x_{7,5} \leq 1 \\
& x_{6,1} + x_{9,1} \leq 1, x_{6,2} + x_{9,2} \leq 1, x_{6,3} + x_{9,3} \leq 1, x_{6,4} + x_{9,4} \leq 1, \\
& x_{6,5} + x_{9,5} \leq 1 \\
& x_{6,1} + x_{10,1} \leq 1, x_{6,2} + x_{10,2} \leq 1, x_{6,3} + x_{10,3} \leq 1, x_{6,4} + x_{10,4} \leq 1, \\
& x_{6,5} + x_{10,5} \leq 1 \\
& x_{7,1} + x_{8,1} \leq 1, x_{7,2} + x_{8,2} \leq 1, x_{7,3} + x_{8,3} \leq 1, x_{7,4} + x_{8,4} \leq 1, \\
& x_{7,5} + x_{8,5} \leq 1 \\
& x_{7,1} + x_{10,1} \leq 1, x_{7,2} + x_{10,2} \leq 1, x_{7,3} + x_{10,3} \leq 1, x_{7,4} + x_{10,4} \leq 1, \\
& x_{7,5} + x_{10,5} \leq 1 \\
& x_{8,1} + x_{10,1} \leq 1, x_{8,2} + x_{10,2} \leq 1, x_{8,3} + x_{10,3} \leq 1, x_{8,4} + x_{10,4} \leq 1,
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& x_{8,5} + x_{10,5} \leq 1 \\
& x_{8,1} + x_{11,1} \leq 1, x_{8,2} + x_{11,2} \leq 1, x_{8,3} + x_{11,3} \leq 1, x_{8,4} + x_{11,4} \leq 1, \\
& x_{8,5} + x_{11,5} \leq 1 \\
& x_{9,1} + x_{10,1} \leq 1, x_{9,2} + x_{10,2} \leq 1, x_{9,3} + x_{10,3} \leq 1, x_{9,4} + x_{10,4} \leq 1, \\
& x_{9,5} + x_{10,5} \leq 1 \\
& x_{9,1} + x_{13,1} \leq 1, x_{9,2} + x_{13,2} \leq 1, x_{9,3} + x_{13,3} \leq 1, x_{9,4} + x_{13,4} \leq 1, \\
& x_{9,5} + x_{13,5} \leq 1 \\
& x_{9,1} + x_{14,1} \leq 1, x_{9,2} + x_{14,2} \leq 1, x_{9,3} + x_{14,3} \leq 1, x_{9,4} + x_{14,4} \leq 1, \\
& x_{9,5} + x_{14,5} \leq 1 \\
& x_{10,1} + x_{11,1} \leq 1, x_{10,2} + x_{11,2} \leq 1, x_{10,3} + x_{11,3} \leq 1, x_{10,4} + x_{11,4} \leq 1, \\
& x_{10,5} + x_{11,5} \leq 1 \\
& x_{10,1} + x_{13,1} \leq 1, x_{10,2} + x_{13,2} \leq 1, x_{10,3} + x_{13,3} \leq 1, x_{10,4} + x_{13,4} \leq 1, \\
& x_{10,5} + x_{13,5} \leq 1 \\
& \\
& x_{11,1} + x_{12,1} \leq 1, x_{11,2} + x_{12,2} \leq 1, x_{11,3} + x_{12,3} \leq 1, x_{11,4} + x_{12,4} \leq 1, \\
& x_{11,5} + x_{12,5} \leq 1 \\
& x_{11,1} + x_{13,1} \leq 1, x_{11,2} + x_{13,2} \leq 1, x_{11,3} + x_{13,3} \leq 1, x_{11,4} + x_{13,4} \leq 1, \\
& x_{11,5} + x_{13,5} \leq 1 \\
& x_{12,1} + x_{13,1} \leq 1, x_{12,2} + x_{13,2} \leq 1, x_{12,3} + x_{13,3} \leq 1, x_{12,4} + x_{13,4} \leq 1, \\
& x_{12,5} + x_{13,5} \leq 1 \\
& x_{12,1} + x_{14,1} \leq 1, x_{12,2} + x_{14,2} \leq 1, x_{12,3} + x_{14,3} \leq 1, x_{12,4} + x_{14,4} \leq 1, \\
& x_{12,5} + x_{14,5} \leq 1 \\
& x_{13,1} + x_{14,1} \leq 1, x_{13,2} + x_{14,2} \leq 1, x_{13,3} + x_{14,3} \leq 1, x_{13,4} + x_{14,4} \leq 1, \\
& x_{13,5} + x_{14,5} \leq 1
\end{aligned}$$

5.4 Hasil Optimal

Untuk menentukan hasil optimal dari model optimasi pada penentuan lahan pemanenan kayu cempaka, dilakukan dengan bantuan software program linear. Berdasarkan hasil output komputasi yang telah dilakukan, dalam permasalahan model optimasi pemanenan kayu cempaka, diperoleh *objective value* atau nilai objektif

28622.24, yang berarti bahwa pendapatan maksimum yang dapat diperoleh petani cempaka adalah Rp. 28.622.240.000 (dua puluh delapan miliar enam ratus dua puluh dua juta dua ratus empat puluh ribu rupiah) yang diperoleh dengan melakukan pemanenan selama lima periode (sepuluh tahun) pada lahan yang terpilih dalam setiap periode I – periode V.

Penentuan lahan pemanenan yang optimal untuk periode I adalah lahan 8, dan lahan 14. Untuk periode II adalah lahan 1, lahan 3, lahan 6, dan lahan 13. Untuk periode III adalah lahan 5, lahan 7, dan lahan 9. Untuk periode IV adalah lahan 4, lahan 10, dan lahan 12. Untuk periode V adalah lahan 2, dan lahan 11.

Tabel 5. Tabel pemanenan lahan per periode

Periode	Indeks Lahan
I	8, 14, 19, 18, 20
II	1, 3, 6, 13, 15, 21
III	5, 7, 9, 17, 24
IV	4, 10, 12, 25
V	2, 11, 27, 30

Dapat dilihat pada lampiran 2 *output* penentuan lahan pemanenan, lahan 8 dipanen pada periode I, volume kayu cempaka pada lahan 8 adalah 387,36 m³, dan pendapatan yang akan diterima adalah sebesar Rp.1.355.770.000. Lahan 14 dipanen pada periode I, volume kayu cempaka pada lahan 14 adalah 336,86 m³, dan pendapatan yang akan diterima adalah sebesar Rp.1.179.010.000. Pendapatan yang akan diperoleh dari pemanenan lahan – lahan pada periode I adalah sebesar Rp.2.534.780.000.

Lahan 1 dipanen pada periode II, volume kayu cempaka pada lahan 1 adalah 621,44 m³, dan pendapatan yang akan diterima adalah sebesar Rp.2.283.810.000. Lahan 3 dipanen pada periode II, volume kayu cempaka pada lahan 3 adalah 378,90 m³, dan pendapatan yang akan diterima adalah sebesar Rp.1.392.460.000. Lahan 6 dipanen pada periode II, volume kayu cempaka pada lahan 6 adalah 368,63 m³, dan pendapatan yang akan diterima adalah sebesar Rp.1.354.710.000. Lahan 13 dipanen pada periode II, volume kayu cempaka pada lahan 13 adalah 265,63 m³, dan pendapatan yang akan diterima adalah sebesar Rp.976.200.000. Maka pendapatan yang akan diperoleh dari pemanenan lahan – lahan pada periode II adalah sebesar Rp.6.007.170.000.

Lahan 5 dipanen pada periode III, volume kayu cempaka pada lahan 5 adalah 658,89 m³, dan pendapatan yang akan diterima adalah sebesar Rp.2.542.200.000. Lahan 7 dipanen pada periode III, volume kayu cempaka pada lahan 7 adalah 343,73 m³, dan pendapatan yang akan diterima adalah sebesar Rp.1.326.370.000. Lahan 9 dipanen pada periode III, volume kayu cempaka pada lahan 9 adalah 618,58 m³, dan pendapatan yang akan diterima adalah sebesar Rp.2.386.960.000. Maka pendapatan yang akan diperoleh dari pemanenan lahan – lahan pada periode III adalah sebesar Rp.6.255.830.000.

Lahan 4 dipanen pada periode IV, volume kayu cempaka pada lahan 4 adalah 520,48 m³, dan pendapatan yang akan diterima adalah sebesar Rp.2.108.830.000. Lahan 10 dipanen pada periode IV, volume kayu cempaka pada lahan 10 adalah 831,40 m³, dan pendapatan yang akan diterima adalah sebesar Rp.3.368.590.000. Lahan 12 dipanen pada periode IV, volume kayu cempaka pada lahan 12 adalah 326,30 m³, dan pendapatan yang akan diterima adalah sebesar Rp.1.322.050.000. Maka pendapatan yang akan diperoleh dari pemanenan lahan – lahan pada periode IV adalah sebesar Rp.6.799.460.000.

Lahan 2 dipanen pada periode V, volume kayu cempaka pada lahan 2 adalah 698,22 m³, dan pendapatan yang akan diterima adalah sebesar Rp.2.970.430.000. Lahan 11 dipanen pada periode V, volume kayu cempaka pada lahan 11 adalah 953,05 m³, dan pendapatan yang akan diterima adalah sebesar Rp.4.054.550.000. Maka pendapatan yang akan diperoleh dari pemanenan lahan – lahan pada periode V adalah sebesar Rp.7.024.980.000.

5.5. Publikasi Ilmiah

Hasil penelitian yang diperoleh, telah dipublikasi pada *The 4th Internaional Conference on Operations Research 2019*, yang diselenggarakan oleh IORA (*International Operation Research Association*) dan FMIPA Unsrat tanggal 19 – 20 September 2019

5.6. Hak Kekayaan Intelektual

Hasil penelitian ini telah didaftarkan sebagai Hak Cipta dalam bentuk Karya Cipta Program Komputer dengan nomor pendaftaran EC00201974867 pada tanggal 8 Oktober 2019 dan telah mendapatkan Surat Pencatatan dengan nomor pencatatan 000157736.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Model matematika yang terbentuk mampu memberikan gambaran bagi para petani untuk mendapatkan hasil panen yang optimal dengan mempertimbangkan aspek kelestarian dalam sistem pemanenan lestari pada tegakan hutan rakyat pohon cempaka.

6.2. Saran

Model matematika ini dapat dikembangkan dengan memperhatikan berbagai scenario pemanenan secara simultan pada berbagai tipe lahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Garfinkel, R. S. and G. L. Nemhauser. 1972. *Integer Programming*. John Wiley & Sons, New York.
- Hartono, W., A. D. Y. A. Putri dan Sugiyarto. 2014. *Integer Programming Pendekatan Metode Branch and Bound Untuk Optimasi Sisa Material Besi (Waste) Pada Plat Lantai Studi Kasus : Pasar Elpabes Banjarsari Surakarta. e-Jurnal Matriks Teknik Sipil. 2(2): 86 – 92.*
- Krisnawati, H., W. C. Adinugroho dan R. Imanuddin. 2012. Monograf: Model – model Alometrik untuk Pendugaan Biomassa Pohon pada Berbagai Tipe Ekosistem Hutan di Indonesia. Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi, Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Bogor.
- Langi, Y. A. R. 2007. Model Penduga Biomassa dan Karbon pada Tegakan Hutan Rakyat Cempaka (*Elmerrillia ovalis*) dan Wasian (*Elmerrillia celebica*) di Kabupaten Minahasa Sulawesi Utara. Tesis Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Nair, P. K. R., Latt Cr, Muschler R, Huettl R, Editor. 1995. *Agroforestry in Industrialized Nations. Agroforestry System. Special Issue, 31: 97-198.*
- Nash, S. G., and A. Sofer. 1996. *Linear and Nonlinear*. McGraw-Hill, New York.
- Prodan, M. 1968. *Forest Biometrics*. Pergamon Press, Oxford – London (UK).
- Puspitojati, T., M. Y. Mile, E. Fauziah, dan D. Darusman. 2014. Hutan Rakyat Sumbangsih Masyarakat Pedesaan untuk Hutan Tanaman. PT. Kanisius, Yogyakarta.
- Riyanti, E. 2004. Penerapan Algoritma Branch and Bound untuk Penentuan Rute Objek Wisata [skripsi]. Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer UNIKOM, Bandung.
- Syaifuddin, D. T. 2011. Riset Operasi (Aplikasi Quantitative Analysis For Management). Edisi ke-1. CV Citra Malang, Malang.
- Taha, H. A. 2007. *Operations Research: An Introduction*. Eighth Edision. Pearson Education, Inc, Upper Saddle River, New Jersey.
- Undang-Undang RI No. 41 tahun 1999 tentang Kehutanan.
- Winston, W. L. 1995. *Introduction to Mathematical Programming*. Duxbury Press, California.



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS SAM RATULANGI
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
Alamat : Kampus UNSRAT Manado
Telp.(0431) 827560, Fax. (0431) 827560
Email : lppm@unsrat.ac.id Laman : <http://lppm.unsrat.ac.id>

SURAT TUGAS

Nomor : 1894 /UN12.13/LT/2019

Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Sam Ratulangi Manado, dengan ini menugaskan kepada :

1. Nama : YOHANES ANDREAS ROBERT LANGI (Ketua)
NIP : 197006132005011001
Jabatan : Lektor
2. Nama : ALTIEN JONATHAN RINDENGAN (Anggota)
NIP : 197404272001121001
Jabatan : Lektor Kepala
3. Nama : TOHAP MANURUNG (Anggota)
NIP : 197912242006041003
Jabatan : Lektor

Untuk melaksanakan Penelitian Skim RISET TERAPAN UNGGULAN UNSRAT, yang di danai oleh dana Institusi tahun 2019 dengan judul : "MODEL OPTIMASI SISTEM PEMANENAN LESTARI POHON CEMPAKA (*Elmerillia Sp*) DALAM SKEMA PERDAGANGAN KARBON".

Demikian surat tugas ini dibuat untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Manado, 03 Mei 2019

Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian
Kepada Masyarakat



Dr. Charles Lodewijk Kaunang, MS
NIP : 195910181986031002