

**PENANAMAN TANAMAN PENUTUP TANAH
UNTUK REHABILITASI LAHAN KRITIS DI SEKITAR TAMBANG
EMAS DI GUNUNG PONGKOR MELALUI KEMITRAAN DENGAN
MASYARAKAT DI KECAMATAN NANGGUNG KABUPATEN BOGOR**
(Planting Land Cover Crop for Rehabilitation of Degraded Land Surrounding
Gold-Mining Pongkor Through Interrelationship with Community of
Nanggung District, Bogor Regency)

Asdar Iswati, Enni Dwi Wahjunie, Khursatul Munibah
Dep. Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB

ABSTRAK

Penambangan emas tanpa izin (PETI) di Gunung Pongkor Kecamatan Nanggung Kabupaten Bogor menyebabkan petani di wilayah sekitar Kawasan Pertambangan Emas Gunung Pongkor menghadapi permasalahan: erosi dan sedimentasi, kandungan Hg dalam air dan tanah sawah yang bersifat bioakumulatif berbahaya bagi manusia, dan produktivitas tanah rendah. Disamping itu, juga tidak mantapnya kelembagaan khususnya kelompok tani (POKTAN). Oleh karena itu, kegiatan pengabdian kepada masyarakat Program IbM bertujuan: (1) menyediakan bahan organik sumberdaya lokal dari tanaman penutup tanah (*Centrocema pubescens*), (2) menurunkan degradasi lahan yang diakibatkan oleh erosi tanah di daerah yang kemiringan lerengnya 15 -45% dan pencemaran Hg di tanah sawah, dan (3) memantapkan POKTAN. Hasil kegiatan Program IbM: (1) penanaman tanaman penutup tanah *Centrocema pubescens* (Cp) dalam waktu 3,5 bulan menghasilkan bahan organik sumberdaya lokal dengan produktivitas 13,27 – 19,8 ton/ha; (2) pemberian bahan organik dan peningkatan dosis pupuk dasar pada tanah sawah meningkatkan produktivitas padi sawah jika dibandingkan dengan produktivitas padi sawah pada periode sebelum Program IbM . Produktivitas padi hasil kegiatan IbM 15,6 ton/ha hanya memberikan pupuk dasar Phonska 300kg/ha dan Urea 200kg/ha tanpa penambahan bahan organik, 16,1 ton/ha dengan penambahan bahan organik 8 ton/ha, dan 17,9 ton/ ha dengan penambahan bahan organik 12 ton/ha. Sedangkan produktivitas sebelum kegiatan IbM 4 ton/ha; (3) Kegiatan pelatihan meningkatkan pengetahuan petani dari rendah ke sedang tentang kesuburan tanah, manfaat dan kandungan unsur hara suatu jenis pupuk, manfaat pupuk organik, kehilangan pupuk, lahan kritis, dan manfaat tanaman penutup tanah.

Kata kunci: Produktivitas tanaman penutup tanah, rehabilitasi lahan.

ABSTRACT

Illegal gold mining in Pongkor mountain, Nanggung District, Bogor Regency caused the farmer problems are erosion, sedimentation, water and soil paddy field content Hg, low productivity, and unstable institution of their society. The IbM Program aims are: (1) supply local organic matter from land cover crop (*Centrocema pubescens*), (2) decreased land degradation is caused erosion and Hg in water and soil paddy field, and (3) increasing institution stabilization of their society. The result of IbM Program activity: (1) productivity of land cover crop (*Centrocema pubescens*) in supplied local organic matter 13,27 – 19,8 ton/ha for 3,5 month, (2) productivity of paddy increased from 4 ton/hectare to 15,6 ton/ha by added Phonska 300kg/ha and Urea 200kg/ha, 16,1 ton/ha by added Phonska 300kg/ha and Urea 200kg/ha and 8 ton/ha organic matter, 17,9 ton/ ha, by added Phonska 300kg/ha and Urea 200kg/ha and 12 ton/ha organic matter, and (3) The training

improved farmers' knowledge from low level to medium level especially on soil fertility, the benefit and elements of fertilizers, the benefit of organic matter application, fertilizer loss, degraded land and cover crop benefits.

Keywords: Land cover crop productivity, land rehabilitation.

PENDAHULUAN

Penambang emas ilegal (liar) di Gunung Pongkor dikenal dengan PETI (Penambang Emas Tanpa Izin), atau oleh masyarakat disebut "Gurandil". Lokasi penambangan liar ini berada di sekitar lokasi areal penambangan resmi PT. Aneka Tambang, bahkan ada yang terletak di dalam wilayah konsesi perusahaan tersebut.

Dampak negatif yang ditimbulkan oleh PETI adalah kerusakan hutan, erosi tanah tanah longsor, pencemaran air dan tanah oleh Hg, rusaknya ekosisten, dan rusaknya nilai-nilai kehidupan sosial budaya masyarakat setempat. Dampak positif yang ditimbulkan PETI hanya meningkatkan pendapatan PETI. Sedangkan dampak positif yang ditimbulkan penambangan emas PT. Antam adalah menambah pendapatan negara, terbukanya lapangan pekerjaan, meningkatnya sarana dan prasarana desa, meningkatnya fasilitas umum (pelayanan kesehatan, sekolah), pembinaan usaha, pemberian modal, dan bantuan pemasaran hasil-hasil produksi rakyat. Dampak negatif penambangan emas PT. Antam adalah mengganggu kelestarian ekosistem dan terjadinya polusi udara.

Desa-desa yang kemungkinan akan terkena dampak pertamakali dari kegiatan penambangan emas di Gunung Pongkor, baik yang dilakukan secara legal maupun ilegal adalah Desa Bantar Karet, Cisarua, Kiarasari, Cihiris, Jangkar, dan Malasari. Selain itu, desa Curugbitung, Nanggung, Pangkaljaya, Parakanmuncang, Hambaro, Kalong Liud juga berpotensi terkena dampak negatif penambangan ini.

Dampak negatif yang paling besar akibat penambangan emas di gunung Pongkor adalah tercemarnya air sungai Cikaniki dan Sungai Cisarua yang bermuara ke sungai Cisedane oleh air raksa/merkuri (Hg). Pencemaran ini terutama disebabkan oleh penambangan emas tanpa izin (Syawal dan Yustiawati, 2003 dalam Mulyadi, Pramono, dan Ansori, 2007). Menurut Mulyadi, Pramono, dan Ansori, (2007), lahan pertanian di sekitar Gunung Pongkor berada pada jalur

sungai Cikaniki dan anak-anak sungai di atasnya. Hasil penelitian Tim Peneliti Tanah dan Agroklimat (2000), menunjukkan bahwa tanah sawah yang berada pada jalur aliran sungai Cikaniki dan sungai Cisarua telah tercemar limbah pertambangan emas yang mengandung Hg dengan konsentrasi cukup tinggi antara 1,27 – 1,63 ppm. Menurut PP. No. 20 tahun 1990, kadar maksimum Hg untuk tanah pertanian 0,005 ppm, jadi konsentrasi Hg pada tanah sawah yang berada pada jalur aliran sungai Cikaniki dan sungai Cisarua di atas nilai ambang batas maksimum, sehingga berbahaya terhadap keamanan pangan yang diproduksi dari area persawahan di wilayah tersebut. Hal ini karena, Hg merupakan logam berat yang bersifat *persisten* atau tidak dapat terdekomposisi secara biologis.

Menurut Boyd dan Sommer (1990), pemberian bahan organik pada tanah sawah akan mengimobilisasikan logam berat di dalam tanah. Hal ini karena asam fulvat dan asam humat yang dikandung bahan organik dapat mengikat ion-ion logam sehingga menjadi larut dan tidak tersedia bagi tanaman. Sedangkan sumber bahan organik lokal di sekitar penambangan emas Gunung Pongkor sangat minim. Untuk mengatasi ketersediaan bahan organik lokal yang sangat minim tersebut, maka perlu dilakukan pemberdayaan masyarakat di sekitar kawasan tersebut dalam upaya menyediakan bahan organik lokal untuk merehabilitasi lahan kritis tercemar Hg dan mengatasi terjadinya erosi. Untuk mewujudkan upaya tersebut, maka dalam pelaksanaan IbM Tahun 2011 di Desa Hambaro bermitra dengan kelompok tani Cempaka untuk membantu menyampaikan transfer teknologi penanaman tanaman penutup tanah dan di Desa Kalongliud bermitra dengan kelompok tani Sukamaju untuk membantu menyampaikan transfer teknologi penanaman tanaman penutup tanah sebagai sumberdaya bahan organik lokal untuk rehabilitasi lahan lahan sawah yang tercemar Hg.

Permasalahan POKTAN Cempaka di Desa Hambaro dan POKTAN Sukamaju di Desa Kalongliud yang terletak di Kawasan Pertambangan Emas Gunung Pongkor Kecamatan Nanggung Kabupaten Bogor adalah: (1) Produktivitas tanah rendah, (2) Erosi dan sedimentasi, (3) air dan tanah sawah mengandung Hg sehingga hasilnya berbahaya bagi manusia, dan (4) tidak mantapnya kelembagaan (POKTAN)

Kegiatan ini bertujuan untuk membina petani di Desa Hambaro dan Desa Kalongliud yang terletak di Kawasan Pertambangan Emas Gunung Pongkor Kecamatan Nanggung Kabupaten Bogor dalam hal: (1) Menyediakan bahan organik sumberdaya lokal sekaligus mengatasi terjadinya erosi dan sedimentasi, (2) Meningkatkan produksi padi sawah dan mengatasi terserapnya Hg oleh tanaman, dan (3) Memperkuat kelembagaan kelompok tani (POKTAN), sehingga kelembagaan tersebut lestari.

METODE PENELITIAN

Kerangka Pemecahan Masalah

Dampak negatif dari penambangan emas liar di Gunung Pongkor Kecamatan Nanggung adalah degradasi lahan akibat erosi sehingga produktivitas tanah rendah, kandungan Hg dalam air dan tanah sawah sehingga berbahaya bagi manusia, kerusakan ekosistem sehingga kelestariannya terganggu, dan lemahnya kelembagaan tani (POKTAN) karena petani lebih memilih menjadi penambang liar. Oleh karena itu, untuk mengatasi terjadinya lahan kritis akibat erosi dan mencegah terserapnya Hg oleh padi sawah, maka kegiatan pengabdian pada masyarakat Program IbM terdiri dari : (1) penanaman tanaman penutup tanah pada lahan berlereng, (2) penambahan bahan organik pada tanah sawah untuk mengatasi terserapnya Hg dan meningkatkan produksi padi, dan (3) memantapkan kelembagaan yang sudah ada sehingga berkelanjutan

Penanaman tanaman penutup tanah di Desa Hambaro tujuannya untuk menyediakan bahan organik lokal dan mengatasi terjadinya erosi sehingga mengurangi terjadinya degradasi lahan. Penyediaan bahan organik sumberdaya lokal tujuannya agar bahan organik dapat tersedia dengan cepat dan tidak membutuhkan biaya pengangkutan. Penanam tanaman penutup tanah pada lahan yang berpotensi tererosi, sehingga selain mendapatkan bahan organik juga mencegah terjadinya erosi dan sedimentasi.

Pemberian bahan organik pada tanah sawah di Desa Kalong liud dengan tujuan untuk mengimobilkan Hg di dalam tanah, karena asam fulvat dan asam humat yang dikandung bahan organik dapat mengikat Hg sehingga tidak larut dan

tersedia bagi tumbuhan. Dengan demikian Hg tidak diserap oleh tanaman padi, sehingga produksi padi tidak membahayakan bagi manusia. Selain itu, bahan organik juga memperbaiki sifat fisik tanah, ketersediaan unsur hara tanaman, dan memperbaiki sifat biologi tanah. Dengan diperbaikinya sifat fisika, sifat kimia, dan sifat biologi tanah, maka pertumbuhan dan produksi tanaman akan meningkat.

Memperkuat kelembagaan yang sudah ada, khususnya kelompok tani di Desa Hambaro dan Desa Kalongliud. Dengan demikian petani akan menjalankan usahatani dengan baik. Kerangka pemecahan masalah ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kerangka pemecahan masalah.

Situasi Sekarang	Perlakuan	Situasi yang Diharapkan
1. Produktivitas tanah rendah	1. Penanaman tanaman penutup tanah sebagai sumber bahan organik lokal pada lahan yang berpotensi tererosi	1. Tersedianya sumber bahan organik lokal dari tanaman penutup tanah.
2. Terjadi erosi, sedimentasi, dan kerusakan ekosistem	2. Penambahan bahan organik pada tanah sawah	2. Tidak terjadi erosi dan sedimentasi
3. Konsentrasi Hg di air dan tanah sawah berbahaya bagi manusia	3. Pelatihan tentang rehabilitasi lahan kritis dan kelembagaan	3. Peningkatan produksi padi sawah
4. Kemantapan kelembagaan tani (POKTAN) lemah		4. Kelompok Tani lebih mantap dan kuat

EVALUASI AWAL ← PROSES → EVALUASI AKHIR

Realisasi Pemecahan Masalah

Penanaman tanaman penutup tanah sebagai sumber bahan organik lokal pada lahan yang berpotensi tererosi dilakukan dengan pembuatan demplot di lahan Pak Hendra di Desa Hambaro. Kegiatan penambahan bahan organik pada tanah sawah dilakukan dengan pembuatan demplot di Hambaran Sukamaju lahan Kas Desa Kalongliud di Desa Kalongliud. Pemantapan kelembagaan dilakukan dengan cara penyuluhan. Kegiatan penyuluhan kelembagaan dilakukan di kantor desa Hambaro.

Khalayak Sasaran

Yang menjadi khalayak sasaran dalam kegiatan pengabdian kepada masyarakat Program IbM adalah POKTAN di Desa Hambaro dan di Desa Kalongliud, khususnya POKTAN Cempaka di Desa Hambaro dan POKTAN Sukamaju di Desa Kalongliud.

Metode Kegiatan

Lahan kritis yang digunakan sebagai kegiatan pengabdian pada masyarakat terdiri dari: (1) lahan yang berpotensi tererosi, jika dibiarkan terbuka dan (2) tanah sawah yang diperkirakan terkena dampak pencemaran Hg akibat penambangan emas liar. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat Program IbM dalam pelaksanaannya bermitra dengan POKTAN Cempaka yang diketuai oleh Bapak Andi Rianto dan POKTAN Sukamaju yang diketuai oleh Bapak Naman.

Kegiatan yang dilakukan dalam program IbM ini terdiri dari: (1) Pembuatan demplot penanaman tanaman penutup tanah sebagai sumber bahan organik lokal, (2) Pembuatan demplot pemberian bahan organik pada tanah sawah, dan (3) Pelatihan tentang pemantapan kelembagaan dan rehabilitasi lahan kritis.

Pembuatan Demplot Penanaman Tanaman Sebagai Sumber Bahan Organik Lokal

Pembuatan demplot penanaman tanaman sebagai sumber bahan organik lokal dengan tahapan sebagai berikut: (1) menentukan lokasi demplot, (2) pengambilan contoh tanah terganggu untuk dianalisis kandungan C-organik dan N_{total}, (3) pengolahan tanah tempat penanaman, (4) pengecambahan benih, (4) penanaman, dan (6) pemeliharaan. Penentuan lokasi demplot penanaman tanaman sebagai sumber bahan organik lokal dilakukan dengan cara menjelajahi lahan di Desa Hambaro yang mempunyai kemiringan lereng antara 25 – 40 %, sehingga diperoleh lahan dengan kemiringan 26% di Kampung Pasir Tonggeret. Pemilik lahan tersebut adalah Bapak Hendra. Tanaman penutup tanah yang ditanam adalah *Centrocema pubescens* (Cp). Pembuatan demplot ini dilakukan dengan memberdayakan petani dengan memberikan benih dan batuan biaya pengolahan, penanaman, pemeliharaan serta melakukan pendampingan. Tanaman dipanen pada umur 3,5 bulan.

Pembuatan Demplot Pemberian Bahan Organik pada Tanah Sawah

Pembuatan demplot pemberian bahan organik pada tanah sawah dengan tahapan sebagai berikut: (1) menentukan lokasi, (2) pengolahan tanah, dan (3) penanaman. Penentuan lokasi demplot dilakukan dengan cara mencari petani yang bersedia lahannya digunakan untuk demplot dan dilakukan analisis kandungan Hg pada tanah sawah yang akan digunakan demplot. Berdasarkan kesediaan petani yang lahannya dapat digunakan untuk demplot, maka demplot dibuat pada lahan sawah Kas Desa Kalongliud yang dikerjakan oleh ketua POKTAN Sukamaju. Lahan tersebut termasuk kedalam Hampan Blok Turalak, Kelompok Tani Sukamaju. Kondisi tanah sawah sebelum digunakan demplot, luas, dan dosis bahan organik yang diberikan disajikan pada Tabel 2.

Dalam pembuatan demplot ini dari pengolahan tanah, penambahan bahan organik, penanaman, pemeliharaan, dan pemanenan dengan cara memberdayakan petani dengan memberikan bantuan petani dalam bentuk biaya pengolahan tanah, benih, pupuk organik dan pupuk inorganik, insektisida. Selain itu, juga dilakukan pendampingan. Pupuk organik diberikan dalam bentuk bokasih, pupuk inorganik diberikan dalam bentuk pupuk PONSKA dan urea, dan insektisida diberikan dalam bentuk insektisida organik.

Tabel 2. Kondisi tanah sawah sebelum digunakan demplot, luas, dan dosis bahan organik yang diberikan.

No.	Uraian	Hampan Blok Turalak	
		Blok I	Blok II
1.	Pemilik	Kas Desa Kalongliud	Kas Desa Kalongliud
2.	Luas (m ²)	234	212,5
3.	Lokasi (Kampung)	Turalak	Turalak
4.	Jenis dan dosis pupuk yang pernah diberikan	Urea 20 kg /ha KCl 20 kg /ha	Urea 20 kg /ha KCl 20 kg /ha
5.	Dosis pemberian bahan organik yang sudah dilakukan	Belum pernah (0 ton/ha)	Belum pernah (0 ton/ha)
6.	Jenis dan dosis pupuk yang diberikan pada demplot IbM	Phonska 300 kg/ha Urea 200 kg/ha	Phonska 300 kg/ha Urea 200 kg/ha
7.	Dosis bahan organik yang diberikan dalam demplot IbM	8 ton bokasih/ha	20 ton bokasih/ha

Pelatihan Pemantapan Kelembagaan dan Rehabilitasi Lahan Kritis

Pelatihan tentang pemantapan kelembagaan dan rehabilitasi lahan kritis dilakukan dengan tahapan sebagai berikut: (1) koordinasi dengan ketua POKTAN dan Kepala Desa, (2) penyusunan materi pelatihan, (3) pembuatan dan penyebaran undangan, (4) pelatihan. Koordinasi dengan ketua POKTAN dan Kepala desa untuk menetapkan waktu dan tempat pelatihan. Materi pelatihan meliputi: (1) pemantapan kelembagaan, (2) konservasi tanah dan air, dan (3) rehabilitasi lahan tercemar Hg. Di dalam memberikan materi pelatihan tentang rehabilitasi lahan tercemar Hg, juga diberikan materi tentang kesuburan tanah, kandungan hara tanaman di dalam pupuk dan manfaatnya untuk pertumbuhan dan produksi tanaman. Pelatihan ini melibatkan ketua, wakil ketua POKTAN di Desa Hambaro dan di Desa Kalongliud.

Kegiatan yang dilakukan selama pelatihan meliputi: (1) pre_test (evaluasi awal), (2) pemaparan materi (3) post-test (evaluasi akhir). Soal pretest dan posttest sama.

Evaluasi Kegiatan

Evaluasi dilakukan terhadap kegiatan: (1) pembuatan demplot penanaman tanaman penutup tanah sebagai sumber bahan organik lokal, (2) pembuatan demplot pemberian bahan organik pada tanah sawah, dan (3) pelatihan tentang pemantapan kelembagaan dan rehabilitasi lahan kritis.

Sebagai tolok ukur keberhasilan kegiatan penanaman tanaman penutup tanah sebagai sumber bahan organik lokal dievaluasi dari bobot bahan organik yang dihasilkan. Tolok ukur keberhasilan kegiatan pemberian bahan organik pada tanah sawah dievaluasi dari peningkatan produksi padi sawah. Tolok ukur keberhasilan pelatihan dievaluasi dari peningkatan hasil evaluasi akhir jika dibandingkan dengan hasil evaluasi awal.

Untuk mengevaluasi keberhasilan kegiatan pelatihan rehabilitasi lahan kritis dan pemantapan kelembagaan dilakukan evaluasi awal (*pre-test*) dan evaluasi akhir (*post-test*) dengan memberikan daftar pertanyaan (questioner) yang sama. Daftar pertanyaan meliputi pengetahuan tentang pemantapan kelembagaan, konservasi tanah dan air, dan rehabilitasi lahan tercemar Hg. Untuk mengetahui

peningkatan pengetahuan peserta tentang pemantapan kelembagaan, konservasi tanah dan air, dan rehabilitasi lahan tercemar Hg, maka dilakukan evaluasi dengan melihat perubahan nilai hasil evaluasi awal dan evaluasi akhir. Selanjutnya untuk mengetahui tingkat pengetahuan petani tentang materi penyuluhan, maka hasil evaluasi perubahan nilai awal dan akhir dibedakan menjadi tiga kategori, yaitu: rendah (<50), sedang (50 – 70), dan tinggi (>70). Selain itu, juga dilakukan evaluasi proses untuk mengetahui respon peserta terhadap pelaksanaan kegiatan ceramah, maka dilakukan diskusi interaktif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Demplot Penanaman Tanaman Penutup Tanah Sebagai Sumber Bahan Organik Lokal

Kandungan C-organik dan N-total tanah sebelum digunakan untuk demplot penanaman tanaman penutup tanah disajikan pada Tabel 3. Dari Tabel 3 menunjukkan bahwa kandungan C-organik tanah dari semua blok rendah (< 2%) dan N-total juga rendah (< 0,2%). Hasil bahan organik dari demplot penanaman tanaman penutup tanah (*Centrocema pubescens* (Cp)) pada umur tanaman 3,5 bulan disajikan pada Tabel 4. i

Tabel 3. Kandungan C-organik dan N-total tanah sebelum digunakan untuk demplot penanaman tanaman penutup tanah.

Lokasi	C-Org (%)	N-Total (%)
Blok I	1,28	0,13
Blok II	1,44	0,15
Blok IIIA	1,52	0,16
Blok IIIB	1,36	0,14

Tabel 4. Produktivitas bahan organik dari tanaman penutup tanah (*Centrocema pubescens* (Cp)) pada umur 3,5 bulan.

Blok	Luas (m ²)	Produksi (kg)	Produktivitas (kg/m ²)	Produktivitas (kg/ha)	Produktivitas (ton/ha)
I	26	34,5	1,33	13269,23	13,27
II	10	14,5	1,45	14500,00	14,50
IIIA	4	5,7	1,43	14250,00	14,25
IIIB	10	19,8	1,98	19800,00	19,80

Tabel 4 menunjukkan bahwa produktivitas terendah pada blok I dan tertinggi pada blok IIIB. Terendahnya produktivitas bahan organik dari blok I disebabkan oleh letak blok pada lereng paling atas (datar) dengan kandungan C-organik dan Nitrogen total tanah terendah dibandingkan dengan blok lainnya. Disamping itu, tanah pada lereng paling atas pada umumnya kesuburan tanah rendah dan banyak mendapatkan cahaya matahari sehingga kandungan air tanah rendah. Kondisi tersebut menyebabkan pertumbuhan (*Centrocema pubescens* (*Cp*)) lambat sehingga produksi bahan organiknya rendah. Tertingginya produktivitas bahan organik pada blok IIIB karena blok ini terletak pada lereng lurus dan terdapat naungan walaupun kandungan C-organik dan N-total tanah lebih rendah dibandingkan dengan blok III A yang juga terletak pada lereng lurus tetapi tidak ada naungan. Produktivitas bahan organik dari (*Centrocema pubescens* (*Cp*)) pada blok IIIA dan IIIB menunjukkan bahwa (*Centrocema pubescens* (*Cp*)) tumbuh lebih cepat dan baik pada lokasi yang ada naungan. Sedangkan pada lokasi yang langsung kena cahaya matahari (*Centrocema pubescens* (*Cp*)) masih dapat tumbuh dengan baik walaupun pertumbuhannya tidak secepat pada lokasi yang ada naungannya.

Berdasarkan produktivitas bahan organik dari (*Centrocema pubescens* (*Cp*)) pada keempat blok, maka petani dapat menyediakan bahan organik sebagai pupuk hijau dari lahan berlereng yang dimilikinya untuk kebutuhan tanaman padi. Hal ini karena pemilik sawah pada umumnya juga memiliki lahan berlereng yang cukup luas yang ditanami tanaman pohon, tetapi permukaan tanahnya dibiarkan terbuka sehingga berpotensi tererosi.

Demplot Pemberian Bahan Organik pada Tanah Sawah

Hasil analisis tanah kandungan Hg dan C-organik tanah sebelum demplot dibuat disajikan pada Tabel 5. Dari Tabel 5 menunjukkan bahwa kandungan Hg tanah sebelum pembuatan demplot menurun jika dibandingkan dengan kandungan Hg pada Tahun 2005 (0,0693 ppm) yang dilakukan oleh Pusat Penelitian Tanah.

Tabel 5. Kandungan Hg dan C-organik tanah sawah sebelum demplot dibuat dan air irigasi.

Lokasi	Kandungan Hg (ppb)		C-Org (%)
	Tanah	Air	
Sawah 1	38,9	0,14	1,84
Sawah 2	58,9	0,00	2,15

Menurunnya kandungan Hg pada tanah sawah yang terletak di desa Kalongiud ini disebabkan oleh: (1) adanya bendung Cinaki yang merupakan sumber irigasi yang mengairi hamparan di Desa Hambaro sejak tahun 2005, (2) penambang ilegal berkurang. Kandungan Hg di dalam air sawah lebih kecil jika dibandingkan dengan kandungan Hg pada tanah sawah. Lebih besarnya kandungan Hg pada tanah sawah disebabkan oleh adanya akumulasi Hg yang dibawa oleh air irigasi, walaupun hasil analisis kandungan Hg air irigasi 0 ppb. Hal ini karena kandungan Hg pada air irigasi tidak selalu 0, tergantung dari pembuangan limbah dari pengolahan emas ilegal.

Rataan jumlah anakan padi pada umur 3 minggu, 5 minggu, dan 8 minggu hari sesudah tanaman disajikan Tabel 6 dan hasil analisis Uji Fisher's pada Tabel 7.

Tabel 6. Rataan jumlah anakan padi pada umur 3 minggu, 5 minggu, dan 8 minggu.

Perlakuan	Rataan Jumlah Anakan (batang)		
	3 minggu Hst	5 minggu Hst	8 minggu Hst
BO0	10,8	9,8	16,0
BO1	11,4	18,0	27,0
BO2	11,7	13,5	22,0

Keterangan: Hst = hari sesudah tanam

*) ulangan 2

Tabel 6 menunjukkan bahwa penambahan bahan organik 8 ton terhadap jumlah anakan pada umur 3 minggu dan 8 minggu tertinggi dibandingkan dengan jumlah anakan pada kontrol dan penambahan bahan organik 20 ton. Hal ini disebabkan oleh ketersediaan unsur hara pada tanah yang diberi bahan organik 8 ton/ha berimbang sehingga menunjang pertumbuhan tanaman dengan baik. Hal ini diperkuat dengan hasil analisis Uji Fisher's pada Tabel 7 yang menunjukkan

bahwa p-value 0,025 untuk jumlah anakan umur 3 minggu dan p-value 0,036 untuk jumlah anakan umur 5 minggu.

Tabel 7. Hasil uji fisher's untuk menilai pengaruh pemberian bahan organik pada jumlah anakan.

Perlakuan	Perlakuan	p-value	
		3mg Hst	5 mg Hst
BO1	BO2	0,195	0,339
BO1	Kontrol	0,025	0,036
BO2	Kontrol	0,210	0,113

Rataan berat biomassa padi pada umur 3 minggu dan 5 minggu disajikan Tabel 8 dan hasil analisis Uji Fisher's pada Tabel 9.

Tabel 8. Rataan berat biomassa padi pada umur 3 minggu dan 5 minggu.

Perlakuan	Rataan Berat Kering Biomassa (g)	
	3 minggu Hst	5 minggu Hst
BO0	3,63	24,57
BO1	6,88	64,98
BO2	4,42	31,20

Keterangan: Hst = hari sesudah tanam

Tabel 8 menunjukkan bahwa penambahan bahan organik 8 ton/ha menghasilkan berat biomassa padi pada umur 3 minggu dan 5 minggu tertinggi. Hal ini juga ditunjukkan oleh hasil uji Fisher's dengan p- value 0,003 untuk tanaman berumur 3 minggu dan p-value 0,047 untuk tanaman berumur 5 minggu (Tabel 9).

Tabel 9. Hasil uji fisher's untuk menilai pengaruh pemberian bahan organik pada berat biomassa.

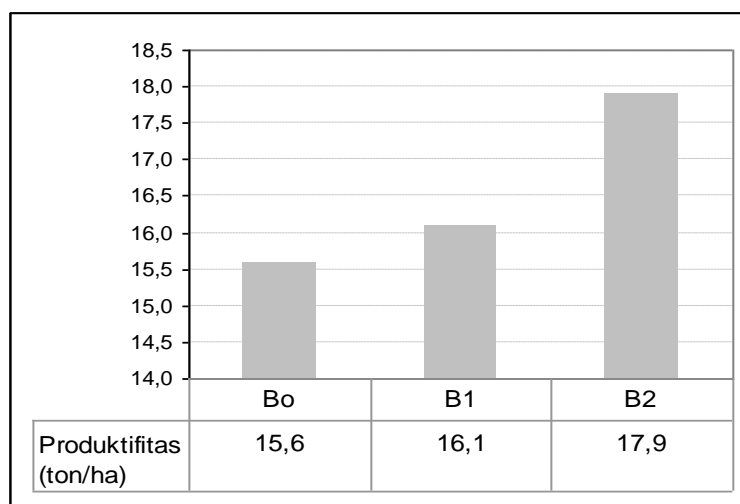
Perlakuan	Perlakuan	p-value	
		3mg Hst	5 mg Hst
BO1	BO2	0,016	0,117
BO1	Kontrol	0,003	0,047
BO2	Kontrol	0,244	0,686

Produktivitas padi pada kegiatan IbM dan sebelum kegiatan IbM disajikan pada Tabel 10. Tabel 10 menunjukkan bahwa produktivitas padi pada kegiatan

IbM jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan produktivitas sebelum IbM. Perbedaan tingkat produktivitas padi dalam kegiatan IbM dengan penambahan bahan organik 0 ton/ha; 8 ton/ha, dan 12 ton/ha disajikan pada Gambar 1.

Tabel 10. Produktivitas padi pada kegiatan IbM dan sebelum kegiatan IbM

Perlakuan (IbM)	Luas (m ²)	Produksi (kg)	Produktivitas (kg/m ²)	Produktivitas (kg/ha)	Produktivitas (ton/ha)
BO0	116,5	187,0	1,6	15.648,5	15,6
BO1	114,5	192,0	1,7	16.066,9	16,1
BO2	99,0	214,0	2,2	17.907,9	17,9
Sebelum IbM	2.000,0	800,0	0,4	4.000,0	4,0



Gambar 1. Produktivitas padi dalam kegiatan IbM.

Hasil analisis kandungan Hg pada beras yang dihasilkan dari demplot yang hanya ditambah pupuk dasar phonska 300kg/ha dan urea 200kg/ha dan dari demplot yang ditambah 8 ton bahan organik + pupuk dasar phonska 300kg/ha dan urea 200kg/ha sebesar < 0,005 ppm.

Pelatihan Rehabilitasi Lahan Kritis dan Pemantapan Kelembagaan

Peserta pelatihan rehabilitasi lahan kritis dan pemantapan kelembagaan 35 orang. Dalam pelatihan ini dilakukan pretes dan postes mengenai materi (1) konservasi tanah dan air dan (2) rehabilitasi lahan pertanian tercemar dan kesuburan tanah. Dari 35 peserta yang mengisi soal pretes 22 orang dan postes 18 orang. Hal ini karena sebagian besar peserta pendidikannya tidak lulus SD,

sehingga tidak semua peserta bisa membaca dengan lancar. Rataan nilai pretes dan postes dari kedua materi disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11. Rataan nilai pre tes dan pos tes kegiatan pelatihan tahun 2011.

No.	Materi	Evaluasi awal	Evaluasi akhir	Peningkatan Nilai
1.	Konservasi tanah dan air	49,55	55,00	5,45
2.	Kesuburan tanah dan rehabilitasi tanah sawah	48,79	56,14	7,35

Tabel 11 menunjukkan bahwa rataannya nilai evaluasi awal baik konservasi tanah dan air maupun rehabilitasi lahan pertanian tercemar dan kesuburan tanah tergolong rendah. Hal ini menunjukkan bahwa rendahnya pengetahuan peserta pelatihan tentang konservasi tanah dan air, kesuburan tanah, dan rehabilitasi tanah sawah tercemar Hg. Sedangkan rataannya nilai evaluasi akhir meningkat dari golongan rendah menjadi sedang, dengan peningkatan nilai 5,45 poin untuk konservasi tanah dan air, 7,35 untuk kesuburan tanah dan rehabilitasi lahan. Nilai peningkatan rataannya nilai evaluasi akhir ini menunjukkan adanya respon positif dari peserta pelatihan dan bertambahnya pengetahuan mereka. Peningkatan ini sangat kecil jika dibandingkan dengan peningkatan rataannya nilai evaluasi akhir yang dilakukan pada pelatihan pada tahun 2010 dengan materi yang sama dan peserta hampir sama. Hal ini disebabkan oleh pengetahuan peserta pelatihan pada tahun 2011 sudah meningkat dibandingkan dengan pengetahuan peserta pelatihan pada tahun 2010 (Tabel 12). Selain itu, respon positif peserta ditunjukkan oleh antusias peserta pada saat diskusi interaktif dengan pemberi materi.

Tabel 12. Rataan nilai pretes dan postes kegiatan pelatihan tahun 2010.

No	Materi	Evaluasi awal	Evaluasi akhir	Peningkatan Nilai
1	Konservasi tanah dan air	33,30	56,00	22,70
2	Kesuburan tanah dan rehabilitasi tanah sawah	33,11	53,73	20,62

Sumber: Asdar Iswati *et al.* (2010)

KESIMPULAN

Penanaman tanaman penutup tanah dalam waktu 3,5 bulan memberikan produktivitas bahan organik sumberdaya lokal 13,27 – 19,8 ton/ha, sehingga petani dapat menyediakan bahan organik untuk kebutuhan tanaman padi dari lahan berlereng yang dimilikinya.

Pemberian bahan organik dan peningkatan dosis pupuk dasar pada tanah sawah meningkatkan produktivitas padi sawah jika dibandingkan dengan produktivitas padi sawah pada periode sebelum Program IbM. Produktivitas padi hasil kegiatan IbM 15,6 ton/ha hanya di pupuk dasar Phonska 300kg/ha dan Urea 200kg/ha, 16,1 ton/ha dengan penambahan bahan organik 8 ton/ha + pupuk dasar, dan 17,9 ton/ha dengan penambahan bahan organik 12 ton/ha + pupuk dasar. Sedangkan produktivitas sebelum kegiatan IbM 4 ton/ha

Kegiatan pelatihan meningkatkan pengetahuan petani dari rendah ke sedang tentang konservasi tanah, rehabilitasi lahan, dan kesuburan tanah. Nilai evaluasi pengetahuan konservasi tanah meningkat dari 49,55 menjadi 55. Nilai evaluasi pengetahuan tentang rehabilitasi lahan dan kesuburan tanah meningkat dari 48,79 menjadi 56,14.

Untuk mencukupi kebutuhan pupuk organik petani dapat menyediakan sendiri dengan menanam tanaman penutup tanah *Centrocema pubescens* (Cp) pada lahan-lahan yang berlereng. Dengan demikian akan mengurangi ongkos angkut, mencegah terjadinya erosi pada lahan-lahan berlereng, dan penyediaannya cepat

Dalam penanaman padi sawah di wilayah sekitar tambang emas gunung Pongkor selain menggunakan pupuk kimia hendaknya menambahkan pupuk organik sehingga dapat meningkatkan produktivitas tanaman dan mencegah tanaman menyerap Hg.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada: (1) DP2M yang telah mendanai kegiatan ini melalui DIPA-IPB, (2) Bapak Andi Rianto sebagai ketua POKTAN

Cempaka 1 Desa Hambaro dan Bapak Naman sebagai ketua POKTAN Sukamaju Desa Kalongliud yang telah menjadi Mitra dalam pelaksanaan kegiatan pengabdian pada masyarakat Program IbM, (3) Bapak Kepala Desa Hambaro yang telah menyediakan ruangan untuk pelaksanaan kegiatan pelatihan penanaman tanaman penutup tanah untuk rehabilitasi lahan kritis dan pemantapan kelembagaan, dan (4) Bapak Kepala Desa Kalongliud yang telah mengijin untuk menggunakan tanah Kas Desa untuk pembuatan demplot penambahan bahan organik pada tanah sawah.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdar Iswati dkk. 2010. Rehabilitasi lahan kritis di sekitar tambang emas di gunung Pongkor melalui kemitraan dengan masyarakat di Kecamatan Nanggung Kabupaten Bogor. Laporan IbM. IPB. Bogor.
- Boyd dan Sommer. 1990. Humic and fulvic acid fractions from sewage sludge and alude amended soils. Dalam P. Mac Carthy, C.E. Clapp, R.L. Malcolm, dan P.R. Bloom (eds). Humic substances in soil and Crop Sciences Selected Reading. America Society of Agronomy, Inc and Soil Science Society of America, Inc. Madison. H.203-202.
- Moore D.S. and McCabe G.P. 1989. Introduction to the practice of statistics. W.H. Freeman and Company, New York.
- Mulyadi, Pramono A., dan Ansori A. 2007. Pencemaran Merkuri pada Tanah dan Air Sawah Akibat Penambangan Emas di gunung Pongkor Bogor. Pros. Seminar Nasional Sumberdaya Lahan dan Lingkungan Pertanian. Balitbang Sumberdaya Pertanian. Bogor.
- Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. 2000. Pengkajian Baku Mutu Tanah pada Lahan Pertanian. Laporan Akhir Kerjasama Antara Proyek Pengembangan Penataan Lingkungan Hidup – Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Jakarta dan Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat – Badan Litbang Pertanian. Bogor.

POTENSI SERAPAN KARBON OLEH TANAMAN JARAK PAGAR DI INDONESIA

(*Jatropha curcas L.* Potential as Carbon Sink in Indonesia)

**Herdhata Agusta¹⁾, Muhammad Syakir²⁾, Endang Warsiki³⁾,
Fifin Nashirotn Nisya³⁾**

¹⁾Dep. Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, IPB,

²⁾Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan, Kementerian Pertanian,

³⁾Pusat Penelitian Surfaktan dan Bioenergi, LPPM IPB

ABSTRAK

Selain sebagai bahan baku bioenergi, Jarak pagar (*Jatropha curcas L.*) juga memiliki potensi untuk menyerap emisi karbon untuk digunakan dalam fotosintesisnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan jarak pagar sebagai penyerap karbon dari berbagai metode pemupukan yang diberikan. Penelitian dilaksanakan pada bulan November 2010 - November 2011. Penelitian ini dilakukan di kebun percobaan jarak pagar milik PT Indocemen, Tbk, Citeureup. Tanaman berasal dari Dompou, NTB. Perlakuan pupuk yang diberikan adalah: 2 kg bungkil jarak/pohon, 80 g urea/pohon, dan urea yang slow release 80 g/pohon dengan dosis pemberian sebanyak 100% dan 50%. Aplikasi pemupukan dilakukan dalam dua cara, yaitu menyebar ke seluruh tanaman dan pola pembenaman sedalam 5 -10 cm dari permukaan luar dari tanah. Pengamatan dilakukan selama 5 bulan setelah dipangkas. Analisis dilakukan pada kandungan tanah C dan N organik, penyerapan CO₂ dan stok karbon dari pohon dan jarak pagar. Hasil penelitian menunjukkan pemupukan berpengaruh secara nyata terhadap kapasitas penyerapan CO₂ tanaman jarak pagar. Penyerapan CO₂ tertinggi pada umur tanaman 5 bulan terdapat pada perlakuan Bungkil Benam 100% yang mencapai 0.118 ton CO₂/ha/hari atau 32.75 ton CO₂/ha/tahun, namun kandungan karbon tertinggi dihasilkan oleh perlakuan pemupukan urea tebar 100%, yaitu 93.07 kg per tanaman.

Kata kunci: Jarak pagar, pemupukan, serapan karbon, karbon stok.

ABSTRACT

Besides as a bioenergy feedstock, *Jatropha curcas L.* also has the potential to absorb carbon emissions for its photosynthesis. This study aims to analyze the ability of *Jatropha* as carbon sink from the various methods of given fertilizer. The experiment was conducted in November 2010 - November 2011. The research was conducted at the experimental farm of *Jatropha* belonging to PT Indocemen, Tbk, Citeureup. The plant comes from Dompou, NTB. Dose of fertilizer are 100% and 50% in each treatment consist of: *Jatropha* cake 2 kg / tree, 80 g urea / tree, and the slow release urea 80 g / tree given in two ways, namely spread around the plants and surrounding plants buried as deep as 5 - 10 cm from the outer surface of the ground. The results showed fertilizing significantly effect the capacity of CO₂ absorption of *Jatropha*. The highest CO₂ absorption was on the plant which gave 100% embedded cake that was 0,118 tons CO₂/ha/day or 32.75 tons CO₂/ha/tahun, but the highest carbon stock generated by 100% spread urea treatment, ie 93.07 kg/plant.

Keywords: *Jatropha curcas L.*, carbon sink, fertilization.

PENDAHULUAN

Jarak pagar merupakan salah satu tanaman penghasil bahan bakar nabati (BBN) yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan bakar alternatif. Produksi jarak pagar dapat mencapai 0,3-10 ton biji per hektar per tahun. Kandungan minyak dari biji jarak pagar rata-rata dapat mencapai 38% (SBRC, 2009). Minyak jarak pagar termasuk tipe *non edible oil*.

Jarak pagar juga berpotensi dalam penyerapan emisi karbon. Hal ini telah dianalisis dan diprediksikan oleh June *et al.* (2008) yang menunjukkan potensi serap karbon pada jarak pagar pada umur 7 tahun dapat mencapai 158 – 191 ton CO₂/ha/th. Kandungan stok karbon tersebut jauh lebih tinggi dibandingkan dengan pertanaman monokultur tebu, kopi, dan kakao pada luasan yang sama. Faktor emisi CO₂ dari biodiesel juga lebih rendah dibandingkan solar yaitu 70.800 kg/TJ, sedangkan solar mencapai 74.100 kg/TJ. Ndong *et al.* (2009) also doing research on LCA of Jatropha biodiesel production in Africa, the production of Jatropha biodiesel under their conditions allows a 72% reduction in GHG emissions compared with conventional diesel fuel.

Pengembangan budidaya berwawasan lingkungan sangat diperlukan dalam rangka mendukung potensi jarak dalam mengurangi emisi gas rumah kaca. Budidaya berwawasan lingkungan termasuk didalamnya pengaturan dalam pemupukan. Pengembangan budidaya jarak pagar yang tepat dan efisien diharapkan dapat meningkatkan potensi serap karbon dan mereduksi emisi GRK. Pengembangan budidaya tanaman untuk mereduksi pupuk dapat dilakukan antara lain dengan penggunaan tanaman sela maupun penggunaan bahan organik. Acuan rekomendasi pemupukan tanaman jarak seperti yang dikemukakan oleh Hambali *et al.* (2006) yang menyatakan bahwa pada tahun pertama pupuk yang diberikan berupa adalah urea, SP-36, dan KCl 40 g/pohon, diberikan dua kali masing-masing setengah takaran. Begitu juga dengan Mahmud *et al.* (2006) yang mengemukakan jika tanah tidak subur, tanaman dipupuk dengan pupuk kandang sebanyak 2 kg/lubang. Kebutuhan pupuk pada tahun kedua dan seterusnya adalah 2,5 sampai 5 t pupuk kandang/ha (1-2 kg/tanaman) ditambah 50 kg urea, 150 kg SP-36 dan 30 kg KCl/ha.

Acuan rekomendasi pemupukan pada tanaman jarak pagar telah diketahui. Namun, sejauh mana kemampuannya dalam penyerapan CO₂ di udara dan kemampuannya menyimpan karbon belum diketahui. Pengaturan pemupukan yang baik meliputi jenis, dosis dan cara aplikasi diharapkan dapat meningkatkan kemampuan jarak pagar dalam menyerap kebon di udara.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada bulan November 2010 – April 2011. Lokasi penelitian dilakukan di kebun percobaan jarak pagar milik PT Indocement Tunggal Prakarsa, Tbk yang telah berumur 2 tahun. Tanaman jarak pagar yang digunakan berasal dari genotipe lokal Dompur, NTT, Indonesia. Penelitian ini menggunakan Rancangan Kelompok Lengkap Teracak (RKLKLT) satu faktor. Perlakuan yang digunakan terdiri dari 13 taraf dengan tiga ulangan. Dosis pupuk 100% dan 50% pada masing-masing perlakuan terdiri dari : kompos 2 kg/pohon, urea 80 g/pohon, dan *urea slow release* 80 g/pohon yang diberikan dengan dua cara yaitu ditebar disekitar tanaman dan dibenamkan disekitar tanaman sedalam 5-10 cm dari luar permukaan tanah. Penggunaan dosis urea tersebut berdasarkan penelitian Romli *et al.* (2006), sedangkan pemakaian dosis kompos didasarkan pada dosis penggunaan pupuk kandang berdasarkan budidaya jarak pagar PT Indocement.

Sebelum dilakukan pemupukan, lahan dibersihkan terlebih dahulu. Kemudian dibuat petak perlakuan. Jarak pagar yang digunakan berumur 2 tahun yang telah ditanam di kebun Indocement dengan jarak tanam 2 x 2.5 m. Pemilihan pohon jarak pagar berdasarkan keseragaman dilihat dari pertumbuhan vegetatif. Caranya dengan memangkas pohon jarak pagar pada ketinggian yang sama yaitu 50 cm dan menyisahkan cabang dengan jumlah yang sama.

Analisis yang dilakukan adalah analisis kandungan hara C dan N tanah serta pengukuran daya serap CO₂ tanaman jarak pagar dan karbon stock di sekitar tanaman jarak pagar. Analisis hara C dan N dilakukan di laboratorium kesuburan tanah, IPB. Analisis C dilakukan dengan metode Walkley and Black (Greweling and Peech 1960). Analisis N dilakukan dengan metode Kjeldahl (Bremner 1960).

Analisis kadar N dan C dilakukan pada akhir periode perlakuan (5 bulan) pada 6 kedalaman (0-10 hingga 50-60 cm) pada tiga perlakuan yaitu KO (kontrol), SB1 (*Slow release* benam 100%), BB1 (bungkil benam 100%) dan UB1 (Urea benam 100%).

Pengukuran kapasitas penyerapan CO₂ dihitung dari laju fotosintesis tanaman persatuan luas persatuan waktu yang dikalikan dengan waktu dan luas daun tanaman jarak sesuai dengan periode pertumbuhannya. Laju fotosintesis tanaman jarak dihitung berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Raden (2009) yang dilakukan selama 14 minggu umur daun. Pengukuran waktu fotosintesis dilakukan selama 12 jam atau 43.200 detik/hari.

Pengukuran karbon stok dilakukan dengan mengukur C organik tanaman. C organik diukur dengan metode pengabuan kering (Allison *et al.*, 1965). Pengukuran daya serap karbon dilakukan pada seluruh bagian tanaman (akar, tangkai, daun dan batang). Kemudian pengukuran kandungan karbon untuk tiap organ pohon dapat dihitung dengan persamaan:

$$Y = W * 0.5 \text{ (Brown and Gaston, 1996).}$$

Keterangan:

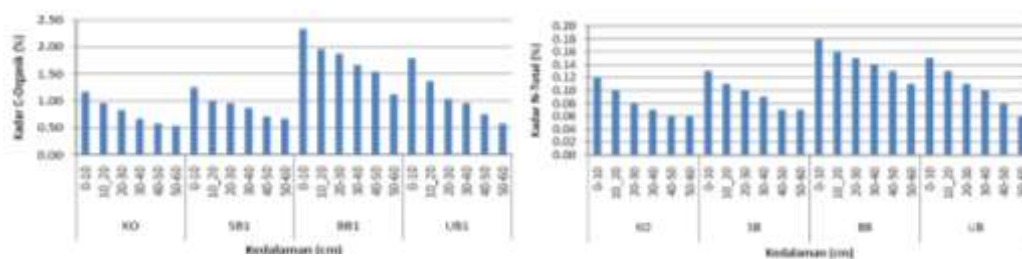
Y : Kandungan karbon diatas permukaan tanah (ton/ha)

W : Total biomassa per hektar (ton/ha)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar Karbon dan Nitrogen Total Tanah

Kadar karbon dan nitrogen tanah sebelum diberikan perlakuan pemupukan menunjukkan nilai C organik sebesar 0.92% dan N total sebesar 0.08%. Lima bulan setelah aplikasi pemupukan menunjukkan nilai C organik meningkat menjadi 2,33% pada pemupukan menggunakan bungkil jarak, begitu pula nilai N total tanah terjadi peningkatan menjadi 0.18% pada pemupukan dengan bungkil jarak pagar. Hasil ini menunjukkan pemupukan menggunakan bungkil jarak lebih baik dari pada pupuk urea (C organik 1.79% dan N organik 0.15%) dan slow release urea (C organik 1.25% dan N organik 0.13%) dalam hal perbaikan struktur tanah.



A.

B.

Gambar 1. A) Kadar karbon organik pada perlakuan pemupukan B) Kadar nitrogen total pada perlakuan pemupukan (KO = Kontrol, SB1 = Slow Release 100%, BB1= Bungkil Benam100%, dan UB = Urea Benam 100%).

Produksi Tanaman

Hasil analisis menunjukkan bahwa hasil jumlah buah terbanyak dihasilkan dari perlakuan pupuk urea tebar dosis penuh (UT1) sebanyak 28.56 buah. Bila pada populasi 2500 per ha, hasil ini lebih tinggi dari penelitian yang dilakukan Romli *et al.* (2006) yang pada dosis yang sama yang hanya menghasilkan jumlah buah 22.95 buah.

Peubah bobot buah, jumlah biji, bobot biji basah dan bobot biji kering dipengaruhi oleh perlakuan pemupukan. Bobot biji kering tertinggi selama 5 bulan yang dapat dihasilkan pada luasan 1 hektar, dihasilkan oleh perlakuan urea tebar dosis penuh (UT1) sebanyak 70.64 kg.

Tabel 1. Jumlah buah, bobot buah, jumlah biji dan bobot biji basah pada berbagai perlakuan pupuk selama 5 bulan.

Perlakuan	Jumlah buah**	Bobot buah* (g)	Jumlah biji* Per tanaman	Bobot biji Basah (g)	Bobot biji kering per ha (populasi 2500) (kg)
UT0.5	2.33 e	10.60 c	6.67 d	5.17 d	6.46 d
UT1	28.56 a	147.01 a	75.00 a	56.51 a	70.64 a
UB0.5	6.00 b-e	14.57 c	19.86 b-d	11.90 b-d	14.88 b-d
UB1	17.43 a-c	70.00 a-c	34.14 a-d	38.16 ab	47.70 ab
BT0.5	3.83 de	29.98 bc	9.42 cd	8.13 d	10.16 d
BT1	18.76 ab	88.99 ab	47.39 ab	33.40 ab	41.75 ab
BB0.5	9.18 a-e	53.67 a-c	24.52 b-d	19.07 abc	23.84 a-c
BB1	15.30 a-d	67.78 a-c	40.07 a-c	28.93 a-c	36.16 a-c
ST0.5	15.06 a-e	84.27 ab	39.61 a-d	31.13 a-c	38.91 a-c
ST1	13.33 a-e	54.59 a-c	33.33 a-d	23.80 a-c	29.75 a-c
SB0.5	3.50 c-e	20.80 bc	11.29 b-d	9.50 cd	11.88 cd
SB1	7.83 b-e	41.83 bc	20.00 b-d	16.72 b-d	20.90 b-d
K0	4.17 c-e	29.97 bc	11.00 b-d	11.07 b-d	13.84 b-d

Ket.: UT:Urea Tebar UB:Urea Benam BT:Bungkil Tebar
 BB:Bungkil Benam ST:Slow Release Urea Tebar SB:Slow Release Urea Benam
 KO:Kontrol 1/0.5: Dosis pupuk penuh/setengah dosis
 Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama, berbeda nyata pada uji DMRT 5 %

Kapasitas Penyerapan CO₂

Kapasitas penyerapan CO₂ dapat dihitung dari laju fotosintesis tanaman persatuan luas persatuan waktu yang dikalikan dengan waktu dan luas daun tanaman jarak sesuai dengan periode pertumbuhannya. Laju fotosintesis tanaman jarak dihitung berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Raden (2009) yang dilakukan selama 14 minggu umur daun dengan nilai rata-rata laju fotosintesis sebesar 5.39145 $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$.

Pemupukan berpengaruh secara nyata terhadap kapasitas penyerapan CO₂ tanaman jarak pagar pada umur 7 dan 9 MST sesuai dengan perkembangan jumlah daun. Kapasitas penyerapan CO₂ tertinggi pada umur 7 MST tercapai pada perlakuan Urea Tebar 50% yang mencapai 0.04 ton CO₂/ha/hari. Perlakuan Urea Tebar 50% juga memberikan hasil terbaik pada umur 9 MST yang mencapai 0.049 ton CO₂/ha/hari. Hasil analisis menunjukkan bahwa kemampuan penyerapan CO₂ tertinggi pada umur tanaman 5 bulan terdapat pada perlakuan Bungkil Benam 100% yang mencapai 0.118 ton CO₂/ha/hari.

Tanaman memiliki kemampuan dalam mengambil CO₂ dari udara. Hal ini dapat diamati dari kapasitas fotosintesisnya. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pemupukan berpengaruh sangat nyata terhadap peningkatan jumlah daun tanaman jarak. Hal ini kemungkinan dikarenakan peningkatan kemampuan tanaman dalam mempertahankan kondisi yang optimum untuk menjalankan fotosintesis. Pupuk N merupakan salah satu unsur yang mempengaruhi klorofil daun yang berperan besar pada proses fotosintesis. Laju fotosintesis tanaman jarak termasuk rendah bila dibandingkan tanaman kedelai. Laju fotosintesis tanaman jarak yang diukur oleh Raden (2009) sebesar 5.39145 $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ lebih rendah dibandingkan dengan tanaman kedelai yang memiliki laju fotosintesis sebesar 20.67 – 25.36 $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ (Muhuria 2007).

Kemampuan serapan CO₂ pada tanaman jarak tergolong tinggi bila dibandingkan dengan tanaman tahunan lainnya. Tanaman jarak pagar yang digunakan pada penelitian ini ditanam di lahan kapur yang tergolong lahan-lahan marginal. Walaupun ditanam di lahan marginal, kemampuan serapan CO₂ dapat mencapai 32.75 ton CO₂/ha/tahun. Tanaman hutan seperti *Agathis dammara*

memiliki kapasitas serapan CO₂ sebesar 6.944 ton/ha/tahun, *Tectona grandis* (tanaman jati) sebesar 57.5 ton/ha/tahun, *Acacia mangium* sebesar 251.388 ton/ha/tahun dan *Acacia auriculiformis* sebesar 20.686 ton CO₂/ha/tahun (Ardiansyah 2009). Tanaman *E.grandis* memiliki kapasitas serapan sebesar 31.948 ton CO₂/ha/tahun (Retnowati 1998), tanaman meranti (*Shorea* sp.) sebesar 18.640 ton CO₂/ha/tahun (Heriansyah dan Mindawati 2005).

Tabel2. Kemampuan tanaman jarak pagar menyerap CO₂ pada berbagai jenis pemupukan berdasarkan perhitungan laju fotosintesis.

Perlakuan	Kemampuan menyerap CO ₂ (ton/ha/hari)				
	7 MSP	9 MSP	20 MSP		
Slow release tebar 50%	0.032	bc	0.037	b-d	0.110
Slow release benam 50%	0.017	e	0.021	f	0.079
Urea tebar 50%	0.040	a	0.049	a	0.101
Urea benam 50%	0.025	d	0.030	de	0.069
Bungkil tebar 50%	0.024	d	0.029	ef	0.078
Bungkil benam 50%	0.034	b	0.042	a-c	0.097
Kontrol	0.036	ab	0.043	a-c	0.083
Slow release tebar 100%	0.027	cd	0.031	de	0.099
Slow release benam 100%	0.029	cd	0.036	c-e	0.065
Urea tebar 100%	0.036	ab	0.045	ab	0.104
Urea benam 100%	0.029	cd	0.036	c-e	0.086
Bungkil tebar 100%	0.032	bc	0.038	b-d	0.079
Bungkil benam 100%	0.026	d	0.031	de	0.118
Rata-rata	0.030		0.036		0.090

Ket: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama, berbeda nyata pada uji DMRT %

Simpanan Karbon

Simpanan Karbon dari Tanaman

Tanaman memiliki kemampuan dalam menyerap karbon di udara (*carbon sequestration*) dalam proses fotosintesisnya. Kemampuan tanaman dalam mengakumulasi karbon ditentukan oleh jenis tanaman. Hasil analisis karbon pada tanaman jarak pagar menunjukkan bahwa kadar karbon organik (*C-organic*) tanaman pada berbagai bagian tanaman menunjukkan kandungan karbon tanaman tertinggi terdapat pada biji kering jarak pagar (55.32%), sedangkan kadar karbon terendah terdapat pada kulit buah jarak pagar (44.86%). Kadar karbon pada batang jarak pagar juga hampir sama dengan biji jarak (54.2%).

Tabel 3. Kadar karbon organik pada tanaman pada jarak pagar menurut bagian tanaman.

Bagian tanaman	Kadar karbon organik (%)
Batang primer	55.01
Batang sekunder	54.38
Batang tersier	53.20
Daun	50.35
Tangkai daun	49.95
Akar primer	51.56
Akar sekunder	52.53
Akar tersier	50.86
Kulit buah	44.86
Biji	55.32

Hasil perhitungan biomasa tanaman jarak pagar menunjukkan bahwa, selama 5 bulan setelah dipangkas, tanaman jarak pagar rata-rata menghasilkan biomasa sebesar 71.31 kg. perlakuan pemupukan mampu memberikan peningkatkan biomasa tanaman daripada kontrol. Perlakuan urea tebar 100% mampu menghasilkan biomasa terbesar, yaitu 175.93%, yang diikuti oleh bungkil tebar 100% sebesar 112.73 kg, sedangkan pupuk urea slow release hanya menghasilkan biomasa tertinggi sebesar 97.37 kg. Apabila penggunaan pupuk urea tebar 100 % ini diaplikasikan pada populasi 1 hektar (2,500 tanaman/ha), dengan asumsi peningkatan biomasa yang konstan dalam rentang waktu yang sama, maka akumulasi biomasa mencapai 1.055, 6 ton.

Dari hasil konversi biomasa kedalam kandungan karbon yang terbentuk, menunjukkan bahwa pemupukan mampu meningkatkan kandungan karbon tanaman. Pemupukan urea tebar 100% mampu menghasilkan kandungan karbon sebesar 93.07 kg per tanaman selama 5 bulan setelah dipangkas, sedangkan pupuk bungkil tebar 100% menghasilkan kandungan karbon sebesar 59,64 kg C. sedangkan urea tebar 50% hanya menghasilkan simpanan karbon sebesar 11,37 kg C. Apabila penggunaan pupuk urea tebar 100 % ini diaplikasikan pada populasi 1 hektar (2500 tanaman/ha), dengan asumsi peningkatan biomasa yang konstan dalam rentang waktu yang sama, maka akumulasi biomasa mencapai 558.42 ton C/ha/tahun.

Tabel 4. Pengaruh Pemupukan Terhadap Biomasa Tanaman yang Terbentuk Selama 5 Bulan

Perlakuan	Batang (g)	Daun (g)	Tangkai daun (g)	Akar (g)	Bobot kering per tanaman (g)	Bobot kulit buah (g)	Total biomasa per tanaman (kg)	Total biomasa per tanaman (1 tahun, kg)	Total biomasa per ha (1 tahun, kg)
Urea tebar 50%	4128.29	902.68 ab	274.12 a-d	1,016.60	11,672.50	3,501.75	21.50	51.59	128,975.68
Urea tebar 100%	3174.34	929.79 ab	282.33 a-c	921.83	131,250.00	39,375.00	175.93	422.24	1,055,599.78
Urea benam 50%	4650.38	612.71 bc	186.04 cd	904.79	34,755.00	10,426.50	51.54	123.68	309,212.49
Urea benam 100%	6051.69	766.93 a-c	232.88 a-d	1,159.34	59,745.00	17,923.50	85.88	206.11	515,276.09
Bungkil tebar 50%	4367.48	691.51 a-c	209.96 b-d	918.78	16,485.00	4,945.50	27.62	66.28	165,709.38
Bungkil tebar 100%	3203.48	706.55 a-c	214.56 a-d	792.45	82,932.50	24,879.75	112.73	270.55	676,375.77
Bungkil benam 50%	3475.56	860.63 ab	261.36 a-d	915.73	42,910.00	12,873.00	61.30	147.11	367,777.69
Bungkil benam 100%	6148.97	1048.91 a	318.52 a	1,338.34	70,122.50	21,036.75	100.01	240.03	600,083.87
Slow release tebar 50%	4828.01	982.18 ab	298.25 ab	1,145.16	69,317.50	20,795.25	97.37	233.68	584,198.04
Slow release tebar 100%	4234.49	890.37 ab	267.27 a-d	993.90	58,327.50	17,498.25	82.21	197.31	493,270.66
Slow release benam 50%	3112.31	703.97 a-c	213.76 a-d	780.30	19,757.50	5,927.25	30.50	73.19	182,970.59
Slow release benam 100%	3083.18	575.87 bc	174.88 d	700.77	35,000.00	10,500.00	50.03	120.08	300,208.17
Kontrol	3855.26	425.47 c	193.04 b-d	973.52	19,250.00	5,775.00	30.47	73.13	182,833.81
Rata-rata	4177.96	776.74	240.54	966.27	50,117.31	15,035.19	71.31	171.15	427,884.00

Ket: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama, berbeda nyata pada uji DMRT 1%

Tabel 5. Pengaruh Jenis Pupuk Terhadap Simpanan Karbon Tanaman

Perlakuan	Batang (g)	Daun (g)	Tangkai daun (g)	Akar (g)	Biji (g)	Kulit buah (g)	Total per tanaman 5 bulan (kg)	Total Per tanaman 1 tahun (kg)	Total per ha 1 tahun (kg)
Urea tebar 50%	2,229.28	454.50	136.92	525.07	6,457.23	1,570.89	11.37	27.30	68,243.33
Urea tebar 100%	1,714.14	468.15	141.02	476.13	72,607.50	17,663.63	93.07	223.37	558,423.42
Urea benam 50%	2,511.20	308.50	92.92	467.33	19,226.47	4,677.33	27.28	65.48	163,702.48
Urea benam 100%	3,267.91	386.15	116.33	598.80	33,050.93	8,040.48	45.46	109.11	272,763.63
Bungkil tebar 50%	2,358.44	348.17	104.88	474.55	9,119.50	2,218.55	14.62	35.10	87,744.56
Bungkil tebar 100%	1,729.88	355.75	107.18	409.30	45,878.26	11,161.06	59.64	143.14	357,848.50
Bungkil benam 50%	1,876.80	433.33	130.55	472.98	23,737.81	5,774.83	32.43	77.82	194,557.77
Bungkil benam 100%	3,320.44	528.13	159.10	691.25	38,791.77	9,437.09	52.93	127.03	317,566.62
Slow release tebar 50%	2,607.12	494.53	148.97	591.48	38,346.44	9,328.75	51.52	123.64	309,103.73
Slow release tebar 100%	2,286.63	448.30	133.50	513.35	32,266.77	7,849.71	43.50	104.40	260,989.58
Slow release benam 50%	1,680.65	354.45	106.78	403.02	10,929.85	2,658.96	16.13	38.72	96,802.27
Slow release benam 100%	1,664.92	289.95	87.35	361.95	19,362.00	4,710.30	26.48	63.54	158,858.79
Kontrol	2,081.84	214.23	96.42	502.83	10,649.10	2,590.67	16.14	38.72	96,810.49
Rata-rata	2,256.10	391.09	120.15	499.08	27,724.89	6,744.79	37.74	90.57	226,416.55

Simpanan Karbon dari Serasah

Simpanan karbon di lahan juga ditentukan oleh karbon yang tersimpan pada serasah di atas permukaan tanah. Hasil analisis kadar C-organik serasah menunjukkan bahwa kadar bahan organik serasah di permukaan tanah adalah 55.96% dengan kadar N sebesar 0.87 %. Berdasarkan data C-organik ini, dapat diketahui bahwa serapan C dari serasah per hektar mencapai 872.98 kg/ha/5 bulan atau 2.095 ton/ha/tahun.



Gambar 2. Kondisi serasah di bawah tegakan jarak pagar di lahan percobaan.

KESIMPULAN

Penggunaan pupuk dalam budidaya jarak pagar mampu menghasilkan pertumbuhan dan produksi tanaman lebih baik serta memperbaiki unsure hara tanah dari pada tanpa pupuk. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa:

1. Pemupukan menggunakan bungkil jarak lebih baik (C organik 2.33% dan N Organik 0.18%) dari pada pupuk urea (C organik 1.79% dan N organik 0.15%) dan slow release urea (C organik 1.25% dan N organik 0.13%) dalam hal perbaikan struktur tanah.
2. Pupuk berpengaruh nyata terhadap produksi tanaman. perlakuan urea benam 100 % (80 g/pohon) menghasilkan produksi buah tertinggi dari pada pola pemupukan yang lain
3. Pemupukan berpengaruh secara nyata terhadap kapasitas penyerapan CO₂ tanaman jarak pagar. Penyerapan CO₂ tertinggi pada umur tanaman 5 bulan terdapat pada perlakuan Bungkil Benam 100% yang mencapai 0.118 ton CO₂/ha/hari atau 32.75 ton CO₂/ha/tahun.

4. Hasil analisis karbon pada tanaman jarak pagar menunjukkan bahwa kadar karbon organik (*C-organic*) tanaman pada berbagai bagian tanaman menunjukkan kandungan karbon tanaman tertinggi terdapat pada biji kering jarak pagar (55.32%), sedangkan kadar karbon terendah terdapat pada kulit buah jarak pagar (44.86%). Kadar karbon pada batang jarak pagar juga hampir sama dengan biji jarak (54.2%).
5. Selama 5 bulan setelah dipangkas, tanaman jarak pagar rata-rata menghasilkan biomasa sebesar 71.31 Kg. perlakuan pemupukan mampu memberikan peningkatan biomasa tanaman daripada kontrol. Perlakuan Urea tebar 100% akan mampu menghasilkan biomasa tanaman sebesar 1.055, 6 ton.
6. Pemupukan urea tebar 100% mampu menghasilkan kandungan karbon sebesar 93.07 kg per tanaman selama 5 bulan setelah dipangkas dan akan mencapai 558.42 ton C/ha/tahun.
7. Serapan C dari serasah di bawah pohon jarak pagar per hektar mencapai 2.095 ton/ha/tahun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Indocemen Tunggal Prakarsa Tbk sebagai penyedia lokasi penelitian. Penelitian ini dibiayai oleh CRIEPI Japan, dan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Indonesia melalui hibah Penelitian Kerjasama Luar Negeri dan Publikasi Internasional tahun 2010-2011.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiansyah. 2009. Daya Rosot Karbondioksida Oleh Beberapa Jenis Tanaman Hutan Kota di Kampus IPB Darmaga. *skripsi*. Bogor:Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor.
- Bremner JM, Keeney DR. 1965. Stream distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. *Anal. Chim. Acta* 32: 485-495.
- Brown S, Gaston G. 1996. Estimates of biomass density for tropical forests. *World Resources Rev.* 4 (3): 366-383.
- Greweling T, Peech M. 1960. Chemical soil test. *Cornell Univ. Agric. Exp. Stn. Bull* no. 960.

- Heriansyah I, Muhuria N. 2005. Potensi Hutan Tanaman Marga *Shorea* dalam Menjerap CO₂ Melalui Pendugaan Biomassa di Hutan Penelitian Haurbentes. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* 2 (2): 105-111. Pusat Penelitian Hutan dan Konservasi Alam. Bogor.
- Muhuria L. 2007. Mekanisme fisiologi dan pewarisan sifat toleransi kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) terhadap intensitas cahaya rendah. *Disertasi*. Sekolah Pascasarjana IPB. Bogor. 163 hal.
- Raden I. 2009. Hubungan arsitektur tajuk dengan fotosintesis, produksi dan kandungan minyak jarak pagar (*Jatropha curcas* L.). *Disertasi*. Sekolah Pascasarjana IPB. Bogor.
- Retnowati, E. 1998. Kontribusi Hutan Tanaman *Eucalyptus grandis* Maiden Sebagai Rosot Karbon di Tapanuli Utara. *Buletin Penelitian Hutan* 611:1- 9. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan dan Konservasi Alam. Bogor.

PENGEMBANGAN FOTOBIOREAKTOR ISACS UNTUK KULTIVASI MIKROALGA DENGAN MENGGUNAKAN GAS CO₂ MURNI DAN PEMISKINAN NUTRIEN

(ISACS Photobioreactor Development for Microalgae Cultivation Using Pure CO₂ Gas and Nutrient Deprivation)

Mujizat Kawaroe¹⁾, Ayi Rachmat²⁾, Abdul Haris³⁾

¹⁾Pusat Penelitian Surfaktan dan Bioenergi, LPPM IPB

²⁾Dep. Ilmu Kelautan dan Teknologi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB

³⁾Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi, Lemigas

ABSTRAK

Mikroalga laut, merupakan salah satu alternatif sumber energi baru yang sangat potensial. Sebagai produsen primer, mikroalga laut hidup dalam air yang aksesnya terhadap H₂O, CO₂, dan nutrisi lebih efektif sehingga mampu menghasilkan minyak 30 kali lebih banyak dibandingkan tumbuhan darat penghasil biofuel. Penelitian ini bertujuan mengkaji peningkatan produktivitas mikroalga spesies tertentu dengan pemanfaatan fotobioreaktor untuk kultivasi skala semi missal di luar ruangan dengan optimasi kadar nutrisi, CO₂, dan pencahayaan. Dari hasil percobaan, mikroalga yang dikultur dengan perlakuan nutrisi tanpa komponen N dan P sekaligus memiliki kepadatan sel yang paling rendah diantara perlakuan pemiskinan nutrisi yang lain. Untuk perlakuan beda laju alir gas CO₂, mikroalga yang dikultur pada laju alir gas CO₂ 1,5 cc/menit memiliki angka kepadatan sel lebih tinggi dibandingkan pada laju alir gas CO₂ 1 cc/menit. Hasil analisis kandungan asam lemak pada mikroalga setelah dikultur menggunakan gas CO₂ memiliki persentase yang lebih tinggi dibandingkan dengan kultur mikroalga biasa. Namun tidak demikian dengan kandungan protein dan karbohidrat mikroalga setelah dikultur dengan menggunakan gas CO₂. Hal ini diduga disebabkan oleh kurangnya masukan gas CO₂ yang belum diserap secara maksimal oleh mikroalga.

Kata kunci: Mikroalga laut, biofuel, fotobioreaktor, karbondioksida.

ABSTRACT

Marine microalgae, is one of the new alternative energy source with huge potential. As primary producers, marine microalgae living in water which has access to H₂O, CO₂ and nutrients more effectively so as to produce 30 times more oil than land plants producing biofuels. This study aims to assess the increase in productivity of certain species of microalgae using semi-scale photobioreactor for mass outdoors cultivation with optimization levels of nutrients, CO₂, and lighting. From the experimental results, microalgae are cultured with nutrient treatment without N and P components as well as having the lowest density of cells among the other treatment of nutrient deprivation. For different treatment flow rate of CO₂ gas, microalgae in CO₂ gas flow rate 1.5 cc / min had higher rates of cell density compared to the CO₂ gas flow rate of 1 cc / min. The results of the analysis of fatty acid content in the cultivated microalgae using CO₂ gas has a higher percentage than usual microalgae cultivation. But not for the content of protein and carbohydrate in microalgae cultivated using CO₂ gas. This is thought to be caused by a lack of input of CO₂ gas that has not been absorbed maximally by microalgae.

Keywords: Marine microalgae, biofuels, photobioreactor, carbon dioxide.

PENDAHULUAN

Kelangkaan bahan bakar minyak yang terjadi belakangan ini telah memberikan dampak yang sangat luas di berbagai sektor kehidupan. Sektor yang paling cepat terkena dampaknya adalah sektor transportasi. Fluktuasi suplai dan harga minyak bumi seharusnya membuat kita sadar bahwa jumlah cadangan minyak yang ada di bumi semakin menipis. Karena minyak bumi adalah bahan bakar yang tidak bisa diperbarui maka kita harus mulai memikirkan bahan pengantinya. Sebenarnya di Indonesia terdapat berbagai sumber energi terbarukan yang melimpah, seperti biodiesel dari tanaman jarak pagar, kelapa sawit maupun kedelai. Kemudian efek gas rumah kaca yang ditimbulkan oleh gas CO₂ hasil pembakaran minyak bumi. Seperti kita ketahui pembakaran bahan bakar fosil yang tidak sempurna akan menghasilkan gas CO₂, yang lama kelamaan akan menumpuk di atmosfer.

Bahan baku yang dilakukan riset dan pengembangan dalam penelitian ini adalah mikroalga. Mikroalga sebagai salah satu organisme laut yang berukuran sangat kecil memiliki potensi sebagai bahan baku penghasil bahan bakar nabati. Kegiatan penelitian ini termasuk dalam mengembangkan hasil riset dalam bidang bahan bakar alternatif terutama bahan bakar nabati (BBN) serta mendukung program pemerintah dalam meningkatkan produksi bahan bakar nabati. Tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan efisiensi produksi biofuel berbahan baku mikroalga dengan membuat rancang bangun fotobioreaktor ISACS (*Integrated System for Algae Cultivations*) dalam pengandaan skala kultivasi spesies mikroalga potensial dengan optimasi kadar nutrisi, CO₂, dan pencahayaan.

METODE PENELITIAN

Desain dan Rancang Bangun Fotobioreaktor

Rancang bangun fotobioreaktor ISACS dijabarkan ke dalam beberapa langkah di bawah ini:

- Pembuatan pertama adalah menggabungkan antara akrilik tabung dengan flang ukuran 4” menggunakan resin. Total akrilik yang digunakan adalah 4 buah dan

flang 16 buah. 8 flang digunakan untuk akrilik dan 8 yang lain digunakan untuk knee.

- Setelah akrilik tabung dan flang menjadi satu kemudian penggabungan antara knee 4” dengan flang 4” menggunakan lem paralon. Pelekatan antara akrilik flang dengan knee flang yang lain menggunakan mur dan baut anti karat yang diantara flang tersebut dikasih oring (karet) supaya tidak bocor.
- Perakitan knee, paralon, valve dan box (digunakan utk tempat pompa) dengan menggunakan lem paralon. Box yang akan digunakan dibolongin dahulu supaya paralon dapat masuk ke dalam box. Perekatan antara box dengan paralon menggunakan resin dan serat fiber supaya daya rekatnya lebih kuat dan tahan bocor. Pompa yang ada di dalam box direkatkan sekuat mungkin agar tidak goyang dan jatuh. Membuat saluran keluar dan masuk dari bak penampungan air/*torn* ke fotobioreaktor ataupun sebaliknya.
- Bak penampungan/*torn* yang digunakan mempunyai daya tampung 250 ltr.
- Pembuatan dudukan untuk fotobioreaktor dengan model seperti ranjang.
- Setelah perekatan selesai kemudian dirakit dan di uji coba.

Kultivasi mikroalga skala luar ruangan dengan menggunakan fotobioreaktor ISACS

Kultivasi yang dilakukan di fotobioreaktor ISACS dengan memasukkan bibit *Scenedesmus* sp. sebanyak 1/3 bagian. Kultivasi berlangsung selama 7 hari dan dilakukan pengukuran kepadatan setiap hari. Media yang digunakan adalah media *Guillard* dan *Conway*. Kultivasi pada reaktor ISACS merupakan kultivasi mikroalga skala 200 liter yang dilakukan pada ruang tertutup dengan kondisi yang terkontrol. Selama dilakukan kultivasi, kepadatan mikroalga diukur setiap hari untuk dilihat laju pertumbuhannya dengan menggunakan mikroskop dan *Haemocytometer*. Sejalan dengan pengukuran kepadatan dilakukan juga pengukuran kualitas air untuk parameter suhu, pH dan cahaya.

Kultivasi mikroalga dengan perlakuan pemiskinan nutrien

Kultivasi dilakukan selama 8 hari dengan perlakuan pada media nutrient diantaranya kontrol, tanpa komponen N, tanpa komponen P, tanpa komponen N dan P (hanya trace elements). Setiap perlakuan dilakukan 3 kali ulangan. Media

yang digunakan untuk percobaan ini adalah media Guillard. Komponen media Guillard bisa dilihat pada lampiran 3. Selama dilakukan kultivasi, kepadatan mikroalga diukur setiap hari untuk dilihat laju pertumbuhannya dengan menggunakan mikroskop dan Haemocytometer.

Kultivasi mikroalga dengan perlakuan perbedaan laju alir gas CO₂

Kultivasi dilakukan selama 7 hari menggunakan mixing chamber dengan perlakuan perbedaan laju alir gas karbondioksida yakni 1 cc/menit dan 1,5 cc/menit. Setiap perlakuan dilakukan 3 kali ulangan. Setiap harinya diukur beberapa parameter seperti suhu, salinitas dan pH. Pengukuran pH dilakukan 1 kali dalam satu hari yaitu sesudah karbondioksida dimasukkan, untuk pengukuran suhu dapat dilihat pada pH meter ketika mengukur pH. Pengukuran pH menggunakan pH meter dan parameter suhu diukur dengan menggunakan termometer. Gas CO₂ yang masuk diukur dengan menggunakan flowmeter. Banyaknya masukan gas CO₂ sebanyak 1 cc/menit dan 1,5 cc/menit selama 5 jam setiap hari. Selama dilakukan kultivasi, kepadatan mikroalga diukur setiap hari untuk dilihat laju pertumbuhannya dengan menggunakan mikroskop dan Haemocytometer.

Analisis kepadatan sel mikroalga

Penghitungan kepadatan sel mikroalga dengan menggunakan haemocytometer. Sebelum digunakan, Haemocytometer dibersihkan dengan menggunakan alkohol 70% dan keringkan dengan tisu. Jumlah sel mikroalga diamati setiap hari dengan 3 kali ulangan menggunakan Haemocytometer pada mikroskop dengan perbesaran 100 atau 400 kali di 5 lapang pandang pada kotak sedang dan dihitung densitasnya dengan rumus (Schoen, 1988):

$$N = (n/4) \times 10^6$$

Keterangan: N = Kepadatan mikroalga (ind/mL)
n = Jumlah mikroalga yang diamati

Analisis laju pertumbuhan spesifik mikroalga

Laju pertumbuhan spesifik mikroalga (μ) dihitung dengan rumus Krichnavaruk *et al.*, (2004):

$$\mu = \frac{\ln N_t - \ln N_o}{T_t - T_o}$$

Keterangan:

N_{tB} = Kepadatan mikroalga pada waktu t

N_{0B} = Kepadatan mikroalga awal

T_0 = Waktu awal

T_t = Waktu pengamatan

Pemanenan mikroalga

Pemanenan dilakukan dengan cara flokulasi menggunakan tawas dengan konsentrasi 120 ppm. Setelah terjadi pengendapan dilakukan proses filtrasi atau penyaringan menggunakan kain satin selama beberapa jam. Setelah semuanya tertampung dalam kain satin, hasil panen dapat dikeringkan menggunakan sinar matahari atau oven jika cuaca tidak cukup panas. Hasilnya yang berupa bubuk, selanjutnya akan dianalisis lebih lanjut meliputi penimbangan biomassa mikroalga.

Ekstraksi mikroalga

Ekstraksi yang akan menghasilkan minyak dari mikroalga dilakukan dengan menggunakan larutan kimia *heksan* (Bligh and Dyer, 1959). Larutan *heksan* dapat digunakan langsung untuk mengekstraksi minyak atau dikombinasikan dengan alat pengepres. Cara kerjanya adalah: bubuk kering mikroalga hasil panen dimasukkan ke dalam kertas saring yang telah dibentuk seperti tabung soklet dengan kapas diletakkan di bagian atas dan bawah. Lalu kertas saring berisi bubuk kering mikroalga dimasukkan ke dalam tabung soklet dan dilarutkan dengan pelarut heksan sampai warna asli mikroalga memudar. Setelah itu heksan diuapkan sampai yang tersisa hanya *crude oil* mikroalga. Proses ini dijalankan selama minimal 5-6 jam untuk memperoleh hasil yang maksimal dari mikroalga. Ekstraksi ini dilakukan untuk memperoleh minyak mikroalga dan dianalisa untuk mengetahui kandungan senyawa kimia hidrokarbon dan lipid dalam mikroalga yang telah dikultur. Kandungan minyak mikroalga tersebut diidentifikasi dengan cara diinjeksikan ke dalam alat Kromatografi Gas dengan detektor Spektrofotometer Massa. Hasilnya berupa kromatogram yang dapat dianalisa kadar per senyawa yang dideteksi.

Uji kandungan asam lemak mikroalga dengan GC

Ekstrak hidrokarbon dipurifikasi dengan menggunakan kolom kromatografi di dalam silica gel. Contoh hidrokarbon dianalisis terhadap kolom SPB-1 (30m x 0.32 mm ID x 0.25 μ m ketebalan film) dengan menggunakan peralatan GC dengan FID dan diidentifikasi dengan membandingkan pola fragmentasinya dengan standar (Sigma) dan juga dengan perpustakaan NIST (Dayananda *et al.*, 2005)

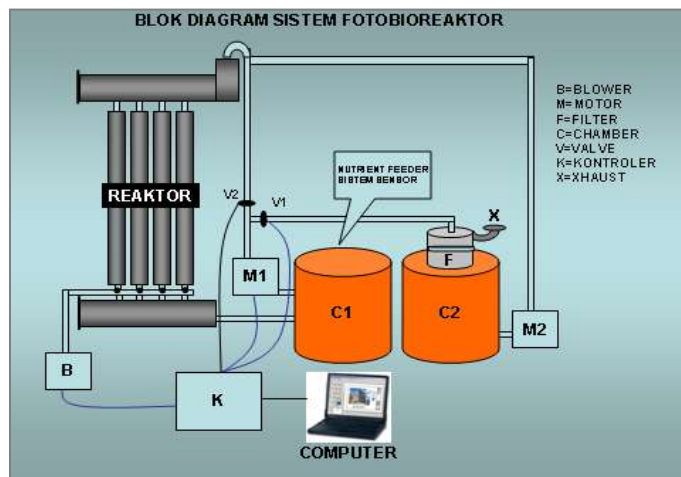
Lemak (Lipid) diekstraksi dengan menggunakan chloroform-metanol (2:1), chloroform dan 1% cairan NaCl ditambahkan untuk menyesuaikan perbandingan antara methanol, chloroform dan air menjadi 2:2:1 dan diukur secara gravimetri. Semua lapisan chloroform yang telah diambil sebanyak 3 kali dievaporasi, dikeringkan di dalam desikator, dan ditimbang beratnya sebagai lipid total. FAME dianalisis dengan peralatan GC-MS (PerkinElmer, Turbomass Gold, Mass spectrometer) dengan FID dan menggunakan kolom kapilaritas SPB-1 (poly(dimetysiloxane)) (30 m x 0.32 mm ID x 0.25 μ m ketebalan film) dengan temperatur yang telah diprogram pada 130⁰C sampai 280⁰C pada rata-rata 2⁰C/min. FAME diidentifikasi dengan membandingkan pola fragmentasi mikroalga dengan standar (Sigma) dan juga perpustakaan NIST (Dayananda *et al.* 2006). Proses ini cukup dilakukan hanya dengan bahan kimia metanol dan alat pendeteksi kandungan lemak yaitu Kromatografi Gas dengan detektor Ionisasi Flame (GC-FID).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain dan rancang bangun prototipe fotobioreaktor ISACS

Desain fotobioreaktor ISACS ini telah dikembangkan oleh tim peneliti SBRC IPB sejak tahun 2008. Pengembangan yang dilakukan pada tahun 2008 masih memiliki banyak kelemahan antara lain keberadaan area tertutup yang menghalangi masuknya cahaya matahari ke dalam sistem fotobioreaktor. Pada kegiatan penelitian tahun ke 2 ini dilakukan pengembangan fotobioreaktor ISACS (*Integrated System for Algae Cultivations*) yang lebih baik dibandingkan penelitian yang dilakukan pada tahun 2008 tersebut. Fotobioreaktor ISACS ini dikembangkan untuk bisa menerima cahaya matahari lebih banyak sehingga

diharapkan proses fotosintesis dapat berlangsung di seluruh bagian fotobioreaktor. Dan tujuan akhirnya adalah peningkatan laju pertumbuhan mikroalga. Desain fotobioreaktor dapat dilihat pada Gambar 1 dan prototipe fotobioreaktor yang dikembangkan pada tahun 2008 ditunjukkan pada Gambar 2. Prototipe fotobioreaktor ISACS ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 1. Desain fotobioreaktor ISACS.



Gambar 2. Prototipe fotobioreaktor I.



Gambar 3. Prototipe fotobioreaktor ISACS.

Pengembangan kultivasi mikroalga melalui pemanfaatan nutrisi, suhu, cahaya dan CO₂ dengan menggunakan fotobioreaktor ISACS

Pengembangan ini dilakukan dengan menggunakan system terintegrasi dengan komputer. Pada sistem ini telah terdapat sensor cahaya dan suhu dimana sensor-sensor ini berguna untuk memantau kedua parameter tersebut selama dilakukan kultivasi. Pengontrolan dilakukan secara terus menerus dengan menggunakan komputer. Untuk memudahkan interaksi antara sistem dengan *user* atau operator maka dibuat program komputer sebagai GUI (*Graphical User Interface*), seperti pada Gambar 4. Gambar 5 menampilkan fotobioreaktor ISACS lengkap dengan sensor dan aliran gas CO₂.



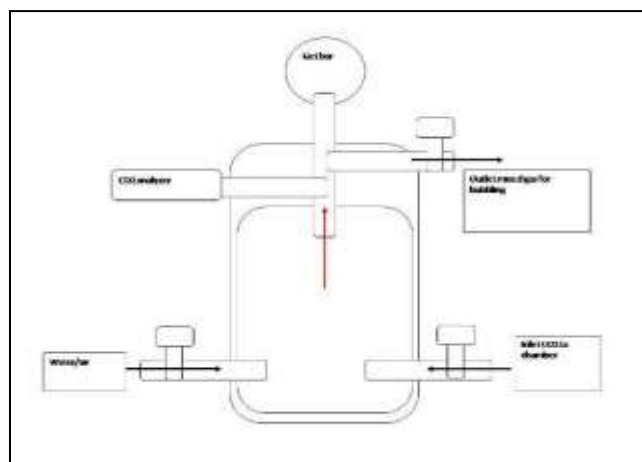
Gambar 4. GUI (Graphical User Interface).



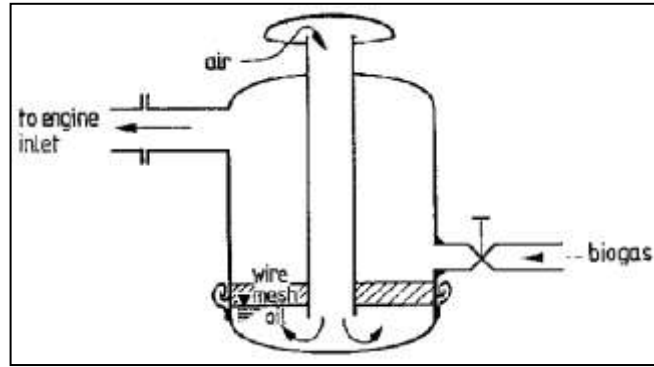
Gambar 5. Rancang bangun fotobioreaktor ISACS dilengkapi sensor dan aliran gas CO₂.

Rancang bangun *mixing chamber* untuk pemanfaatan CO₂

Mixing chamber ini dirancang untuk mendukung efektivitas injeksi gas CO₂ secara teratur untuk kultivasi mikroalga skala laboratorium. *Mixing chamber* digunakan bersamaan dengan blower udara atau aerasi sehingga proses pencampuran antara oksigen dengan karbondioksida bisa terjadi dengan baik. *Mixing chamber* dapat diisi dengan gas CO₂ yang bertekanan hingga mencapai 8 bar. *Mixing chamber* ini terdiri dari 8 pasang input dan output untuk aliran masuk dan keluar campuran antara gas CO₂ dan udara bebas. *Mixing chamber* juga dilengkapi dengan kompresor sebagai alat untuk memasukkan udara bebas ke dalamnya. Desainnya dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7. Sedangkan hasil rancang bangun prototype *mixing chamber* ditampilkan pada gambar 8 dan 9.



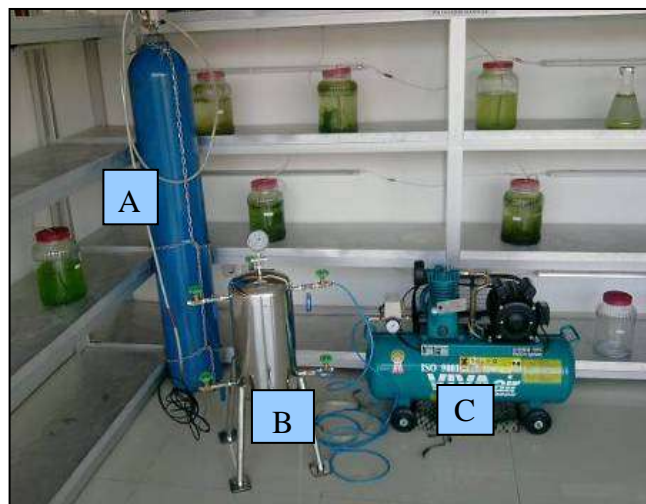
Gambar 6. Skema rancang bangun *mixing chamber* bagian luar.



Gambar 7. Skema rancang bangun *mixing chamber* bagian dalam.



Gambar 8. Rancang bangun *mixing chamber*.



Gambar 9. *Mixing chamber* beserta perlengkapannya (A: Tabung CO₂ murni; B: *Mixing chamber*; C : kompresor).

Kultivasi mikroalga *Scenedesmus vacuolatus* dengan perlakuan pemiskinan nutrien

Hasil pengamatan kultivasi mikroalga *Scenedesmus vacuolatus* dengan perlakuan pemiskinan nutrien dapat dilihat pada Tabel 1.

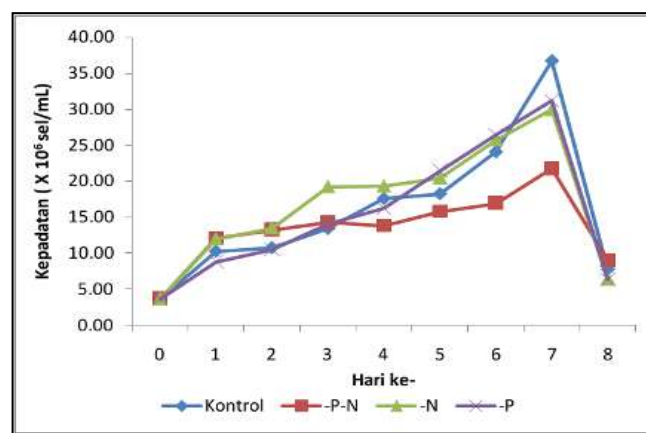
Tabel 1. Kepadatan sel *Scenedesmus vacuolatus* pada perlakuan pemiskinan nutrien.

Hari	Kontrol		-N		-P		-P-N	
	Kepadatan (x106 sel/mL)	μ (/hari)	Kepadatan (x106 sel/mL)	μ (/hari)	Kepadatan (x106 sel/mL)	μ (/hari)	Kepadatan (x106 sel/mL)	μ (/hari)
0	3.67		3.67		3.67		3.67	
1	10.25	1.0280	12.00	1.1856	8.83	0.8792	12.08	1.1925
2	10.75	0.0476	13.50	0.1178	10.50	0.1728	13.25	0.0922
3	13.42	0.2216	19.25	0.3548	14.08	0.2936	14.25	0.0728
4	17.58	0.2705	19.33	0.0043	16.25	0.1431	13.83	-0.0297
5	18.25	0.0372	20.50	0.0586	21.50	0.2800	15.75	0.1298
6	24.08	0.2774	25.75	0.2280	26.50	0.2091	16.92	0.0715
7	36.75	0.4226	30.00	0.1528	31.25	0.1649	21.75	0.2513
8	7.75	-1.5564	6.42	-1.5423	6.33	-1.5962	9.00	-0.8824
Rata-rata		0,3293		0,3003		0,3061		0,2543

Dari tabel diatas secara umum dapat dilihat bahwa pertumbuhan *Scenedesmus vacuolatus* setelah diberi perlakuan pemiskinan nutrien, terjadi peningkatan kepadatan sel dimulai dari hari ke 1 sampai hari ke 7 dan menurun saat mencapai hari ke 8. Hal ini terjadi pada setiap perlakuan baik tanpa komponen N, komponen P serta komponen N dan P. Pada kultivasi kontrol, kepadatan sel mikroalga meningkat dimulai dari hari ke 1 sampai hari ke 7. Pada perlakuan tanpa komponen N dan P, terlihat bahwa pada hari ke 4 terjadi penurunan kepadatan sel yang diikuti peningkatan kembali di hari ke 5 sampai hari ke 7. Gambar 10 menunjukkan grafik hasil kultivasi *Scenedesmus vacuolatus* dengan perlakuan pemiskinan nutrien.

Jika dilihat pada Gambar 10, maka grafik yang paling stabil dan terus meningkat adalah kultivasi *Scenedesmus vacuolatus* sebagai kontrol. Untuk perlakuan nutrien, diantara tiga perlakuan yang paling stabil adalah tanpa komponen P (fosfat). Pada grafik juga terlihat bahwa kultivasi *Scenedesmus vacuolatus* tanpa pemberian nutrien komponen N dan P memiliki kepadatan sel yang paling rendah diantara 3 perlakuan yang ada. Hal ini bisa dijadikan indikator

bahwa media *Scenedesmus vacuolatus* yang kekurangan komponen N dan P dapat menurunkan produktivitas *spesies tersebut* dalam pertumbuhan sel secara maksimal sehingga kepadatannya menjadi lebih sedikit dibandingkan media *Scenedesmus vacuolatus* yang hanya kekurangan komponen N atau komponen P. dari hasil penelitian ini bisa dikatakan bahwa mikroalga membutuhkan asupan nutrisi penting untuk pertumbuhan sel-selnya, dalam hal ini adalah senyawa Nitrogen dan Fosfat. Keduanya dapat dikatakan sebagai komponen mayor atau utama untuk pertumbuhan mikroalga.



Gambar 10. Kepadatan *Scenedesmus vacuolatus* pada perlakuan pemiskinan nutrisi.

Dari grafik tersebut juga bisa dilihat bahwa pertumbuhan *Scenedesmus vacuolatus* tanpa komponen N lebih tinggi kepadatan selnya dibandingkan dengan pertumbuhan *Scenedesmus vacuolatus* tanpa komponen P. namun pada hari ke 5 sampai hari ke 7, kepadatan sel *Scenedesmus vacuolatus* tanpa komponen P menjadi lebih tinggi dibandingkan tanpa komponen N. hal ini menunjukkan bahwa kedua komponen N dan P sangat dibutuhkan untuk pertumbuhan mikroalga, dalam hal ini komponen N dibutuhkan terlebih dulu pada awal-awal pertumbuhannya, lalu komponen P dibutuhkan pada akhir-akhir pertumbuhannya.

Kultivasi mikroalga *Scenedesmus vacuolatus* dengan perlakuan perbedaan laju alir gas CO₂

Hasil pengamatan kultivasi mikroalga *Scenedesmus vacuolatus* dengan perlakuan perbedaan laju alir gas CO₂ dapat dilihat pada Tabel 2. Tabel 3 menunjukkan kisaran pH dan salinitas selama dilakukan kultivasi mikroalga.

Tabel 2. Kepadatan sel *Scenedesmus vacuolatus* pada perlakuan perbedaan laju alir gas CO₂

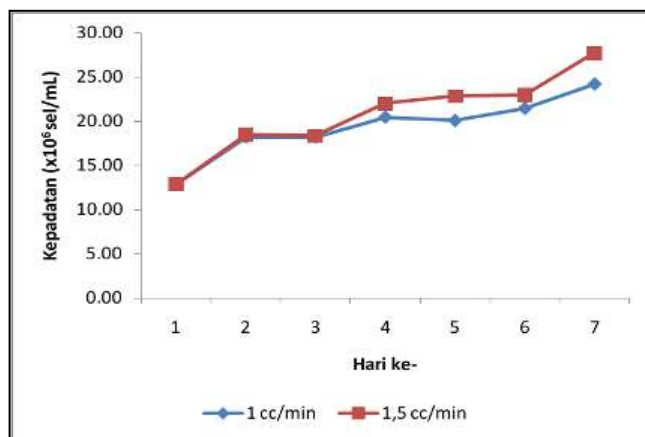
Hari ke-	1 cc/min		1,5 cc/min	
	Kepadatan (x 10 ⁶ cell/mL)	μ (/h)	Kepadatan (x 10 ⁶ cell/mL)	μ (/h)
1	12.88	-	12.88	-
2	18.25	0.3489	18.50	0.3625
3	18.25	0.0000	18.38	-0.0068
4	20.50	0.1163	22.00	0.1801
5	20.13	-0.0185	22.88	0.0390
6	21.50	0.0661	23.00	0.0054
7	24.25	0.1204	27.75	0.1877
Rata-rata		0,1055		0,1280

Tabel 3. Kisaran pH dan salinitas pada kultivasi mikroalga dengan perlakuan beda laju alir gas CO₂

Hari ke-	1 cc/min		1,5 cc/min	
	pH	Salinitas	pH	Salinitas
1	5.3	28	5.2	28
2	5.3	32	5.2	30
3	4.9	32	5	32
4	5	32	4.9	32
5	5	32	4.9	32
6	5.3	35	5.4	35
7	5.4	35	5.4	35

Dari tabel 2 secara umum dapat dilihat bahwa pertumbuhan *Scenedesmus vacuolatus* setelah diberi perlakuan perbedaan laju alir gas CO₂, terjadi peningkatan kepadatan sel dimulai dari hari ke 1 sampai hari ke 7. Hal ini terjadi pada setiap perlakuan baik laju alir gas 1 cc/menit dan 1,5 cc/menit. Kepadatan sel *Scenedesmus vacuolatus* yang dikultivasi dengan laju alir gas CO₂ sebanyak 1 cc/menit lebih rendah nilainya dibandingkan dengan kepadatan sel mikroalga yang dikultivasi dengan laju alir gas CO₂ sebanyak 1,5 cc/menit.

Dari tabel 3, dapat dilihat kisaran pH dan salinitas selama kultivasi dilakukan masih termasuk normal yakni berkisar antara 4,9-5.4 untuk pH sedangkan 28-32 ‰ untuk salinitas. Pada kedua perlakuan tersebut kisaran pH dan salinitas tidak terlalu banyak berbeda. Gambar 11 menunjukkan grafik hasil kultivasi *Scenedesmus vacuolatus* dengan perlakuan perbedaan laju alir gas CO₂.



Gambar 11. Kepekatan *Scenedesmus vacuolatus* pada perlakuan perbedaan laju alir gas CO₂.

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa terjadi kepekatan yang mirip dimulai hari ke-1 hingga hari ke-3 pada kedua laju alir gas CO₂. Namun setelah menginjak hari ke-4 hingga hari ke-7, kepekatan sel *Scenedesmus vacuolatus* pada laju alir 1,5cc/menit mulai lebih tinggi dibandingkan dengan laju alir gas CO₂ 1 cc/menit. Hal ini menunjukkan semakin tinggi masukan gas CO₂ ke media tumbuh mikroalga, semakin tinggi juga kemungkinan mikroalga untuk bertumbuh lebih cepat. Perlakuan beda laju alir ini juga menunjukkan bahwa mikroalga mampu menyerap dan memanfaatkan gas CO₂ yang semakin cepat masuk ke dalam media tumbuhnya. Dalam hal ini dapat dikatakan bahwa mikroalga merupakan salah satu pengguna gas CO₂ yang bisa dipertimbangkan dapat mengurangi kadar CO₂ yang ada di permukaan atmosfer Bumi.

Pada penelitian ini didapatkan rata-rata laju pertumbuhan spesifik dari kedua perlakuan sebesar 0,1055/hari (1cc/menit) dan 0,1280/hari (1,5cc/menit). Angka laju pertumbuhan spesifik ini didukung oleh pernyataan dari hasil penelitian yang dilakukan Widjaja (2009) dengan beberapa perbedaan laju alir gas CO₂ yang mendapatkan bahwa penambahan laju alir gas CO₂ sampai 50 mL/menit mampu meningkatkan pertumbuhan mikroalga dengan cepat.

Karakterisasi kandungan asam lemak/lipid mikroalga hasil uji coba kultivasi dengan injeksi gas CO₂

Dari hasil analisis injeksi Kromatografi Gas yang telah dilakukan, diketahui bahwa kandungan senyawa asam lemak *Scenedesmus vacuolatus* berkisar antara

0,10 – 37,67% setelah dilakukan uji coba injeksi gas CO₂ selama 7 hari kultivasi. Pada hasil penelitian tahun ke-1 (uji coba kultivasi tanpa perlakuan) dalam spesies *Scenedesmus vacuolatus* terkandung senyawa asam lemak dalam kisaran senyawa asam lemak antara 0,07-35,52% dengan konsentrasi tertinggi dimiliki oleh vinil laurat. Kedua hasil tersebut jika dibandingkan satu sama lain dapat mengungkapkan bahwa mikroalga yang dikultivasi dengan memanfaatkan injeksi gas CO₂ murni secara langsung dapat mempengaruhi kadar atau konsentrasi senyawa asam lemak yang diproduksi oleh spesies mikroalga *Scenedesmus vacuolatus*. Dari hasil tersebut terlihat bahwa *Scenedesmus vacuolatus* sesudah dikultivasi dengan asupan gas CO₂ memiliki konsentrasi asam lemak lebih tinggi dibandingkan *Scenedesmus vacuolatus* yang dikultivasi tanpa menggunakan gas CO₂. CO₂ berperan penting dalam proses fotosintesis mikroalga untuk melakukan perbanyakan sel tubuhnya. Oleh karena itu, semakin besar kadar CO₂ yang ada di media mikroalga, maka akan semakin mudah proses fotosintesis terbentuk dan semakin mudah mikroalga tersebut memperbanyak selnya.

Karakterisasi kandungan protein mikroalga hasil uji coba kultivasi dengan injeksi gas CO₂

Setelah dilakukan kultivasi dengan menggunakan gas CO₂ pada *Scenedesmus vacuolatus* dan dianalisis, sel tubuh mikroalga tersebut mengandung kadar protein sebesar 2,03%. Jika dibandingkan dengan hasil analisis yang didapat pada penelitian yang dilakukan sebelumnya (tahun ke-1), *Scenedesmus vacuolatus* mengandung protein yang cukup tinggi yakni sebesar 35,48%. Angka yang diperoleh mengalami penurunan yang cukup drastis. Hal ini diduga berkaitan dengan masukan gas CO₂ selama kultivasi. Menurut hasil penelitian Chinnasamy et al. (2009), didapat bahwa terjadi peningkatan kadar protein dari 39,8% menjadi 40,8% setelah dilakukan uji coba kultivasi mikroalga jenis *Chlorella vulgaris* dengan menggunakan gas CO₂ pada tekanan standard dan berelevasi. Dari hasil analisis ini, dapat dikatakan bahwa gas CO₂ yang diinjeksikan ke media kultivasi *Scenedesmus vacuolatus* belum terbukti bisa meningkatkan kandungan protein dalam sel mikroalga.

Karakterisasi kandungan karbohidrat mikroalga hasil uji coba kultivasi dengan injeksi gas CO₂

Pada hasil penelitian ini didapatkan hasil analisis kandungan karbohidrat sebesar <0,05% dimana angka tersebut bisa dikatakan tidak terdeteksi. Jika dibandingkan dengan hasil penelitian tahun sebelumnya (tahun ke-1), angka tersebut lebih rendah dimana konsentrasi karbohidrat sebesar 0,34%. Menurut hasil penelitian yang dilakukan Chinnasamy *et al.* (2009), kadar karbohidrat yang dikandung oleh mikroalga *Chlorella vulgaris* mengalami peningkatan dari 33% menjadi 37,8% setelah dilakukan kultivasi dengan memberikan injeksi gas CO₂ pada tekanan standard dan terelevasi. Dari hasil analisis ini, dapat dikatakan bahwa gas CO₂ yang diinjeksikan ke media kultivasi *Scenedesmus vacuolatus* belum terbukti bisa meningkatkan kandungan karbohidrat dalam sel mikroalga.

KESIMPULAN

Dari hasil percobaan perlakuan pemiskinan nutrisi mikroalga, dapat disimpulkan bahwa mikroalga yang dikultur dengan perlakuan nutrisi tanpa komponen N dan P sekaligus memiliki kepadatan sel yang paling rendah diantara perlakuan pemiskinan nutrisi yang lain. Untuk hasil percobaan perlakuan beda laju alir gas CO₂, dapat disimpulkan bahwa mikroalga yang dikultur pada laju alir gas CO₂ 1,5 cc/menit memiliki angka kepadatan sel lebih tinggi dibandingkan dengan mikroalga pada laju alir gas CO₂ 1 cc/menit. Kedua percobaan tersebut bisa membuktikan bahwa mikroalga membutuhkan komponen nutrisi utama juga masukan gas CO₂ yang dicampur dengan udara bebas dalam *mixing chamber* dengan laju alir yang terkontrol untuk memaksimalkan pertumbuhan selnya. Hasil analisis kandungan asam lemak pada mikroalga setelah dikultur menggunakan gas CO₂ memiliki persentase yang lebih tinggi dibandingkan dengan kultur mikroalga biasa. Namun tidak demikian dengan kandungan protein dan karbohidrat mikroalga setelah dikultur dengan menggunakan gas CO₂. Konsentrasi kedua senyawa tersebut ditemukan lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil analisis yang telah dilakukan pada tahun pertama pada mikroalga yang dikultur tanpa masukan gas CO₂. Hal ini diduga disebabkan oleh kurangnya masukan gas CO₂ yang belum diserap secara maksimal oleh mikroalga.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini bisa dilakukan atas bantuan dana dari Program Insentif Dalam Peningkatan Kapasitas Sistem Produksi dan IPTEK dari Kementerian Riset dan Teknologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bligh, E.G. and Dyer, W.J. 1959. A rapid method for total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.* 37:911-917
- Chinnasamy S., B. Ramakrishnan, A. Bhatnagar and K. C. Das. 2009. Biomass Production Potential of a Wastewater Alga *Chlorella vulgaris* ARC 1 under Elevated Levels of CO₂ and Temperature. *Int. J. Mol. Sci.* 10: 518-532.
- Dayananda, C.; Sarada, R.; Bhattacharya, S. And Ravishankar, G.A. 2005. Effect of media and culture condition on growth and hydrocarbon production by *Botryococcus braunii*. *Process Biochem.* 40(9): 3125-3131.
- Krichnavaruk, S., Worapanne, L., Sorawit, P. dan Prasert, P. 2004. Optimal Growth Condition and The Cultivation of *Chaetoderos calcitrans* in Airlift Photobioreactor. *Chemical Engineering.* 105: 91-98.
- Widjaja, A. 2009. Lipid Production From Microalgae As A Promising Candidate For Biodiesel Production. *Makara, Teknologi.* 13(1): 47-51.

PERENCANAAN KEBUN WISATA PERTANIAN GUNUNG LEUTIK CIAMPEA BOGOR

(Planning of Agrotourism Park in Gunung Leutik Ciampea Bogor)

Nizar Nasrullah¹⁾, Afra D.N. Makalew¹⁾, Dewi Sukma²⁾, Tati Budiarti¹⁾

¹⁾Dep. Arsitektur Lanskap, Fakultas Pertanian, IPB

²⁾Dep. Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, IPB

ABSTRAK

Lahan di sekitar Gunung Leutik dengan luas 41.4 ha direncanakan menjadi Kebun Wisata Pertanian yang disebut Kebun Wisata Gunung Leutik (KWG). Tapak ini merupakan lahan Pesantren Pertanian Darul Fallah dan lahan masyarakat Gunung Leutik, Desa Benteng Kecamatan Ciampea Bogor. Unit-unit usaha tani yang telah ada dalam tapak dijadikan objek wisata. Pada lahan pesantren terdapat unit usaha yang terdiri atas pembibitan tanaman; peternakan sapi perah, sapi potong dan kambing perah PE.; budiaya ikan air tawar, pengolahan yoghurt, dan pabrik pupuk kandang granular; sedang pada Kampung Gunung Leutik terdapat persawahan untuk padi dan tanaman palawija; dan tegalan untuk kebun sayur dan buah. Pada lahan yang masih belum diusahakan pada lahan pesantren direncanakan objek wisata baru yang terdiri atas blok tanaman buah Rambutan, Jambu Biji Merah, Jambu Kristal, Jambu Bol, dan Pepaya. Selain itu dalam tapak direncanakan dua area untuk taman yang di peruntukkan untuk kegiatan wisata non pertanian seperti untuk piknik dan kegiatan kelompok bagi pengunjung. Kebun direncanakan dilengkapi fasilitas pelayanan wisata seperti tempat parkir, plaza, shelter, toko, kios souvenir, kantin, musholla dan toilet. Antar tiap ruang dalam tapak dihubungkan dengan jalur sirkulasi untuk pemeliharaan dan tour dalam kebun. Paket wisata di dalam kebun direncanakan berupa tour kebun untuk interpretasi unit-unit usaha pertanian, paket panen dan menikmati hasil kebun, dan paket pelatihan pertanian. Kata kunci: Rekreasi, agrowisata, objek wisata, fasilitas pelayanan, paket wisata.

ABSTRACT

Site in Gunung Leutik and their surrounding (41.4 ha) were planned as agro tourism park that named as Gunung Leutik Agrotourism Park. Site owned by Darul Fallah Agricultural Boarding School and the farmer community in Gunung Leutik village, Ciampea Bogor. Existing farms in the site will be used as tourism attractions. In the boarding shchool campus various farm units running commercially including plant nursery, dairy cow, cattle, and PE dairy lamb farm, fresh water fishery, yoghurt processing, and granules organic fertilizer plant. Rice field for paddy and after paddy crops, and mixed fruits and vegetable farm dominated land in Gunung Leutik Village. Land suitability analysis showed that unutilized/bare land in boarding shcool area is suitable for perennial fruits plants. Therefore in that bare land will be planted with Rambutan, Red Guava, Seedless Guava, Jambu Bol and Papaya. In the park, two common parks will be provided for picnic and visitor gathering area. Park will be planned to provide good service facilities such as parking lots, plaza, shelter, shouvenir shop, cafetaria, musholla and toilets. Each block in the park will be connected with circulation path for park touring, and park maintenance. It is planned to provide recreation programmes that visitor can appreciate all farm unit, and promote agricultural training programme.

Keywords: Recreation, agrotourism, tourism object, service facilities, tourism package.

PENDAHULUAN

Rutinitas hidup sehari-hari memberi tekanan terhadap fisik dan mental. Untuk mengembalikan kondisi fisik dan mental, maka rekreasi diperlukan manusia. Melalui rekreasi ditemukan kesenangan dan kegembiraan (Kraus, 1977).

Rekreasi dapat dilakukan pada area publik terdekat seperti taman kota di sekitar permukiman atau ketempat yang lebih jauh. Rekreasi yang disertai perjalanan dikenal sebagai kegiatan wisata (Weaver 2001). Wisata pertanian merupakan salah satu alternatif wisata bagi masyarakat kota. Wisata ini menjadikan lahan usaha pertanian menjadi objek yang dinikmati (Tirtawinata dan Fachruddin (1996). Usaha pertanian mencakup ragam yang luas, sehingga objek wisata pertanian juga beragam, mencakup pertanian tanaman pangan, perkebunan, peternakan, perikanan, dan pengolahan hasil pertanian.

Untuk pengembangan wisata, penyiapan tempat tujuan (destination environment) sangat menentukan (Mason 2003). Dalam hal ini pada tempat tujuan wisata tersedia (1) pelayanan dan fasilitasnya, dan (2) atraksi atau sesuatu yang akan dilihat pengunjung seperti kekayaan budaya, bangunan, dan tampilan alam.

Dalam perancangan taman publik (park) terdapat 3 prinsip perancangan yang perlu diterapkan (Dahl and Molnar, 2003), yaitu (1) semua elemen lanskap harus mempunyai maksud, (2) perancangan ditujukan untuk manusia sebagai pengguna, dan (3) terpenuhi persyaratan baik untuk fungsi maupun keindahan. Oleh karena itu objek wisata pertanian akan menarik, selain ditunjukkan oleh usaha pertanian *on farm* atau *off farm*, penataan lanskap lahan pertanian perlu dilakukan agar dihasilkan lanskap yang memberikan kenyamanan, keindahan dan fungsional menyediakan ruang dan fasilitas untuk pelayanan rekreasi.

Pada lahan di sekitar Gunung Leutik Desa Benteng Kecamatan Ciampea Kabupaten Bogor terdapat beragam usaha pertanian yang dikelola oleh Pesantren Pertanian Darul Fallah, dan masyarakat Kampung Gunung Leutik. Dengan akses yang mudah ke lokasi, maka area di sekitar Gunung Leutik tersebut dapat dikatakan berpotensi dikembangkan menjadi tujuan wisata pertanian. Mengingat Gunung Leutik sebagai *landmark*, maka area yang dikembangkan dinamakan Kebun Wisata Pertanian Gunung Leutik (KWG).

Penelitian bertujuan untuk menyusun rencana pengembangan Kebun Wisata Gunung Leutik yang dikelola sendiri oleh petani dengan memanfaatkan beragam usaha pertanian yang telah berjalan, dan usaha pertanian baru yang sesuai dengan potensi lokasi sebagai objek wisata, dilengkapi dengan fasilitas pelayanan wisata dalam suasana lanskap pertanian dan pedesaan.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada Gunung Leutik dan lahan sekitarnya dengan luas 41.4 ha. Lahan ini mencakup lahan Pesantren Pertanian Darul Fallah (PPDF) yang selanjutnya disebut pesantren, dan lahan pertanian di sekitar pesantren pada Kampung Gunung Leutik Desa Benteng Kecamatan Ciampea Kabupaten Bogor (Gambar 1).

Pelaksanaan Penelitian

Perencanaan lanskap ini dilaksanakan mengikuti tahapan perencanaan tapak menurut Simond (1983) yang terdiri atas 4 tahap, yaitu tahap (1) Persiapan, (2) Research (inventarisasi), (3) Analisis tapak, (4) Sintesis (Perencanaan).

Pada tahap persiapan dilakukan pengumpulan data dan peta yang dimiliki pemilik lahan dan pada sumber lainnya. Pada tahap research dilakukan pemetaan topografi, struktur terbangun, dan vegetasi. Evaluasi kesesuaian lahan dilakukan menurut metode FAO 1976. Untuk itu diambil sample tanah 4 titik pada lahan pesantren, dan 2 titik pada lahan pertanian Kampung Gunung Leutik. Pengambilan jumlah sampel berdasarkan kedalaman perakaran tanaman pertanian yaitu 0-30 cm sampai pada kedalaman 60 cm.

Untuk melihat kualitas air diambil sample air pada 1 titik sumber air dalam area pesantren. Untuk mengetahui usaha tani yang telah terbangun dalam tapak, dilakukan wawancara, dan FGD dengan pengelola pesantren dan kelompok tani yang terdapat pada Kampung Leutik.

Pada tahap analisis dilakukan analisis untuk mengetahui potensi dan kendala untuk pengembangan tapak sebagai tempat rekreasi. Dalam hal ini dilakukan

analisis kesesuaian lahan untuk tanaman yang dapat dikembangkan. Pada tahap sintesis/perencanaan dibuat siteplan pemanfaatan seluruh lahan yang mencakup unit usaha pertanian sebagai objek wisata, jalur sirkulasi, fasilitas dan utilitas yang diperlukan untuk kegiatan unit-unit usaha dan pelayanan wisata.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Inventarisasi dan analisis Tapak

Lokasi Perencanaan dan Aksesibilitas

Peta lokasi tapak disajikan pada Gambar 1. Tapak perencanaan Kebun Wisata Gunung Leutik (KWG) adalah lahan pada Gunung Leutik dan lahan di sekitarnya. Tapak terletak di Desa Benteng, Kecamatan Ciampea Bogor yang terletak pada 2 RW yaitu di RW04 dan RW05. Tapak dengan luas 41.4 ha dibagi dalam 3 unit. Unit I dengan luas 11.8 ha merupakan area pendidikan dan pemukiman pesantren. Unit II dengan luas 15.1 ha merupakan lahan usaha pesantren, dan Unit III merupakan lahan pertanian dan perumahan di Kampung Gunung Leutik. Unit II, dan III menjadi area pengembangan objek wisata, sedang unit I digunakan sebagai pendukung kegiatan wisata seperti digunakan untuk parkir kendaraan. Tapak dapat dicapai dari Jalan Raya Bogor – Ciampea KM 12. Dari jalan raya ke lokasi hanya berjarak 500 m.

Topografi dan Kemiringan Lahan

Peta Topografi disajikan pada Gambar 2 dan klasifikasi kemiringan lahan pada Tabel 1. Tapak memiliki bentukan lahan yang beragam dari datar, bergelombang sampai berbukit, dengan ketinggian antara 156–188 m dpl. Titik tertinggi pada puncak Gunung Leutik dan terendah pada Sungai Ciampea yang mengalir di tengah tapak.

Lahan datar dan landai terutama terdapat pada lahan pada Unit I dan pada Unit III sedang lahan bergelombang dan curam banyak terdapat pada unit II. Keragaman bentukan lahan seperti bukit, sungai, dan area pertanian memberi keragaman view objek wisata. Sebaliknya konservasi lahan dan perhatian terhadap keselamatan pengunjung menjadi penting dalam pengembangan lahan menjadi tempat wisata.

Tabel 1. Luas dan persentase kemiringan lahan tiap unit dalam lokasi perencanaan.

Persentasi Kemiringan	Jenis kemiringan	Unit 1 (m ²)	Unit 2 (m ²)	Unit 3 (m ²)	Total (m ²)	%
0-3	Datar	63,050	3,018	27,485	93,553	22.6
3-8	Landai	5,065	12,329	72,404	89,798	21.66
8-15	Bergelombang	12,251	65,904	25,049	103,204	24.89
15-25	Agak Curam	11,425	35,418	19,479	66,349	16.00
25-35	Curam	9,263	29,286	889	39,438	9.51
> 35	Sangat Curam	17,173	4,946	43	22,162	5.34
Total		118,254	150,901	145,349	414,504	100



Gambar 1. Peta lokasi tapak.

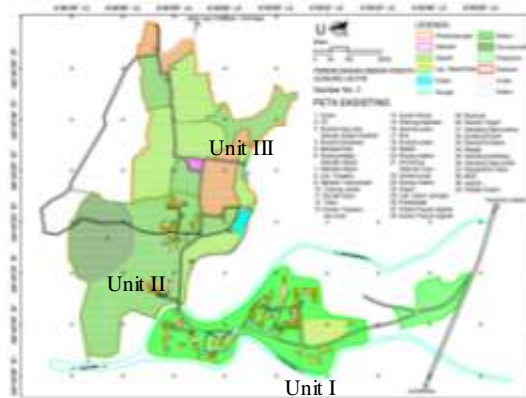


Gambar 2. Peta topografi tapak.

Penggunaan Lahan dan Vegetasi

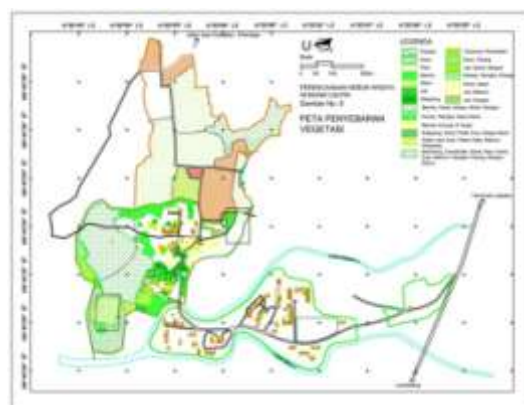
Penggunaan lahan existing disajikan pada Gambar 3. Pada unit I terdapat fasilitas pendidikan dan pemukiman pesantren. Pada unit I terdapat aula, gedung training center dan lapangan bola yang sewaktu-waktu dapat digunakan untuk

kegiatan pelayanan wisata. Pada unit II digunakan untuk unit usaha pesantren yang akan dijadikan objek wisata, meliputi pembibitan tanaman yang dilengkapi dengan laboratorium kultur jaringan, peternakan sapi perah, kambing perah dan sapi potong, kolam budidaya ikan, dan kebun rumput pakan.



Gambar 3. Peta penggunaan lahan eksisting.

Penyebaran vegetasi disajikan pada Gambar 4. Bambu menyebar sepanjang lereng tebing sungai. Pada unit I pohon Kelapa Sawit, kayu putih, Krey Payung, Mlinjo, Akasia, Glodogan Tiang dan Pinus banyak ditemukan pada tanaman tepi jalan. Pada unit II, sengon merupakan tanaman utama yang ditanam pada Gunung Leutik, selebihnya masih ditumbuhi semak belukar, sedang pada bagian timur terdapat rawa yang ditumbuhi tanaman kirai. Unit III digunakan sebagai pesawahan, tegalan dan pemukiman.



Gambar 4. Peta penyebaran vegetasi eksisting.

Iklim

Berdasar data BMG Darmaga Bogor, data kurun waktu 5 tahun 2005-2009 (Tabel 2), data rata-rata bulanan di kawasan menunjukkan curah hujan 226-332 mm, curah hujan harian 7.5-11.0 mm, suhu udara maksimum mencapai 31.7 °C, suhu minimum 22.3°C, kelembaban relatif udara mencapai 83%, kecepatan angin 2.4 knot, penguapan 4.0 mm. Menurut Laurie (1990) zona nyaman berada pada suhu 15-27 °C dan RH 40-75%. Dengan demikian suhu maksimum dan kelembaban relatif udara pada tapak berada pada zona tidak nyaman. Penambahan populasi pohon dalam kawasan dapat menurunkan suhu, namun meningkatkan kelembaban udara (Ugit, Nasrullah, dan Sulistyantara, 2010).

Tabel 2. Rata-rata unsur iklim di kawasan perencanaan dari 2005 sampai 2009.

Unsur Iklim (rata-rata)	2005	2006	2007	2008	2009	Rata2
Suhu Maks (°C)	31,5	32,1	31,5	31,3	32,0	31.7
Suhu Min (°C)	22,7	22,3	22,3	21,9	22,5	22.3
Kelembaban Relatif (%)	84,8	81,2	83,6	84,2	81,1	83.0
Kecepatan Angin (Knot)	1,9	2,5	2,5	2,5	2,5	2.4
Penguapan (mm)	4,0	4,1	3,9	3,8	4,0	4.0
Curah Hujan bulanan (mm)	267	252	332	304	226	276

Sumber: Diolah dari data : BMKG Darmaga Bogor (2005-2009).

Hidrologi dan Kualitas Air

Dalam tapak terdapat Sungai Cinangneng yang mengalir di tengah pesantren dan Sungai Ciampea pada batas barat tapak. Pada batas timur lahan Unit II terdapat anak sungai yang bermuara ke Sungai Cinangneng. Data hasil analisis contoh air yang berasal dari aliran sungai Cinangneng disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Jumlah anion dan kation (mg/L air bebas lumpur) contoh air sungai cinangneng.

Kation	NH4	K	Ca	Mg	Na	Fe	Al	Mn	Jumlah
	0.02	0.01	0.30	0.14	0.34	0.00	0.02	0.00	0.84
Anion	NO3	PO4	SO4	Cl	HCO3	CO3			Jumlah
	0.11	0.13	0.00	0.34	0.29	0.00			0.87
Logam Berat	Cu	Zn	B	Cd	Pb	Sn			
	0.01	Td	0.03	-	-	-			
pH	6.2								
DHL	0.071 dsm								

Td = tidak terdeteksi

Jumlah kation dan anion dalam air yang dianalisis dalam keadaan bebas lumpur, menunjukkan kualitas fisik air masih baik secara visual masih sangat jernih. Kandungan lumpur 215 mg/lit menunjukkan tingkat kekeruhan yang rendah. Konsentrasi Fe dan Mg tidak melebihi batas ambang untuk Fe 0.3 ppm dan untuk Mg 0.05 ppm, artinya masih aman digunakan sebagai air minum demikian juga untuk aktivitas pertanian, peternakan, maupun perikanan. Keasaman (pH) air contoh 6.2 bersifat agak masam. Daya hantar listrik (DHL) air 0.071 dsm, menunjukkan menunjukkan kondisi aman untuk pertumbuhan tanaman, aktivitas organisma lain.

Untuk peternakan, air diangkat dari anak sungai Cinangneng menggunakan pompa hidram. Air bersih dalam kawasan bersumber dari Water Treatment Plant (WTP) yang menggunakan air baku dari Sungai.

Geologi dan Tanah

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Bogor, maka tanah pada lokasi penelitian berasal dari aluvium gunung berapi berumur kuarter atau sedimentasi batuan beku atas yang tergolong masih muda (Qva). Berdasarkan Peta Tanah Semi Detail daerah Parung-Depok-Bogor-Ciawi (1979), jenis tanah yang terbentuk di lokasi adalah Latosol Coklat dan Latosol Coklat Kemerahan atau sepadan dengan ordo tanah Inceptisol. Latosol Coklat dijumpai pada tempat-tempat yang masih tertutup vegetasi pohon, sedangkan Latosol Coklat Kemerahan dijumpai pada lereng-lereng yang sudah terbuka maupun pada yang intensif digunakan untuk pertanaman lahan kering.

Analisis Kesesuaian lahan untuk pertanian

Berdasarkan variasi topografi dan kemiringan lereng lokasi, maka telah dianalisis 4 contoh sampel yang mewakili lereng atas (DF-I), lereng tengah (DF-II), dan lereng bawah (DF-III), serta perwakilan dari pertanaman rumput ternak (DF-IV). Untuk contoh perwakilan dari lahan kampung Gunung Leutik, variasi diperoleh berdasarkan lahan basah/sawah (GL-I) dan lahan kering/ladang (GL-II) di kampung Gunung Leutik. Data hasil analisis sampel tanah pada Laboratorium Tanah dapat ditentukan kesesuaian lahan untuk beberapa komoditi pertanian.

Pilihan Tanaman Pertanian yang Sesuai

Berdasarkan hasil analisis tanah ditambah dengan faktor iklim dan lingkungan lainnya maka analisis atau evaluasi lahan dapat dilaksanakan sesuai dengan tujuan penggunaan. Pada penelitian ini penggunaan lahan untuk pertanian yang akan dikembangkan dalam perencanaan wisata pertanian adalah untuk tanaman lahan basah (padi), lahan kering (palawija dan sayuran), serta untuk perkebunan hortikultura. Hasil evaluasi kesesuaian lahan disajikan pada Tabel 4 dan Gambar 5 dan 6.

Tabel 4. Kesesuaian lahan aktual untuk tanaman padi sawah.

Parameter/Kualitas	Titik Sampling					
	DF I	DF II	DF III	DF IV	GL I	GL II
Media Perakaran:						
Kedalaman efektif	S3	S2	S1	S1	S1	S1
Kelas Besar Butir	S1	S1	S1	S1	S1	S1
Batuan Permukaan	S1	S1	S1	S1	S1	S1
Reaksi Tanah	S3	S3	S3	S3	S1	S1
Toksisitas	S1	S1	S1	S1	S1	S1
Lereng	N	N	N	N	S1	S1
Ketinggian tempat	S1	S1	S1	S1	S1	S1
Iklim	S1	S1	S1	S1	S1	S1
Drainase,	S3	S3	S3	S2	S1	S2
Banjir dan genangan musiman	S1	S1	S1	S1	S1	S1
Salinitas	S1	S1	S1	S1	S1	S1

Keterangan: N : Tidak sesuai, S1 : Sangat Sesuai, S2: kesesuaian sedang, S3: sesuai marginal.

Tabel 5. Kesesuaian lahan untuk tanaman pangan lahan kering/palawija/sayuran

Parameter/Kualitas	Titik Sampling					
	DF I	DF 2	DF III	DF IV	GL I	GL II
Media Perakaran:						
Kedalaman efektif	S3	S2	S1	S1	S1	S1
Kelas Besar Butir	S1	S1	S1	S1	S1	S1
Batuan Permukaan	S1	S1	S1	S1	S1	S1
Reaksi Tanah	S3	S3	S3	S3	S2	S2
Toksisitas	S1	S1	S1	S1	S1	S1
Lereng	N	N	S3	S1	S1	S1
Ketinggian tempat	S1	S1	S1	S1	S1	S1
Erodibilitas	N	N	S2	S1	S1	S1
Iklim	S1	S1	S1	S1	S1	S1
Drainase	S3	S3	S3	S2	S2	S2
Banjir dan genangan musiman	S1	S1	S1	S1	S1	S1
Salinitas	S1	S1	S1	S1	S1	S1

Keterangan, N : Tidak sesuai, S1: Sangat Sesuai, S2: kesesuaian sedang, S3: sesuai marginal

Lokasi kampung Gunung Leutik yang didominasi daerah datar sangat cocok untuk pengembangan tanaman padi terutama yang terletak mendekati aliran sungai sebagai sumber air. Kelas kesesuaian sedang (S2) untuk padi dijumpai di lokasi tertentu di dalam lokasi pesantren yakni GL II dan GL III. Daerah tersebut yakni di bagian bawah lereng yang kemiringannya 0 – 3%.



Gambar 5. Peta kesesuaian lahan untuk tanaman pangan lahan kering dan padi.



Gambar 6. Peta kesesuaian lahan untuk tanaman perkebunan dan kehutanan.

Secara aktual lokasi yang dapat dikembangkan untuk pertanian lahan kering dengan komoditas tanaman pangan, palawija, dan sayuran dapat dikembangkan di hampir semua lokasi baik di pesantren maupun di kampung Gunung Leutik, kecuali pada tempat-tempat yang berlereng >15% perlu dipertimbangkan. Namun potensi tetap ada apabila bisa dimodifikasi melalui pembuatan teras.

Tabel 6. Kesesuaian lahan untuk tanaman perkebunan/kehutanan.

No	Parameter/Kualitas	Titik Sampling					
		GL I	GL II	GL III	GL IV	GL V	GL VI
Media Perakaran:							
1	Kedalaman efektif	S3	S2	S2	S1	S1	S1
2	Kelas Besar Butir	S1	S1	S1	S1	S1	S1
3	Batuan Permukaan	S1	S1	S1	S1	S1	S1
4	Reaksi Tanah	S3	S3	S3	S3	S2	S2
5	Toksisitas	S1	S1	S1	S1	S1	S1
6	Lereng	N	N	N	N	S1	S1
7	Ketinggian tempat	S1	S1	S1	S1	S1	S1
8	Erodibilitas	S3	S3	S1	S1	S1	S1
9	Iklm	S1	S1	S1	S1	S1	S1
10	Drainase	S1	S1	S2	S2	S2	S2
11	Banjir dan genangan musiman	S1	S1	S1	S1	S1	S1
12	Salinitas	S1	S1	S1	S1	S1	S1

Keterangan: N : Tidak sesuai, S1 : Sangat Sesuai, S2: kesesuaian sedang, S3: sesuai marjinal

Untuk pengembangan tanaman perkebunan/kehutanan, kedalaman efektif dan kemiringan lereng merupakan kendala utama. Namun dengan manipulasi secara setempat dapat dilakukan melalui pembuatan lubang individu dengan penambahan bahan organik/kompos untuk memperbaiki drainase, serta pembuatan teras.

Aspek Sosial Ekonomi

Unit II terdapat unit-unit usaha pertanian yang dikelola pesantren. Pada Kampung Gunung Leutik terdapat Kelompok Tani Asih. Kelompok tani ini mengelola lahan persawahan untuk tanaman padi dan palawija, tegalan untuk sayuran dan tanaman buah, dan memproduksi berbagai bibit tanaman kehutanan. Selain itu terdapat kelompok tani Toga "Bina Sehat Lestari" yang memproduksi tanaman obat, dan produk herbal. Dalam FGD yang dilakukan kelompok tani ini merespon positif penggunaan lahannya untuk objek wisata pertanian.

View

Dalam tapak view alami yang menarik meliputi View Sungai Cinangneng dan sungai Ciampea, Gunung leutik dan hamparan persawahan (Gambar 7), sedang diluar tapak dapat dilihat Gunung Salak ke arah tenggara (Gambar 8),

Gunung Kapur Ciampea ke arah barat dan Kampung Gunung Leutik ke arah timur.



Gambar 7. View persawahan dikampung Gunung Leutik



Gambar 8. View Gunung Salak di lihat dari persawahan Kampung Gunung Leutik.

Rencana Pengembangan Kebun Sebagai Tempat Wisata

Konsep Dasar Kebun

Berdasarkan potensi tapak, maka tapak akan dikembangkan menjadi kebun wisata pertanian dengan objek wisata mencakup unit-unit usaha pertanian tanaman, perikanan, peternakan, pengolahan hasil pertanian, dan kehutanan, dilengkapi dengan fasilitas pelayanan wisata dalam suasana lanskap pertanian dan pedesaan. Bentuk aktivitas wisata yang ditawarkan berfokus pada tour menikmati suasana pertanian, edukasi pertanian, menikmati produk pertanian, dan wisata umum.

Kebun direncanakan dilengkapi dengan fasilitas pelayanan wisata yang terdiri atas fasilitas parkir dan jalur sirkulasi untuk interpretasi dalam kebun, fasilitas istirahat, makan-minum, dan belanja produk dan souvenir. Secara lengkap rencana tapak (site plan) kebun wisata disajikan pada Tabel 7 dan Gambar 9.

Tabel 7. Rencana penggunaan lahan untuk objek/fasilitas pelayan wisata dan kegiatan wisata.

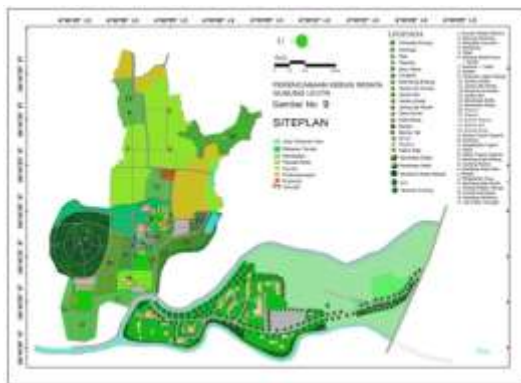
No	Lokasi	Nama Ruang	Nama Objek/ Fasilitas	Luas (m ²)	Kegiatan wisata
1	Unit I	Objek alami Welcome area	Sungai Lapangan bola		Wisata petualangan Tempat parkir bus
2	Unit II	Welcome area Pertanian tanaman	Parkir, plaza, pendopo, kios souvenir, toko, toilet Lab. Kultur jaringan pembibitan Kebun buah (rencana) Jambu bol Jambu biji merah Jambu kristal Rambutan Pepaya	8,864 790 1,522 1,876 4,680 9,440 8,290 18,269	Parkir, berkumpul, mendapatkan informasi, belanja bekal, belanja souvenir Mengamati, penanaman planlet Melihat keragaman bibit, pelatihan pembibitan Melihat, memanen, memakan buah-buahan Pelatihan pengelolaan kebun buah Melihat ternak sapi perah Memberi pakan Main dengan anak sapi, kambing PE Melihat proses pasteurisasi dan minum susu Melihat instalasi, menggunakan biogas Melihat pabrik pakan Melihat pabrik pupuk organik Menyaksikan, memanen rumput Minum yogurt, pelatihan membuat yogurt
		Peternakan	Ternak sapi perah Sapi potong Kambing perah Unit pasteurisasi Instalasi biogas Pabrik pakan Pabrik pupuk organik granular Kebun rumput Pengolahan yogurt	200 768 75 257 28 80 220 20,000 168	
		Perikanan	Kolam pancing Kolam budidaya	780 2,600	Memancing ikan Memberi makan ikan
		Konservasi/ kehutanan	Hutan sengon	34,350	Keliling hutan, mendaki bukit
		Wisata umum	Taman I, toilet, shelter	3,200	Piknik, bermain, interaktif grup

Tabel 7. Rencana penggunaan lahan untuk objek/fasilitas pelayan wisata dan kegiatan wisata (*lanjutan*)

No	Lokasi	Nama Ruang	Nama Objek/ Fasilitas	Luas (m ²)	Kegiatan wisata
			Taman II, parkir, toilet, kantin, mushola, playground	6,150	Piknik, bermain, interksi grup
3	Unit III/ Kp Gn Leutik	Pertanian	Sawah	67,020	Menyaksikan, memelihara dan memanen padi, palawija, bersantap di area persawahan
			Tegalan	20,960	Menanam, memelihara dan memanen tanaman sayuran dan buah
			Nursery tanaman obat		Menyaksikan dan membeli tanaman obat dan produk herbal

Rencana Penggunaan Ruang

Kebun dengan luas 41.5 ha dibagi kedalam kelompok ruang sesuai dengan fungsinya. Ruang dalam kebun dibagi atas ruang welcome area, ruang objek wisata pertanian, ruang wisata umum, dan ruang konservasi.



Gambar 9. Site plan kebun wisata Gunung Leutik.

Rencana Objek Wisata

Peternakan

Pada Tabel 7 ditunjukkan Rencana objek dan Kegiatan Wisata. Objek wisata peternakan pada Unit II terdiri atas peternakan sapi perah, sapi potong dan kambing perah, unit biogas, pabrik pupuk kandang granular, dan pengolahan

yogurt. Kandang sapi perah berkapasitas 20 ekor, Kandang sapi potong berkapasitas 400 ekor, sedang kandang kambing perah berkapasitas 40 ekor.

Aktivitas wisata dapat dilakukan pada unit peternakan seperti menyaksikan ternak dalam kandang, memberi pakan rumput/konsentrat atau memberi susu pada bayi sapi/kambing, pemerah susu, main dengan bayi ternak, dan menyaksikan pembuatan pakan konsentrat pada pabrik pakan, dan proses pembuatan pupuk kandang granural. Kegiatan wisata lainnya adalah melihat instalasi dan penggunaan biogas, dan mencoba produk susu segar dan yogurt.

Pertanian Tanaman Pangan

Sesuai dengan analisis kesesuaian lahan, pada Unit II, direncanakan penanaman tanaman buah. Jenis tanaman buah yang dipilih adalah dari jenis yang dapat memberi hasil panen sepanjang tahun sehingga direncanakan blok tanaman buah Jambu Bol (0.18 ha), Jambu biji merah (0.46 ha), Jambu Kristal (0.94 ha), dan pepaya jenis Hawaii dan California (1.8 ha), rambutan 0.83 ha. Dengan mengacu pada diskripsi tanaman buah (Verheij dan Coronel, 1992) tanaman buah yang dipilih secara ekologis beradaptasi dengan kondisi iklim pada tapak. Selain itu pada tepi-tepi jalan direncanakan penanaman beragam tanaman buah seperti nangka, cempedak, sawo, sirsak, srikaya, kersen, dan matoa.

Pada lahan masyarakat Kampung Gunung Leutik pola tanam dan jenis tanaman yang ditanam dipertahankan, sehingga pada persawahan akan diterapkan pola tanam padi-padi-palawija, atau padi-palawija-padi. Pada tegalan kebiasaan kelompok tani menanam pepaya, dan tanaman tumpang sari seperti jagung manis akan dipertahankan.

Pembibitan Tanaman

Pada unit pembibitan pesantren, bagian dari pembibitan yang dapat dijadikan objek wisata meliputi laboratorium kultur jaringan dan bedeng pemeliharaan dan pembesaran bibit. Bagian laboratorium yang dapat diperlihatkan adalah ruang penyiapan media, ruang penanaman, dan ruang kultur plantlet. Sedang pada bedeng pemeliharaan dapat diperlihatkan bedeng aklimatisasi tanaman, dan bedeng pembesaran bibit.

Budidaya Ikan Air Tawar

Pada Unit II direncanakan Kolam budidaya ikan dengan luas 550 m², dan area pemancingan dengan luas 300 m² dengan kedalaman kolam 100 cm. Pemancingan dilengkapi dengan lapak pemancingan yang diberi atap berkapasitas 50 orang pemancing, dan dilengkapi dengan kantin. Kegiatan wisata yang ditawarkan adalah memberi pakan pada kolam budidaya, dan pemancingan grup pada kolam pancing.

Kehutanan

Gunung Leutik yang terdapat pada Unit II, sesuai dengan analisis kesesuaian lahan sesuai untuk tanaman perkebunan dan kehutanan, sehingga tanaman sengon dan jabon yang telah memenuhi area dengan luas 3.4 ha tersebut tetap dipertahankan. Pada gunung ini direncanakan jalur jalan setapak untuk mencapai puncak bukit.

Wisata Umum

Dalam tapak direncanakan 2 taman. Taman I dengan luas 0.32 ha direncanakan terletak antara area Kandang Kambing Perah dan area Pembibitan pesantren. Taman terdiri atas hamparan rumput agar dapat digunakan secara fleksibel untuk beragam kegiatan pengunjung, dilengkapi dengan shelter dan toilet. Taman II dengan luas 0.83 ha direncanakan terletak di sebelah barat Gunung Leutik dikelilingi oleh kebun pepaya. Taman II terdiri atas hamparan rumput dan tanaman penaung, dilengkapi dengan tempat parkir kendaraan roda empat, children playground, kantin, musholla dan toilet.

Rencana Fasilitas dan Utilitas untuk Pelayanan

Jalan dan Tempat Parkir

Dalam kebun direncanakan jalur sirkulasi yang menghubungkan seluruh-ruang-ruang untuk interpretasi objek wisata, pemeliharaan kebun dan untuk supply barang. Jalan aspal direncanakan lebar 3 m diperpanjang ke area Taman II. Selebihnya direncanakan jalan setapak dari tanah dengan lebar 120 cm. Tempat parkir pengunjung direncanakan pada 2 tempat. Parkir bus menggunakan area lapangan bola pada area unit I, sedang parkir kendaraan roda empat dan motor direncanakan pada welcome area pada lahan Unit II dengan luas 0.89 ha m².

Rencana Fasilitas Pelayanan dan Utilitas

Pada unit II direncanakan welcome area terdiri atas plaza, kios kebutuhan berwisata, kios souvenir, shelter dan toilet. Kantin, musholla, dan shelter disediakan pada Taman II, sedang pada Taman I disediakan shelter dan toilet. Pada Pemancingan disediakan lapak pemancingan, dan kantin. Pada lahan persawahan kampung Gunung Leutik direncanakan penyediaan 4 saung tempat istirahat dan menikmati suasana persawahan dan pedesaan.

Penyediaan air bersih untuk kantin direncanakan diperoleh dari WTP pesantren, sedang air untuk sanitasi direncanakan diperoleh dari sumur bor. Air pertanian untuk kandang diperoleh dari anak sungai pada batas selatan lahan unit II. Direncanakan pengoperasian 2 pompa hidram yang berkapasitas 10 m³ per 24 jam.

Rencana Paket Wisata

Direncanakan paket wisata yang diarahkan oleh pemandu baik untuk pengunjung perorangan atau grup, dan paket tanpa pemandu. Kebun akan memasarkan paket wisata dengan target wisata edukasi bagi pelajar, disamping kalangan umum. Paket dasar adalah tour dalam kebun pada unit II dan III. Paket khusus ditawarkan bagi pengunjung yang berminat dalam memancing, memanen produk kebun, atau mengikuti pelatihan dalam pembibitan, penanaman, perikanan dan peternakan.

KESIMPULAN

Lahan di sekitar Gunung Leutik memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi Kebun Wisata. Letak yang strategis, dan objek wisata pertanian yang tersedia dari unit-unit pertanian yang dikelola Pesantren Pertanian Darul Fallah dan masyarakat Kampung Gunung Leutik, merupakan unsur kuat pembukaan lokasi sebagai tempat wisata. Kebun Wisata yang direncanakan akan menyajikan objek wisata pembibitan tanaman, kebun buah, peternakan, perikanan air tawar, pengolahan yogurt, hamparan padi, palawija dan tanaman sayuran. Selain itu dalam kebun direncanakan taman pada 2 lokasi untuk digunakan sebagai piknik dan aktivitas kelompok dari pengunjung. Untuk pelayanan

pengunjung, kebun akan dilengkapi dengan fasilitas pelayanan untuk istirahat, makan-minum, belanja souvenir produk pertanian, dan fasilitas sanitary. Kebun direncanakan akan menawarkan paket wisata tour dalam kebun, dan paket khusus seperti wisata panen kebun, dan pelatihan penanaman, pembibitan, peternakan, dan perikanan

Dalam pengembangan objek wisata kebun buah dalam kebun, disarankan untuk dilakukan penyiapan lahan berteras mengingat blok yang akan dikembangkan memiliki kontur bergelombang. Selain itu disarankan penyiapan reservoir air dan jaringan distribusi air irigasi untuk penyiraman.

Agar kebun diminati pengunjung disarankan inovasi paket wisata tour kebun yang menarik dengan memanfaatkan kunjungan ke objek-objek wisata, dengan melibatkan kelompok tani dalam pemanduan dan penyediaan souvenir kebun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada DP2M yang telah memberi dukungan penelitian ini melalui skema hibah kompetensi. Demikian pula terima kasih disampaikan kepada LPPM IPB yang mengarahkan penelitian ini. Kepada Pengurus Yayasan Pesantren Pertanian Darul Fallah, serta Kelompok Tani Asih dan Kelompok Tani Bina Sehat Lestari Desa Benteng Kecamatan Ciampea Kabupaten Bogor disampaikan terima kasih atas kerjasamanya dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Dahl, B. and D.J. Molnar. 2003. *Anatomy of a Park, Essentials of Recreation Area Planning and Design*, Waveland Press, Long Grove Illinois.
- F.A.O. 1976. *A Framework for Land Evaluation*. FAO Soils Bull. No.32. Rome. 72 pp. And ILRI Publication No.22 Wageningen.
- Kraus, G.R. 1977. *Recreation Today, Program Planning and Leadership*. Godyear Publishing Company, Inc. Santa Monica, California.
- Laurie, M. 1990. *Pengantar Kepada Arsitektur Pertamanan (Terjemahan)*. Penerbit Intermatra, Bandung.

Mason, P. 2003. *Tourism Impacts, Planning and Management*. Elsevier-Butterworth Heineman, Oxford.

Mulgiati, U., N. Nasrullah, dan B. Sulistyantara, 2010. Pengaruh Penutupan Vegetasi terhadap Kenyamanan Kota. *Prosiding Simposium Ilmiah Nasional Ikatan Arsitek Lansekap Indonesia*, 10 November 2010, hal 180-188.

Verheij, E.W.M., and R.E. Coronel (Ed), 1992. *Plant Resources of South-East Asia. No.2 Edible Fruits and Nuts*. Prosea Foundation, Bogor, Indonesia

Weaver, D. 2001. *Ecotourism*. John Willey & Son Australia, Ltd.

Simonds, J.O. 1983. *Landscape Architecture. A Manual for Landscape planning and Design*. Mc. Grow Hill Pub. Company. NY.

Tirtawinata, M.R., dan L. Fachruddin, 1996. *Daya Tarik dan Pengelolaan Agrowisata*. Penebar Swadaya, Jakarta.

POLA RAPD, AKTIVITAS TRYPSIN INHIBITOR DAN α -AMYLASE INHIBITOR PADA POHON SENGON (*Paraserianthes falcataria*) YANG TAHAN TERHADAP SERANGAN HAMA BOKTOR (*Xystrocera festiva*)
(RAPD Pattern, Trypsin and α -Amylase Inhibitor Activities of Sengon Tree (*Paraserianthes falcataria*) Resistant to Stem Borer (*Xystrocera festiva*))

Noor Farikhah Haneda, Ulfah Juniarti Siregar
Dep. Silvikultur, Fakultas Kehutanan, IPB

ABSTRAK

Tanaman yang banyak dikembangkan pada program pembangunan hutan, baik hutan tanaman maupun hutan rakyat di Indonesia saat ini salah satunya adalah sengon (*Paraserianthes falcataria*). Hambatan dalam pengusahaan sengon adalah adanya serangan hama penggerek batang Boktor (*Xystrocera festiva*). Oleh karena itu penelitian bertujuan mempelajari: a) ukuran dan jumlah populasi larva boktor per pohon, serta pertumbuhan larva pada *artificial diet*, b) keragaman genetik sengon berdasarkan analisa RAPD, c) kandungan dan aktivitas inhibitor enzim trypsin dan α -amylase pada kulit dan batang sengon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa larva pada kulit pohon memiliki ukuran panjang dan berat larva yang lebih kecil dibandingkan larva pada batang. Larva boktor dapat hidup pada *artificial diet* tetapi tidak optimum pertumbuhannya. Kondisi dan bagian pohon menunjukkan adanya pengaruh terhadap kandungan dan aktivitas inhibitor enzim sedangkan provenan tidak berpengaruh terhadap aktivitas inhibitor enzim. Analisis penanda RAPD belum dapat memilah atau membedakan asesi Sengon yang resisten terhadap hama boktor dengan asesi yang rentan, sedangkan analisis penanda mikrosatelit dapat menunjukkan asesi sengon yang resisten mengelompok secara terpisah dengan asesi yang rentan. Hal ini mengindikasikan bahwa secara genetis asesi sengon yang resisten berbeda dengan asesi sengon yang rentan. Dengan demikian penanda mikrosatelit yang dicobakan telah mampu menjadi fingerprint yang membedakan kedua macam asesi tersebut.

Kata kunci: Sengon, trypsin, α -amylase, inhibitor, RAPD-microsatellite.

ABSTRACT

One of most widely developed and utilized tree species for forestry development program in Indonesia, either plantation or community forest is sengon (*Paraserianthes falcataria*). Main problem faced in the monoculture plantation is stem borer or boktor attack (*Xystrocera festiva*). This research aimed at studying: a) the size and number of boktor larvae in an invested tree, also larvae growth on an artificial diet, b) genetic diversity of sengon trees based on RAPD analysis, c) activities of trypsin dan α -amylase inhibitor in the bark and stem of sengon trees. Research results showed that larvae population in the bark had smaller length and weight compared to those found in the stem. Boktor larvae could survive on the artificial diet, however their growth were limited. Different tree condition and tissue had significantly showed different activities of enzyme inhibitors, while provenance didn't give significant effect on the inhibitor activities. Molecular analysis using RAPD had not been able to differentiate resistant Sengon accession from susceptible one. Meanwhile analysis using microsatellite markers showed that resistant sengon accession clustered together and differed from susceptible one. The findings indicated that resistant sengon accession is genetically different from susceptible one. This result showed that microsatellite markers used could be used as fingerprint to differentiate two different accession of sengon tree.

Keywords: Sengon, trypsin, α -amylase, inhibitor, RAPD- microsatellite.

PENDAHULUAN

Tanaman yang banyak dikembangkan pada program pembangunan hutan, baik hutan tanaman maupun hutan rakyat di Indonesia saat ini salah satunya adalah sengon dengan nama ilmiah *Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen). Salah satu kelebihan pohon sengon adalah pertumbuhannya cepat dan kegunaan kayunya yang beragam. Hambatan dalam pengusahaan sengon adalah adanya serangan hama boktor (*Xystrocera festiva* Pascoe). Hama ini menyerang batang sengon sejak pohon berumur 3 tahun. Hama ini berkembangbiak sangat cepat karena adanya peningkatan jumlah pohon sengon yang merupakan makanannya. Usaha pengendalian sudah banyak dilakukan dengan menggunakan berbagai macam teknik tetapi masih belum menunjukkan hasil yang memuaskan. Hal ini disebabkan perilaku hidup hama boktor yang tinggal di bawah kulit dan di dalam batang sengon sehingga sulit dijangkau oleh agen pengendali (agen biologi dan pestisida) dan secara mekanis dengan penyetaan kulit juga memerlukan biaya tinggi dan waktu yang lama. Oleh karena itu pendekatan secara genetik (pemuliaan pohon) diharapkan dapat membantu usaha pengendalian hama boktor ini.

Di dalam pencernaan hama boktor terdapat aktivitas enzim *trypsin* dan α -*amylase* yang mempunyai pola aktivitas enzim yang linear (Prasetya 2007). Pada pohon sengon diketahui terdapat senyawa yang dapat bersifat sebagai inhibitor bagi kerja enzim *trypsin* yang terdapat pada pencernaan boktor (Winarni 2003). Inhibitor tersebut memiliki aktivitas yang berbeda pada setiap bagian pohon sengon. Adanya fenomena ini menjadi dasar untuk penyusunan strategi pengendalian hama yang efektif, juga untuk mendapatkan provenan yang tahan terhadap serangan boktor, dimana aktivitas tripsin dan α -amilase inhibitor sebagai salah satu indikator pemilihan provenan resisten.

Strategi pengembangan sengon dengan karakter resisten terhadap hama boktor memerlukan penelitian tentang aktivitas inhibitor. Penelitian inhibitor enzim ini dapat digunakan untuk menyeleksi provenan yang tahan ataupun toleran terhadap hama boktor. Informasi tersebut dapat digunakan untuk mendapatkan bibit sengon yang unggul, yaitu memiliki kandungan aktivitas *trypsin* inhibitor

dan α -amylase inhibitor yang besar sehingga dapat menghambat kerja enzim *trypsin* dan α -amylase yang ada di pencernaan boktor. Informasi yang diperoleh hasil penelitian ini sangat berguna dalam kegiatan pemuliaan pohon sengon yang resisten terhadap serangan hama boktor.

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari kandungan dan aktivitas tripsin dan α -amilase inhibitor pada berbagai bagian pohon sengon, yaitu batang, kulit batang dan berbagai kondisi pohon sengon, yaitu sehat dan sakit, serta keragaman genetik sengon berdasarkan analisa RAPD.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini terdiri dari 4 kegiatan utama, yaitu: a) pengamatan pendahuluan tentang distribusi larva per pohon sengon, b) pengamatan pertumbuhan larva boktor pada *artificial diet*, c) analisa keberadaan tripsin dan α amilase inhibitor pada pohon sengon dan d). Analisa keragaman genetik menggunakan metode RAPD dan mikrosatelit.

Pengamatan distribusi larva dilakukan dengan menghitung larva kecil sampai larva berukuran besar pada sengon yang terserang boktor. Kajian pertumbuhan larva boktor dengan *artificial diet* menggunakan bahan utama serbuk kulit dan serbuk kayu sakit dan sengon sehat serta larva uji dengan dua ukuran yaitu kecil (1-1.5 cm) dan besar (1.5-3 cm). Analisa inhibitor dilakukan terhadap 3 bagian pohon yaitu a) daun b) kulit kayu, tempat menetasnya telur dan tempat makannya larva yang baru menetas, b) batang kayu, tempat larva stadium lanjut makan dan berpupa, pada sampel pohon yang sehat dan terserang (sakit). Di dalam mempelajari mekanisme resistensi pohon sengon terhadap hama boktor dikaji dengan menggunakan 2 cara, yaitu: a) mereaksikan ekstrak bagian pohon yang mengandung *trypsin inhibitor* dan α -amilase inhibitor dengan enzim tripsin dan α -amilase yang berasal dari ekstrak perut boktor, b) bio-assay ekstrak bagian pohon yang mengandung *trypsin inhibitor* dan α -amilase inhibitor menggunakan enzim sintesis. Selanjutnya untuk mengetahui adanya keragaman genetik pohon sengon dilakukan analisis RAPD dengan menggunakan daun sebagai sampel. Sampel pohon yang digunakan sama dengan sampel untuk analisis aktivitas

inhibitor. Teknik analisis genetik dengan penanda RAPD terbagi dalam berbagai tahap pekerjaan, yaitu tahapan ekstraksi DNA, uji kualitas dan kuantitas DNA. Pengujian kuantitas DNA dilakukan dengan proses PCR-RAPD. Selain menggunakan analisis RAPD, juga dilakukan analisis menggunakan penanda mikrosatelit. Provenan sengon yang digunakan dari Subang., Kediri dan Solomon.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kisaran Panjang dan Berat Badan Larva Boktor pada Kulit dan Kayu Sengon. Tahap awal pertumbuhan larva boktor hanya dapat ditemukan pada bagian kulit saja, karena telur boktor biasanya diletakkan oleh induknya pada kulit pohon secara berkelompok. Larva yang keluar dari telurnya secara bersama-sama menggerok kulit bagian dalam kayu mudanya, kemudian larva mengebor ke dalam batang pohon yang lebih dalam dan gerakannya kearah atas dan akhirnya berpupa didalam kayu (Suratmo 1974). Berdasarkan Table 1 dapat dilihat bahwa ukuran panjang boktor yang terdapat pada bagian kambium kulit memiliki rata-rata lebih rendah dibandingkan ukuran panjang boktor yang ditemukan pada bagian kayu. Hal ini membuktikan bahwa pada tahap awal perkembangan larva ada di bagian kulit.

Tabel 1. Nilai rata-rata panjang larva boktor dan berat badan boktor pada kulit dan kayu sengon provenan Kediri dan Subang.

Provenan	Bagian Pohon	Jumlah Larva	Panjang Larva (cm)	Berat Larva (g)
Kediri	Kayu	68	3,60 ± 0,34	0,88 ± 0,27
Subang	Kayu	94	3,40 ± 0,48	0,79 ± 0,22
	Kulit	15	2,20 ± 0,50	0,38 ± 0,14

Perkembangan Larva Boktor pada Artificial Diet. Berdasarkan hasil kajian pertumbuhan larva pada *artifial diet* belum menunjukkan hasil yang memuaskan. Larva yang dipelihara menunjukkan aktivitas makan pada *artifial diet* tetapi sering terjadi kegagalan mencapai pupa atau dewasa. Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan data yang tidak konsisten diantara provenan, kondisi dan bagian pohon sengon. Menurut Pasaribu (2008) pada bagian kulit sengon terdapat banyak kandungan tripsin inhibitor. Hasil dari penelitian ini tidak sejalan dengan penelitian sebelumnya, seharusnya larva lebih menyukai kondisi yang sakit karena

lebih rendah kandungan tripsin inhibitornya. Menurut Pasaribu (2008), hal tersebut bisa saja terjadi, karena pada pencernaan larva boktor terutama larva kecil terdapat banyak enzim dalam tubuhnya, sehingga inhibitor bekerja menghambat kerja enzim lainnya yang menyebabkan aktivitas tripsin inhibitor menjadi kecil.

Tabel 2. Ringkasan penambahan tiap parameter pengamatan dalam *artificial* diet

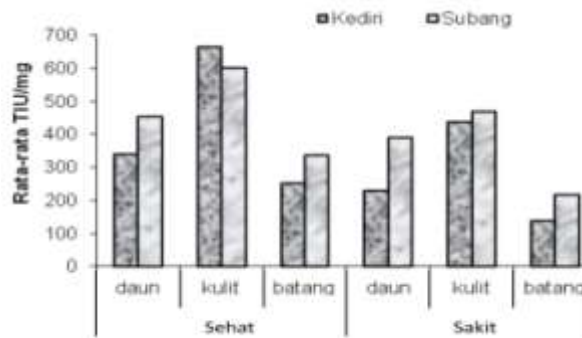
Jenis Serbuk	Parameter pengamatan			
	Panjang larva	Berat larva	Diameter kepala larva	Berat konsumsi makanan
Serbuk batang				
Tertinggi	BSH	BSH	BSK	BSH
Terendah	BKH	BKK	BKK	BKH
Serbuk kulit				
Tertinggi	KSH	KKH	KSK	KSH
Terendah	KSK	KKK	KSH	KSH

Ket.: BSH=Batang Solomon Sehat, BSK=Batang Solomon Sakit, KSH=Kulit Solomon Sehat, KSK=Kulit Solomon Sakit, BKH=Batang Kediri Sehat, BKK=Batang Kediri Sakit, KKH=Kulit Kediri Sehat, KKK=Kulit Kediri Sakit

Aktivitas Trypsin inhibitor. *Trypsin* inhibitor adalah senyawa yang mempunyai kemampuan untuk menghambat aktivitas proteolitik enzim *trypsin*. Senyawa tersebut telah ditemukan pada beberapa bahan pangan nabati, terutama jenis kacang-kacangan yang termasuk kedalam famili Leguminoceae. Senyawa aktifnya merupakan suatu protein. Gambar 1 menunjukkan bahwa aktivitas *trypsin* inhibitor pada bagian daun, kulit, dan kayu pohon sehat lebih tinggi dibandingkan pohon sakit. Hal ini sejalan dengan Prasetya (2007) yang menyatakan bahwa nilai TIU (*Trypsin Inhibitor Unit*) pada pohon sengon berbagai provenan yang tidak terserang dan yang terserang boktor terlihat berbeda nyata.

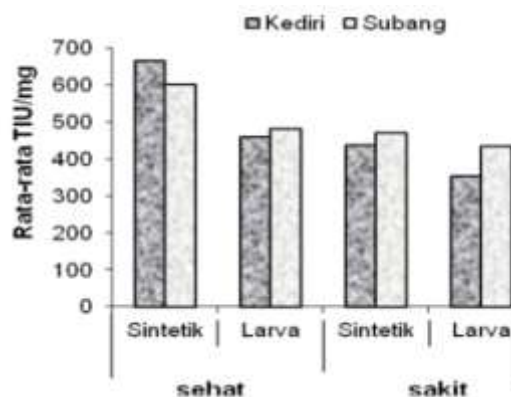
Provenan Subang memiliki nilai aktivitas yang lebih rendah dibandingkan dengan provenan Kediri pada bagian kulit. Hal ini juga terbukti pada hasil penelitian Prasetya (2007) bahwa nilai TIU/mg tertinggi terdapat pada provenan Kediri. Berdasarkan ketiga bagian pohon yang diuji, maka kulit merupakan bagian pohon yang paling tinggi aktivitas *trypsin* inhibitornya baik di pohon yang sehat maupun pada pohon yang terserang boktor dan yang terendah adalah pada bagian batang. Hasil ini sesuai dengan Pasaribu (2008) yang juga meneliti aktivitas

trypsin inhibitor pada pohon sengon provenan Cianjur, dimana aktivitas *trypsin* inhibitor pada bagian batang lebih rendah daripada bagian kulit. Hal ini menunjukkan bahwa ketahanan pohon sengon terhadap boktor berada pada bagian kulit.



Gambar 1. Histogram aktivitas *trypsin* inhibitor pohon sehat dan pohon sakit provenan Kediri dan provenan Subang.

Perbandingan Aktivitas Trypsin Inhibitor Menggunakan Enzim Sintetik dan Enzim Alami dari Pencernaan Larva Boktor. Penggunaan enzim dari ekstrak pencernaan boktor untuk menguji aktivitas *trypsin* inhibitor disebabkan karena diketahui terdapat enzim *trypsin* di dalam saluran pencernaan tersebut. Menurut Prasetya (2007), enzim *trypsin* mempunyai pola aktivitas enzim yang linier negatif, yaitu pada ukuran larva yang terkecil mempunyai aktivitas enzim *trypsin* terbesar kemudian cenderung menurun dengan semakin bertambahnya panjang larva. Pada ekstrak pencernaan larva boktor ini, ukuran larva yang digunakan adalah 1,5 cm dan yang diuji *trypsin* inhibitorynya hanya bagian kulit pohon, karena bagian kulit memiliki nilai aktivitas *trypsin* inhibitor terbesar dibandingkan dengan bagian daun dan batang. Pada ukuran tersebut, larva boktor banyak mencerna protein, sehingga aktivitas enzim *trypsin* yang dihasilkan akan tinggi. Namun, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa aktivitas *trypsin* inhibitor menggunakan enzim dari larva boktor lebih rendah dibandingkan dengan enzim sintetik. Hal ini berlaku pada masing-masing provenan dan pada pohon sehat dan pohon sakit (Gambar 2).



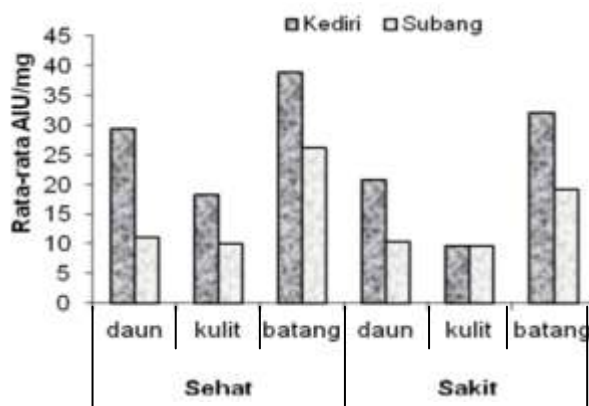
Gambar 2. Histogram perbandingan aktivitas *trypsin* inhibitor dengan menggunakan enzim sintetik dan enzim dari pencernaan larva boktor pada provenan Kediri dan Subang.

Tingginya aktivitas *trypsin* inhibitor yang ditemukan ketika menggunakan enzim sintetik dibandingkan dengan menggunakan enzim yang berasal dari pencernaan larva boktor, disebabkan karena enzim dari pencernaan larva boktor belum mengalami pemurnian. Hal ini diduga karena pada pencernaan larva boktor terdapat banyak enzim, sehingga inhibitor bekerja menghambat kerja enzim yang lainnya yang menyebabkan nilai TIA (*Trypsin Inhibitor Activity*) menjadi kecil.

Studi Aktivitas α -amylase Inhibitor. Senyawa *α -amylase Inhibitor* aktif dalam menghambat enzim *α -amylase* yang terdapat pada pencernaan mamalia, serangga, serta "*avian amylase*", tetapi tidak aktif menghambat enzim *amylase* tanaman lainnya dan juga *amylase* yang berasal dari fungi serta bakteri (Tucker 1995).

Pada studi aktivitas *α -amylase* inhibitor ini, provenan Subang memiliki aktivitas *α -amylase* inhibitor lebih rendah dibandingkan dengan provenan Kediri. Pada provenan Kediri maupun Subang, bagian batang merupakan bagian yang memiliki AIA yang paling tinggi, sedangkan bagian pohon yang memiliki AIA (*Alfa-amylase inhibitor Activity*) terendah adalah kulit (Gambar 3). Hal ini disebabkan karena pada lapisan kulit pohon sengon bagian luar mengandung pati dalam jumlah yang sedikit (Dietrich *et al.* 1978 dalam Prasetya 2007). Bagian batang cenderung mengandung banyak karbohidrat, sehingga boktor mensintesa enzim *α -amylase* untuk mencerna karbohidrat tersebut. *Alfa-amylase inhibitor*

paling tinggi ditemukan pada pohon sehat, karena fungsi fisiologis tanaman masih normal, sehingga tanaman memiliki kemampuan untuk bertahan.



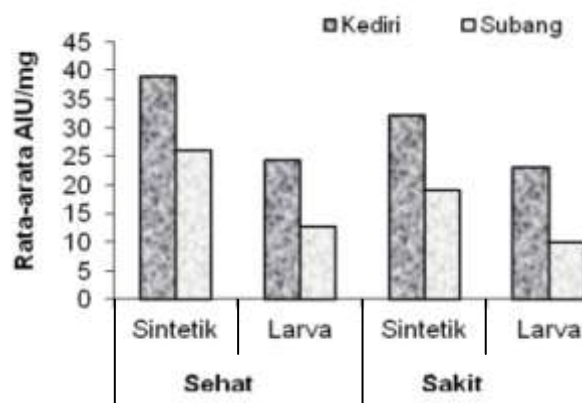
Gambar 3. Histogram aktivitas α -amylase inhibitor pohon sehat dan pohon sakit provenan Kediri dan Subang.

Perbandingan Aktivitas α -amylase Inhibitor Menggunakan Enzim Sintetik dan Enzim Alami dari Pencernaan Larva Boktor (*Xystrocera festiva*).

Mekanisme kerja α -amylase terdiri dari dua tahap yaitu tahap pertama berupa degradasi amilosa menjadi maltosa dan maltotriosa yang terjadi secara acak. Tahap kedua terjadi pembentukan glukosa dan maltosa sebagai hasil akhir dan terjadi dengan tidak acak. Pada pencernaan larva boktor terjadi suatu proses yaitu pemecahan molekul nutrisi kompleks menjadi molekul-molekul cukup kecil, sehingga mudah untuk diabsorpsi. Dalam pencernaan larva boktor juga terjadi likuifikasi yaitu suatu proses pencairan gel pati dengan menggunakan enzim α -amylase yang menghidrolisa pati menjadi molekul-molekul yang lebih kecil (Muchtadi 1993).

Dalam analisa ini, larva yang digunakan adalah ukuran 3,5 cm, karena aktivitas enzim α -amylasenya paling tinggi. Menurut Prasetya (2007) aktivitas enzim α -amylase mempunyai peningkatan yang berarti pada panjang larva 1,5 cm sampai 3,5 cm, dan mengalami penurunan pada panjang larva 4 cm sampai 5 cm. sampel yang diuji adalah hanya pada bagian kayu saja, karena nilai AIA tertinggi terdapat pada bagian kayu. Aktivitas α -amylase inhibitor sintetik dan enzim ekstrak pencernaan larva boktor pada provenan Subang menunjukkan nilai lebih kecil dibandingkan provenan Kediri. Pohon sakit memiliki aktivitas enzim α -

amylase inhibitor lebih kecil dari keadaan sehat, baik dengan menggunakan enzim sintetis dan enzim larva boktor. Rendahnya AIA pada pohon sakit menyebabkan mudahnya hama boktor menyerang pohon sengon, sehingga diharapkan agar pohon tidak diserang hama, maka harus memiliki AIA yang lebih rendah dari AIA yang terserang (Gambar 4).



Gambar 4. Histogram perbandingan aktivitas α -*amylase* inhibitor menggunakan enzim sintetis dan enzim ekstrak pencernaan larva boktor pada provenan Kediri dan provenan Subang.

Di dalam proses pengamatan aktivitas inhibitor pada setiap bagian pohon dengan metode pemanfaatan enzim dari pencernaan boktor, ada kemungkinan nilai yang dihasilkan lebih tinggi maupun lebih rendah dibandingkan dengan unit inhibitor yang dihasilkan melalui pengamatan dengan enzim sintesis. Menurut Bergmeyer (1974) hal ini disebabkan ada 3 macam proses penghambatan yang mungkin terjadi, yaitu:

1. Aktivitas dari proenzymes dalam serum, sekresi dan ekstrak dari pankreas
2. *Progressive inhibition* ("slow-reacting inhibitors) dan pe-non aktifan enzim karena senyawa protein maupun autolysis.
3. *Temporary inhibition*, penghambatan kerja enzim karena inhibitor atau karena "protease"lain

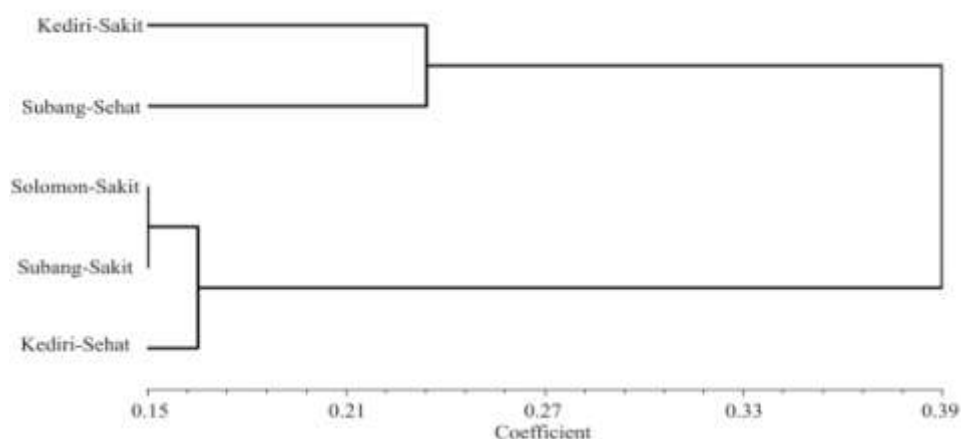
Analisa RAPD. Pada penelitian Tahun I, metoda molekuler untuk mendapatkan penanda RAPD pada Sengon telah didapatkan. Proses isolasi DNA tanaman Sengon yang cukup sulit dilakukan, karena jaringan tanaman banyak mengandung polisakarida, yang mengganggu proses pemurnian DNA, telah dapat diatasi. Walaupun pengujian kualitas DNA menunjukkan bahwa DNA

mempunyai konsentrasi yang agak rendah, namun penggunaannya sebagai template pada proses PCR telah menghasilkan fragment hasil amplifikasi. Sebanyak 17 primer dari 23 primer yang dicobakan, berhasil memberikan produk PCR. Dipilih 5 primer dari 17 primer tersebut, yang terbaik, dan kemudian dipakai untuk menganalisa sampel tanaman yang ada. Primer yang dipakai pada Tahun I adalah primer OPA-07, OPO-10, OPY-13, OPY-16, dan OPY-18, yang menghasilkan 39 lokus RAPD.

Sampel tanaman yang dianalisa pada Tahun I terdiri dari dua kategori, yaitu pohon Sengon yang rentan terhadap hama boktor, yang ditunjukkan dari beratnya serangan yang dialami, dan pohon yang resisten terhadap hama yang sama, yang ditunjukkan dengan tidak ada serangan yang terdeteksi pada individu pohon tersebut, meskipun individu tersebut tumbuh berdekatan dengan pohon yang rentan. Sampel diambil dari 3 provenan, yaitu Kediri, Solomon dan Subang, dengan jumlah individu yang terbatas untuk masing-masing provenan, yaitu berkisar antara 2 hingga 3 individu per provenan, per kategori.

Hasil akhir analisa RAPD pada Tahun I, yaitu berupa dendrogram jarak genetic antar asesi yang dianalisa, menunjukkan bahwa asesi pohon yang sakit tidak terpisah secara jelas dengan asesi pohon yang sakit (Gambar 5). Hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan penanda RAPD belum dapat membedakan dan memilah antara asesi pohon Sengon yang rentan dengan pohon yang resisten terhadap hama. Selain itu juga terlihat bahwa asesi dari provenan yang sama ternyata tidak mengelompok bersama, yang mengindikasikan bahwa penanda RAPD juga belum dapat membedakan asesi dari provenan yang berbeda.

Pada Tahun ke II strategi sampling diubah untuk mengklarifikasi hasil analisa pada Tahun I, dimana lebih banyak jumlah sampel pohon diambil dari satu populasi yang sama, yaitu Kediri. Hal ini untuk menghindari adanya kemungkinan perbedaan provenan mempengaruhi analisa untuk memilah asesi yang rentan dengan yang resisten. Sebanyak 10 pohon yang rentan dan 10 pohon resisten dari satu plot per tanaman yang sama telah diambil sebagai contoh.



Gambar 5. Dendrogram jarak genetik antar famili Sengon menggunakan analisa RAPD.

Keempat primer yang dipakai dalam analisa menghasilkan 27 lokus, dengan ukuran fragmen berkisar antara 250 bp – 1400 bp. Jumlah lokus yang dihasilkan dengan primer OPB-10 adalah 11 lokus, pada primer OPA-3 adalah 8 lokus, primer OPB-4 adalah 4 lokus, dan OPA-5 adalah 4 lokus.

Keragaman Genetik Populasi Kediri. Hasil perhitungan parameter keragaman genetik populasi Kediri yang diteliti, berdasarkan penanda RAPD dapat dilihat pada Tabel 3. Walaupun dibandingkan dengan hasil analisa keragaman genetik pada Tahun I terlihat adanya penurunan pada nilai Heterozigositas harapan (H_e) dari 0.2990 menjadi maksimum 0.1739 (pada populasi pohon sehat) namun keragaman genetik yang didapat masih cukup baik, karena masih diatas 10%. Hal ini dapat dimengerti, karena pada Tahun ke II sampel tanaman hanya diambil dari satu populasi saja, sehingga banyak kemungkinan populasi tersebut lebih homogen dibandingkan populasi Tahun I.

Tabel 3. Hasil estimasi parameter keragaman genetik berdasarkan RAPD sengon Kediri

No	Populasi	Jumlah sample	PLP	Na	Ne	He
1	Kediri sehat	13	83.33%	1.8333	1.2619	0.1739
2	Kediri terserang	12	69.70%	1.6970	1.1576	0.1156

Keterangan:

na : Jumlah alel yang diamati, Ne : Jumlah alel yang efektif,

He : Heterozigitas harapan = keragaman gen, PLP : Persentase Lokus Polimorfik

Analisa data keragaman secara lebih jauh menggunakan AMOVA dapat dilihat pada Tabel 4. Karena populasi yang dianalisa hanya satu, terlihat bahwa seluruh sumber keragaman yang didapatkan berasal dari dalam populasi (100%). Kebanyakan tanaman hutan tropis mempunyai keragaman yang tinggi di dalam populasi, dibandingkan antar populasi.

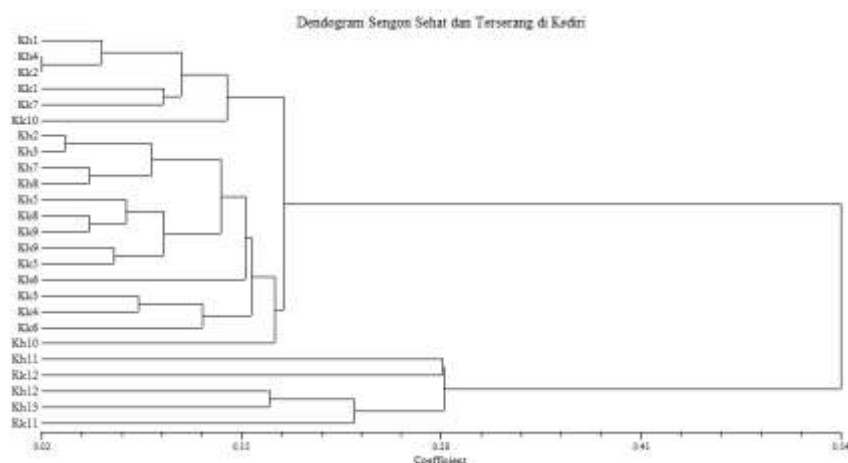
Tabel 4. Hasil AMOVA dari RAPD tanaman sengon dari Kediri yang resisten dan rentan terhadap hama boktor.

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	Est.Var.	%
Antar Populasi	1	7,165	7,165	0,000	0%
Dalam Populasi	23	169,955	7,389	7,389	100%
Total	24	177,120		7,389	100%

Jarak Genetik antar Asesi. Penghitungan jarak genetik dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kemiripan/perbedaan satu asesi atau satu populasi, dengan asesi atau populasi lain yang dibandingkan secara genetis. Dari hasil penghitungan tersebut, kemudian dibuat sebuah dendrogram, yang mengelompokkan melalui penghitungan aritmetik, asesi-asesi atau populasi-populasi yang dianalisa menurut kemiripannya. Hasil pengelompokan dendrogram lebih memperjelas keterkaitan antar asesi secara genetis ini. Walaupun beberapa asesi dengan kategori yang sama cukup dekat mengelompok, namun didapatkan juga perbedaan yang cukup jauh atau dengan kata lain, didapatkan asesi yang mempunyai kategori yang berbeda, namun mengelompok bersama dengan cukup dekat (Gambar 6). Hal ini menggaris bawahi hasil temuan pada Tahun I, dimana penanda RAPD ternyata belum dapat memilah atau membedakan asesi Sengon yang resisten terhadap hama boktor dengan asesi yang rentan. Hal ini merupakan salah satu kelemahan penanda RAPD, yang menurut Weising (2005) mempunyai konsistensi kurang memadai.

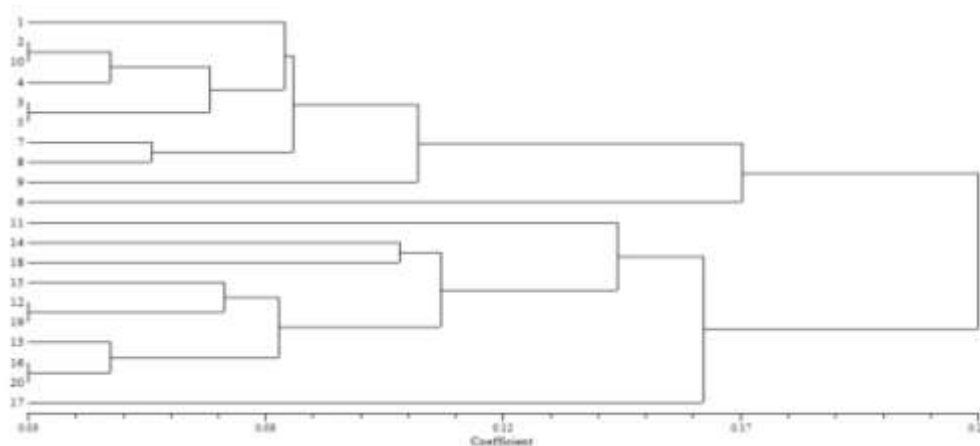
Walaupun penanda RAPD pernah berhasil dipakai sebagai fingerprint untuk membedakan tanaman *Pinus merkusii* yang resisten terhadap hama kutu lilin, dari yang rentan (Siregar 2007), tetapi pada tanaman sengon hasil yang didapatkan berbeda. Sehingga diperlukan pengembangan penanda lain yang lebih sensitive dan lebih konsisten dibandingkan RAPD, seperti penanda AFLP dan mikrosatelit.

Menurut Weising (2005) penanda AFLP memiliki kelebihan dalam hal konsistensi, karena adanya tahapan pemotongan produk PCR menggunakan enzim restriksi. Sedangkan mikrosatelit memiliki kelebihan dalam hal sensitivitas, karena lokus mikrosatelit yang merupakan sekuen repetitive tersebar merata pada genom tanaman, baik pada daerah gen maupun antar gen. Dengan demikian kemampuannya untuk menandai seluruh genom tanaman dapat lebih diandalkan, dan kemungkinan menemukan letak perbedaan antar asesi akan semakin besar.



Gambar 6. Dendrogram jarak genetik antar asesi sengon dari Kediri, yang resisten dan rentan terhadap hama boktor, berdasarkan penghitungan jarak genetik.

Analisa Data Penanda Mikrosatelit. Berdasarkan hasil PCR dilakukan skoring lokus mikrosatelit dan data ini kemudian dianalisa menggunakan software POPGENE ver. 3.2 untuk menghasilkan sebuah dendrogram yang menunjukkan perbedaan dan/atau persamaan secara genetik dari asesi-asesi sengon yang diteliti, yang dalam hal ini adalah pohon yang rentan terhadap hama boktor, serta tanaman-tanaman yang resisten. Gambar 7 menunjukkan bahwa asesi sengon yang resisten terhadap hama boktor mengelompok secara terpisah dengan asesi yang rentan. Hal ini mengindikasikan bahwa secara genetis asesi sengon yang resisten berbeda dengan asesi sengon yang rentan. Dengan demikian penanda mikrosatelit yang dicobakan telah mampu menjadi fingerprint yang membedakan kedua macam asesi tersebut.



Keterangan:

No. 1-10: Asesi sengon resisten hama Bektor , No. 11-20: Asesi sengon rentan hama boktor

Gambar 7. Dendrogram pengelompokan asesi-asesi sengon berdasarkan jarak genetik (Nei, 1987) menggunakan metode UPGMA.

Sementara itu percobaan molekuler yang menggunakan primer-primer yang didisain dari gen-gen proteinase inhibitor belum menunjukkan hasil yang memuaskan. Optimasi masih terus dilakukan, dengan mengubah konsentrasi komponen reaksi PCR, kondisi reaksi PCR, mencoba disain primer baru, serta penggunaan degeneratif primer.

KESIMPULAN

Faktor bagian dan kondisi pohon sehat dan sakit berpengaruh terhadap kandungan trypsin inhibitor dan α -amylase inhibitor. Aktivitas trypsin inhibitor tertinggi pada bagian kulit sedangkan aktivitas α -amylase inhibitor pada bagian kayu. Pada kondisi pohon sakit kandungan dan aktivitas enzim inhibitor lebih rendah dibandingkan dengan kondisi pohon sehat.

Famili dari populasi yang sama tidak selalu mempunyai jarak genetik yang berdekatan. Penanda RAPD ternyata belum dapat memilah atau membedakan asesi Sengon yang resisten terhadap hama boktor dengan asesi yang rentan. Dengan penanda mikrosatelit mengindikasikan bahwa secara genetik asesi sengon yang resisten berbeda dengan asesi sengon yang rentan. Dengan demikian

penanda mikrosatelit yang dicobakan telah mampu menjadi fingerprint yang membedakan kedua macam asesi tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami sampaikan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan yang telah memberikan dana melalui program penelitian Hibah Fundamental 2011, Perum Perhutani yang telah menyediakan hutan sengon sebagai bahan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Bergmeyer UH. 1974. *Methods of Enzymatic Analysis*. New York. Academic Press, Inc.
- Muchtadi D. 1993. Teknik evaluasi nilai gizi protein [disertasi]. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Pasaribu FA. 2008. Studi *trypsin* inhibitor dan α -*amylase* inhibitor pada bagian daun, kulit, dan kayu sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) [skripsi]. Bogor: Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor. Tidak dipublikasikan.
- Prasetya A. 2007. Studi tentang enzim *trypsin* dan α -*amylase* pada hama boktor (*Xystrocera festiva* Pascoe) serta inhibitor *trypsin* pada pohon sengon [skripsi]. Bogor: Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor. Tidak dipublikasikan.
- Siregar U.J., Prasetya A, Marta A.K dan Haneda N.F.. 2007. Hubungan antara Pohon Inang Sengon (*Paraserianthes falcataria*) dengan Aktifitas Enzim Pencernaan Larva Boktor (*Xystrocera festiva*). Kumpulan Abstrak Konferensi Nasional Konservasi Serangga pada Bentang Alam Tropis: Peluang dan Tantangan. Bogor, 27-30 Januari 2007.
- Suratmo FG. 1974. Hama Hutan di Indonesia (Forest Entomology). Proyek Peningkatan Mutu Perguruan Tinggi. Institut Pertanian Bogor.
- Weising K, Nybom H, Wolff K and Kahl G. 2005. *DNA Fingerprinting in Plants Principles, Methods and Applications*. Boca Raton: CRC Press.
- Winarni I. 2003. Studi keragaman *trypsin* inhibitor dan keragaman genetik isoenzim pohon plus sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) pada hutan rakyat di Jawa Barat [tesis]. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.

**PENGEMBANGAN JARAK PAGAR (*JATROPHA CURCAS* LINN.)
DALAM SISTEM AGROFORESTRY DI AREAL PERUM PERHUTANI
UNIT III JAWA BARAT DAN BANTEN**

(Development of Jarak Pagar (*Jatropha curcas* Linn.) in Agroforestry System in
Forest Area of Perum Perhutani Unit III West Java and Banten)

Nurheni Wijayanto, Lailan Syaufina, Istomo
Dep. Silvikultur, Fakultas Kehutanan, IPB

ABSTRAK

Jarak pagar (*J. curcas*) telah lama dikenal masyarakat sebagai tanaman penghasil bioenergi sejak jaman kolonial yang saat ini dicanangkan pemerintah Indonesia sebagai sumber energi alternatif pengganti Bahan Bakar Minyak (BBM). Namun diketahui pula bahwa produktivitas biji jarak sebagai bahan bakar BBN tidak terlalu tinggi, sehingga dikhawatirkan program pengembangan jarak pagar dengan produksi massal pada tanah produktif kurang menguntungkan. Penelitian ini dilakukan di Taman Hutan Hambalang, Perum perhutani Unit III Jawa Barat dan Banten. Tujuan jangka panjang dari penelitian ini adalah jarak pagar dapat dijadikan salah jenis tanaman unggulan dalam sistem agroforestry melalui serangkaian percobaan penanaman di lapangan dan hasil uji ekologi. Metode pada tahun pertama adalah kegiatan penanaman jarak pagar dalam sistem agroforestry; Pada tahun ke dua melakukan pengukuran pertumbuhan jarak pagar dan produksi buah jarak pagar serta produktivitas lahan dan kualitas lingkungan; Pada tahun ke tiga pengukuran pengaruh tegakan mahoni terhadap pertumbuhan dan produksi jarak pagar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: (1) pertumbuhan dimensi tanaman jarak pagar dan produksi buah jarak pagar tertinggi pada tanaman jarak pagar yang memperoleh cahaya matahari terbesar, (2) laju dekomposisi pada serasah daun jarak pagar lebih cepat terdekomposisi dibandingkan serasah daun mahoni (3) penanaman jarak pagar pada tanaman mahoni muda mempunyai tingkat aliran permukaan, sedimen dan erosi rendah, (4) tegakan mahoni muda lebih baik pengaruhnya terhadap diameter, tinggi, panjang, lebar, luas tajuk dan produksi jarak pagar, dibandingkan dengan tegakan mahoni tua, (5) perakaran horisontal pohon mahoni muda lebih pendek dan belum saling tumpang tindih dibandingkan dengan perakaran horisontal pohon mahoni tua. Kesimpulan penelitian ini adalah tanaman jarak pagar dapat digunakan dalam sistem agroforestry untuk pembangunan hutan tanaman.

Kata kunci: Jarak pagar, sistem agroforestry, hutan tanaman, pertumbuhan, mahoni.

ABSTRACT

Jarak pagar (*Jatropha curcas* Linn.) has been long known by community as bioenergy crop since the colonial era, that is currently promoted by the Government of Indonesia as fossil fuel (BBM) energy alternative. However, productivity of *jatropha* seed as biofuel has been known not too high, so it is in a great concern that development program of *jatropha* in mass production on productive land will be less beneficial. This study was conducted at forest park of Taman Hutan Hambalang, Perum Perhutani Unit III Jawa Barat and Banten. Long term objective of this study was *jatropha* can be one of selected species in agroforestry system through a series of planting trial in the field and ecological results. Method applied in the first year was planting activities of *Jatropha* in agroforestry system; The second year study collected information on *Jatropha* growth, fruit production of *Jatropha* and the effects of agroforestry on land productivity and environmental quality; the third year study collected information on the effects of mahogany stand on

the growth and production of *Jatropha*. The study revealed that: (1) decomposition rate of *Jatropha* leaf litter higher compared to that of mahogany, (2) the highest dimension growth and fruit production of *Jatropha* were found in *Jatropha* with receive more sunlight, (3) Planting of *Jatropha* in young mahogany stand had low surface run-off, sediment and erosion, (4) Young mahogany stand had better effects on diameter, height, crown width, crown area of *Jatropha* compared to old mahogany stand, (5) Horizontal rooting of young mahogany trees is shorter and not much overlapping compared to that of old mahogany trees. The conclusion of this study is that *Jatropha* can be used as one of the crops in the agroforestry system to develop forest plantation.

Keywords: *Jatropha*, agroforestry system, forest plantation, growth, mahogany.

PENDAHULUAN

Akhir-akhir ini permasalahan energi yang berasal dari Bahan Bakar Minyak (BBM) menjadi permasalahan pelik baik nasional maupun internasional. Di satu pihak kebutuhan akan BBM terus meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan perkembangan teknologi, di lain pihak pasokan dan persediaan BBM tidak lagi dapat mengejar permintaan/kebutuhan tersebut, di samping itu BBM termasuk jenis energi tak terbarukan. Oleh karena itu Pemerintah Indonesia telah mencanangkan pengembangan sumber energi alternatif yang bersifat terbarukan yaitu Bahan Bakar Nabati (BBN). Pengembangan BBN berdampak positif terhadap penyerapan lapangan kerja, pengembangan sumber-sumber ekonomi masyarakat dan peningkatan produktivitas lahan. Jenis-jenis tanaman sebagai BBN antara lain kelapa sawit, singkong dan jarak pagar.

Selama ini tanaman jarak pagar hanya ditanam sebagai pagar dan tidak diusahakan secara khusus. tanaman jarak pagar ini dapat beradaptasi dengan lahan maupun iklim di Indonesia bahkan tanaman ini dapat tumbuh dengan baik pada kondisi kering (curah hujan < 300 mm per tahun) maupun pada lahan dengan kesuburan rendah (lahan marjinal dan lahan kritis).

Di wilayah Indonesia timur (terutama di NTT dan NTB) tanaman jarak benar-benar dijadikan tanaman pagar utama untuk menjaga tanaman kebun/sawah dari gangguan ternak dan sebagai sekat bakar. Daun jarak pagar memang tidak disukai ternak sehingga tetap tumbuh dengan baik. Sifat pertumbuhan daunnya yang selalu hijau (*evergreen*) walaupun di musim kemarau, produksi serasah yang sedikit dan mudah terurai sehingga tanaman dapat berfungsi sebagai sekat bakar.

Penelitian Suryahadi dan Syaufina (2006) membuktikan bahwa tanaman jarak pagar memiliki karakteristik tanaman sekat bakar yaitu tahan kebakaran, selalu hijau, tajuknya rimbun, cepat tumbuh dan potensial untuk dikembangkan sebagai tanaman alternatif pengganti energi BBM dari produksi biji yang dihasilkan.

Harijadi (2005) menyarankan bahwa pembudidayaan tanaman jarak dapat menerapkan sistem tumpangsari dengan tanaman lain seperti jagung, wijen atau padi ladang sehingga selain mengurangi resiko serangan hama penyakit juga diversifikasi hasil. Selanjutnya Harijadi (2005) menunjukkan bahwa penanaman jarak pagar yang selama ini telah dilakukan sebagai tanaman tumpang sari dan tanaman pagar umumnya sedikit atau hampir tidak ada serangan hama dan penyakit yang berarti. Namun penanaman secara luas dengan sistem monokultur berpotensi munculnya hama, yang apabila tidak ditangani dengan baik akan mengganggu pertumbuhan tanaman. Jarak pagar relatif resisten terhadap hama dan penyakit, karena akar dapat berfungsi sebagai cadangan air, tumbuhan ini diketahui baik sebagai tumbuhan pioneer dan dapat mencegah erosi.

Di samping resiko hama dan penyakit jika ditanam secara monokultur, dikhawatirkan nilai ekonomis yang diperoleh kurang optimal jika ditanam pada tanah-tanah produktif. Jarak pagar mulai memproduksi biji setelah berumur 1 tahun. Produksi pada umur 5 tahun sebesar 6-10 ton/ha dengan kerapatan 2500-3300 pohon/ha (Harijadi, 2005), atau sekitar 2,4 -3,0 kg per batang.

Oleh karena itu jarak pagar (*J. curcas*) perlu dikembangkan dengan tujuan ganda (*mutipurpose*) :

1. Tanaman sekat bakar
2. Tanaman pagar (menjaga tanaman atau pekarangan dari gangguan ternak).
3. Tanaman konservasi tanah dan air (sebagai tanaman pioneer di lahan kritis dan mencegah erosi)
4. Tanaman produksi (hasil biji jarak untuk bioenergi) yang dapat meningkatkan nilai tambah dalam tanaman campuran.

Kelima fungsi tanaman jarak pagar tersebut dapat diwujudkan dalam sistem agroforestry (khususnya sistem tumpang sari dalam pembuatan tanaman di areal hutan produksi Perum Perhutani).

Luas hutan di Jawa yang dikelola oleh Perum Perhutani semakin menurun baik kualitas dan kuantitasnya. Secara ideal luas minimal hutan di Jawa paling tidak 30 % dari luas dataran, tetapi saat ini tinggal 18 %, akibat tekanan penduduk yang lapar lahan. Penggundulan dan luas lahan kritis di Jawa terus meningkat. Saat ini Perum Perhutani terus meningkatkan kualitas sistem pembangunan hutan di Jawa dengan teknologi tumpangsari, baik tumpangsari secara temporal (saat tanaman hutan muda) atau sistem tumpang sari sepanjang daur dengan sistem PHBM (Pembangunan Hutan Bersama Masyarakat) (Perum Perhutani, 1988). Karena sistem tersebut tampaknya solusi yang paling baik untuk mensinergikan tuntutan produksi hasil hutan, tuntutan lingkungan (konservasi tanah dan air) serta tuntutan kebutuhan masyarakat sekitar hutan.

Dalam sistem tumpangsari terdapat kontrak kerjasama antara Perum Perhutani dengan Pesanggem (petani penggarap) dalam memanfaatkan lahan hutan. Macam dan fungsi tanaman yang ditanam dikelompokkan menjadi : tanaman pokok, tanaman sela, tanaman pengisi, tanaman sisipan dan tanaman pagar. Jenis-jenis tanaman yang termasuk dalam kelompok-kelompok tersebut sudah ditentukan atas kesepakatan Perum Perhutani dengan Pesanggem Perum (Perhutani, 1990).

Tanaman jarak pagar (*J. curcas*) belum termasuk jenis pilihan untuk kelompok tanaman tersebut, padahal berdasarkan manfaat tanaman tersebut dapat dijadikan tanaman pagar, tanaman sela maupun tanaman sisipan. Namun memang ada keterbatasan jarak pagar dalam tanaman campuran, yaitu tanaman ini perlu cahaya penuh sepanjang hidupnya, sehingga perlu dilakukan pengaturan.

Penelitian ini dilakukan untuk uji coba penanaman jarak pagar dalam sistem tumpangsari. Tujuan khusus yang akan dicapai adalah diperolehnya data dan informasi tentang :

1. Paket teknologi penanaman jarak pagar dalam dan pola tanaman tumpangsari di areal hutan produksi Perum Perhutani.

2. Potensi tanaman jarak pagar sebagai salah satu jenis unggulan pada sistem tumpang sari.
3. Dampak ekologi yang ditimbulkan dari penanaman jarak pagar dalam sistem tumpangsari.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Areal hutan produksi di BKPH (Bagian Kesatuan Pemangkuan Hutan) Babakan Madang, KPH (Kesatuan Pemangkuan Hutan) Bogor, Perum Perhutani Unit III Jawa Barat dan Banten. Areal hutan produksi KPH Bogor yang menerapkan pola tanam tumpangsari dengan kriteria : Tumpangsari temporal awal (untuk masa tanam 2008) dan Tumpangsari selama daur (pola PHBM) atau Tegakan tua masak daur.

Metode Pengamatan

Peubah yang diamati dalam penelitian ini adalah:

1. Pertumbuhan tanaman dan produksi jarak pagar.
2. Tingkat dekomposisi daun jarak pagar
3. Besarnya aliran permukaan dan erosi tanah di musim hujan.
4. Unsur-unsur lingkungan, seperti suhu, kelembaban dan intensitas cahaya.
5. Perkembangan sistem perakaran jarak pagar dan mahoni.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kesesuaian suatu jenis tanaman untuk dikembangkan dalam system agroforestry dapat dilihat dari pertumbuhannya dan kondisi lingkungan yang ditimbulkan dari kombinasi antara tanaman kehutanan (pohon) dengan tanaman lainnya. Pada penelitian ini, tanaman jarak pagar ditanam di bawah tegakan Mahoni muda dan tegakan Mahoni tua. Terdapat beberapa perbedaan pertumbuhan jarak pagar pada kedua tegakan tersebut. Hal ini terjadi karena adanya perbedaan dari suhu dan kelembaban serta intensitas cahaya yang menghasilkan kondisi iklim mikro yang berbeda untuk masing-masing tegakan.

Disamping itu, kondisi perakaran juga mempengaruhi pertumbuhan dari kedua jenis tanaman.

Pertumbuhan dan Produksi Jarak Pagar (*J. curcas*) di Bawah Tegakan mahoni (*S. macrophylla*)

Dengan membandingkan pertumbuhan tanaman jarak pagar yang meliputi, diameter, tinggi, luas tajuk, dan akar serta produksi tanaman jarak pagar yang ditanam pada tegakan mahoni muda dan tegakan mahoni tua, dapat dilihat adanya perbedaan seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji –t untuk pertumbuhan dan produksi tanaman jarak pagar di bawah tegakan mahoni muda dan mahoni tua

Rata-rata	Nilai P (Hasil Uji-t)
Diameter (cm)	0,000*
Tinggi (cm)	0,007*
Panjang tajuk (cm)	0,000*
Lebar Tajuk (cm)	0,017*
Luas Tajuk (cm ²)	0,000*
Horisontal Akar	0,571#
Vertikal Akar	0,812#
Produksi	0,000*

Keterangan: * = Nilai P < 0,05 berbeda nyata, # = Nilai P > 0,05 tidak berbeda nyata.

Berdasarkan analisis statistik pada Tabel 1, parameter pertumbuhan diameter, tinggi, panjang tajuk, lebar tajuk dan luas tajuk tanaman jarak pagar di bawah tegakan mahoni muda berbeda nyata dengan parameter pertumbuhan di bawah tegakan mahoni tua. Parameter pertumbuhan tanaman jarak pagar di bawah tegakan mahoni muda lebih baik dibandingkan dengan parameter pertumbuhan di bawah tegakan mahoni tua. Demikian juga, produksi jarak pagar di bawah tegakan mahoni muda lebih tinggi dibandingkan dengan produksi di bawah tegakan mahoni tua.

Tingkat dekomposisi daun jarak pagar

Hasil pendugaan kecepatan laju dekomposisi pada serasah daun *J. curcas* (14.38 % per minggu) lebih cepat terdekomposisi dibandingkan serasah daun *Swietenia macrophylla* King (9.70 % per minggu). Serasah daun Jarak pagar (*J. curcas*) lebih mudah didekomposisi oleh organisme pengurai sehingga lebih cepat

terdekomposisi. Serasah yang cepat terdekomposisi menyebabkan pengurangan volume bahan bakar dilantai hutan. Jika suatu vegetasi memiliki serasah yang sulit untuk didekomposisikan maka akan terjadi penumpukan bahan bakar yang justru dapat membuat kejadian kebakaran hutan dan lahan menjadi lebih besar.

Besarnya aliran permukaan dan erosi tanah

Rata-rata besarnya sedimen tertinggi terdapat pada plot kontrol yaitu sebesar 5,90 gram/liter, dan nilai terendah pada plot penanaman jarak pagar bersama mahoni muda sebesar 2,58 gram/liter kemudian pada plot penanaman jarak pagar bersama mahoni tua sebesar 3,16 gram/liter. Rata-rata laju aliran permukaan tertinggi tercatat oleh plot penanaman jarak pagar bersama mahoni tua sebesar 7,38 liter/ha, kemudian plot kontrol (5,89 ton/ha) dan yang terendah pada plot mahoni muda (5,83 ton/ha). Hasil uji statistik menunjukkan bahwa perlakuan tidak berpengaruh nyata terhadap besarnya sedimentasi dan aliran permukaan. Rata-rata tingkat erosi terendah ditunjukkan oleh plot penanaman jarak pagar bersama mahoni muda yaitu sebesar 0,06 ton/ha, diikuti oleh plot mahoni tua (0,28 ton/ha) kemudian plot kontrol sebesar 0,37 ton/ha. Perlakuan memberikan pengaruh nyata terhadap penurunan erosi, respon terbaik adalah pada plot agroforestri jarak pagar dengan mahoni muda yang menunjukkan nilai erosi terendah.

Pengukuran intensitas cahaya dan persentase penutupan tajuk

Hasil pengukuran intensitas cahaya pada tegakan mahoni muda dan mahoni tua terdapat pada Tabel 2 yang menunjukkan bahwa persentase penutupan tajuk tegakan mahoni tua lebih tinggi dibandingkan dengan tegakan mahoni muda. Hal ini memberikan implikasi bahwa intensitas cahaya yang masuk ke bawah tegakan menjadi lebih kecil pada tegakan mahoni tua dibandingkan dengan tegakan mahoni muda. Akibatnya pertumbuhan tanaman jarak pagar di bawah tegakan mahoni muda jauh lebih baik dibandingkan dengan di bawah tegakan mahoni tua.

Menurut Daniel *et al.* (1987), ada beberapa faktor yang mempengaruhi produksi antara lain: tempat tumbuh, iklim, penyebab fisiologis. Sedangkan menurut Sudrajat (2006) salah satu faktor yang mempengaruhi produktifitas tanaman jarak pagar adalah kesuburan tanah.

Tabel 2. Hasil pengukuran intensitas cahaya dan persentase penutupan tajuk mahoni.

Jenis tegakan	Persentase penutupan tajuk (%)	Intensitas cahaya matahari (10 ¹ LUX)
Mahoni muda	36,50	246
Mahoni tua	84,38	192

Dari faktor-faktor tersebut yang mempengaruhi pertumbuhan dan produksi salah satu adalah intensitas cahaya matahari. Cahaya merupakan faktor penting dalam pertumbuhan tanaman karena cahaya berkaitan dengan fotosintesis dan respirasi. Pada Tabel 2 intensitas cahaya matahari pada tegakan mahoni muda yaitu 246.10¹ Lux, sedangkan pada tegakan mahoni tua 192.10¹ Lux. Semakin besar intensitas cahaya matahari maka pertumbuhan juga akan semakin cepat, begitu juga akan mempercepat produksi buah. Karena cahaya matahari berpengaruh terhadap tingkat fotosintesis dari suatu tanaman. Daniel *et al.* (1987) menyebutkan bahwa intensitas cahaya mempengaruhi laju fotosintesis. Bertambahnya intensitas cahaya, maka bertambah pula fotosintesis neto.

Intensitas cahaya matahari dipengaruhi oleh cuaca dan juga tajuk. Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa persentase penutupan tajuk pada mahoni muda lebih kecil dibandingkan dengan persentase penutupan tajuk pada mahoni tua. Perbedaan persentase ini menyebabkan intensitas cahaya matahari yang masuk kedalam tegakan mahoni muda dan mahoni tua berbeda. Cuaca juga berpengaruh terhadap intensitas cahaya matahari. Karena setiap waktu cuaca dapat berubah-ubah. Perbedaan waktu pengukuran intensitas cahaya juga dapat berpengaruh terhadap besarnya intensitas cahaya. Untuk itu perlu adanya pengukuran intensitas cahaya dalam waktu yang bersamaan. Dilihat dari hasil perbedaan intensitas cahaya tersebut dapat diduga menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi perbedaan pertumbuhan jarak pagar di kedua tegakan.

Jarak tanam merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan produksi. Karena jarak tanam berpengaruh terhadap kompetisi unsur hara, air, dan intensitas cahaya. Tanaman jarak pagar di bawah tegakan mahoni tua ataupun mahoni muda memiliki jarak tanam rata-rata 1 m x 1 m, namun banyak juga jarak tanam antar jarak pagar kurang atau lebih dari 1 m x 1 m, sehingga terjadi

ketidakteraturan pada tanaman jarak pagar. Menurut Sudrajat (2006) jarak tanam untuk tanaman jarak pagar 2 m x 1,5 m untuk tanah kurus / dengan irigasi, 2 m x 2 m untuk tanah normal, dan 2 m x 3 m untuk tanah subur. Menurut Puslitbang Pertanian (2008) jarak tanam untuk tanaman jarak pagar 1,5 m x 4 m, 1,5 m x 6 m, 2 m x 4 m dan 2 m x 6 m. Jarak tanam tersebut biasanya diterapkan pada jarak pagar sebagai tanaman pokoknya dan biasanya diisi dengan tanaman pengisi berupa cabe, dan sayuran. Namun, dalam kondisi di lapang jarak tanam hanya 1 m x 1 m.

Menurut Suprayogo *et al.* (2003) interaksi negatif (kompetisi/persaingan) bila peningkatan satu jenis tanaman diikuti oleh penurunan produksi tanaman lainnya, ada kemungkinan pula terjadi penurunan produksi keduanya. Adanya jarak tanam yang tidak beraturan antar jarak pagar, dan jarak pagar dengan mahoni menyebabkan adanya interaksi yang bersifat negatif. Sehingga dapat menurunkan produktifitas.

Adanya jarak tanam yang tidak beraturan dari kedua tegakan baik tegakan mahoni muda maupun tegakan mahoni tua menyebabkan pertumbuhan dan produksi buah yang tidak maksimal. Jarak tanam ini tidak hanya pada sesama jarak pagar tetapi juga dengan pohon mahoni. Akan terjadi kompetisi baik unsur hara, cahaya matahari, dan air.

Pemeliharaan tanaman juga sangat penting untuk meningkatkan pertumbuhan dan produksi. Pada agroforesti antara mahoni dengan jarak pagar telah dilakukan pemeliharaan, namun kurang intensif. Hal ini terbukti dengan banyaknya gulma berupa rumput dan semak belukar yang tumbuh di bawah tegakan mahoni. Semak belukar lebih banyak ditemukan pada mahoni tua. adanya semak belukar ini juga menyebabkan adanya kompetisi dengan tanaman jarak pagar. Selain penyiangan yang dilakukan juga terdapat pendangiran namun, tidak semua tanaman, ada beberapa tanaman pada mahoni tua yang bagian atas tidak dilakukan pendangiran karena letak tanaman jarak pagar yang sulit dijangkau. Selain itu adanya gangguan hewan kerbau yang menyebabkan tanaman menjadi rusak, dan mati. Tanaman jarak pagar yang sudah rusak dan mati tidak langsung dilakukan penyulaman, terkadang sampai berminggu-minggu baru dilakukan

penyulaman. Penyulaman menggunakan tanaman jarak pagar tidak sesuai dengan jarak tanam 1 m x 1 m.

Buah jarak pagar yang sudah berbuah dan akan siap panen juga diserang oleh hama berupa kepik. Hama ini menyerap buah jarak pagar. Meski tidak banyak menyerang namun, perlu adanya tindakan pencegahan hama dan penyakit agar tidak menyebar pada tanaman jarak pagar yang lain. Perlu dilakukan pemeliharaan yang sangat intensif agar pertumbuhan dan produksi jarak pagar menjadi maksimal. Terutama produksi jarak pagar, perlu adanya perlakuan seperti perlakuan pada tajuk agar produksi semakin meningkat.

Budidaya tanaman jarak pagar memang sudah mulai dikembangkan. Namun, ada beberapa kelemahan yaitu masih kurangnya bibit unggul. Seperti pada jarak pagar yang ditanam di areal tempat penelitian, bibit yang ditanam bukan merupakan bibit unggul. Sehingga produksinya berkurang. Namun, departemen pertanian telah menyiapkan bibit unggul untuk disebar ke masyarakat.

Perbedaan parameter pertumbuhan akar dengan parameter lainnya dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Menurut Sutton,(1969) dalam Daniel *et al.* (1987) faktor yang dapat mempengaruhi sistem perakaran seperti tipe tanah, status nutrisi, karakteristik drainase, keberadaan atau ketidakterdapatannya gambut, lempung, padas dan bahan organik. Tanah merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi.

Dilihat dari hasil panjang akar tanaman jarak pagar memiliki perakaran yang tidak terlalu panjang. Adanya pengukuran panjang akar ini, diperuntukkan untuk perkiraan jarak tanam yang ideal pada jarak pagar untuk agroforestri. Sehingga apabila jarak pagar akan digunakan sebagai tanaman pengisi didalam agroforestri maka tidak akan terjadi persaingan atau kompetisi karena jarak tanam. Jarak tanam yang sesuai untuk jarak pagar lebih besar dari 1 m x 1 m.

Panjang perakaran secara horizontal dan kedalaman perakaran horisontal

Akar bagi tumbuhan berfungsi memperkuat berdirinya suatu tumbuhan. Selain itu, akar juga mempunyai fungsi sebagai organ penyerap yaitu mengambil unsur air dan hara dari dalam tanah yang berguna bagi pertumbuhan suatu

tanaman. Perkembangan akar suatu tanaman dipengaruhi oleh lingkungan, diantaranya adalah kesuburan tanah.

Panjang akar secara horizontal pada tegakan mahoni muda adalah 0,68 m dengan kedalaman perakaran horizontal sebesar 9,95 m. Sedangkan pada tegakan mahoni tua memiliki panjang akar horizontal 1,86 m dengan kedalaman 12,58 m.

Pohon mahoni merupakan tumbuhan tropis yang mempunyai perakaran dalam sehingga unsur hara yang jauh di dalam tanah masih dapat diambil. Selain itu, kedalaman perakaran akan berpengaruh terhadap porsi air yang dapat diserap. Makin panjang dan dalam akar menembus tanah maka makin banyak air yang dapat diserap bila dibandingkan dengan perakaran yang pendek dan dangkal dalam waktu yang sama (Jumin 1989). Perakaran pohon mahoni akan semakin ke dalam dengan bertambahnya umur tanaman.

Kedalaman perakaran horizontal pohon mahoni muda dapat dijumpai pada kedalaman 5,6-14,9 cm, sedangkan pada pohon mahoni tua dapat dijumpai pada kedalaman 9,5-14,8 cm. Panjang perakaran secara horizontal pada pohon mahoni muda berkisar antara 0,5-1,0 m dan pada pohon mahoni tua berkisar antara 1,0-3,0 m. Pada beberapa pohon tertentu telah ditemukan akar yang saling tumpang tindih. Hal ini disebabkan adanya jarak tanam pohon mahoni yang terlalu berdekatan yaitu 2x2 m sehingga unsur hara, air dan cahaya tidak bisa dimanfaatkan secara optimal.

Tabel 3. Panjang dan kedalaman perakaran horizontal pohon mahoni muda dan tua.

Pohon Mahoni	Panjang akar horisontal (m)	Kedalaman akar horisontal (m)
Muda	0,68	9,95
Tua	1,86	12,58

Pada pola tanam tumpang sari, jarak tanam menjadi hal yang sangat penting, karena jarak tanam berkaitan dengan ketersediaan cahaya matahari yang dapat menembus kanopi tanaman utama dan ketersediaan ruang untuk perakaran. Dalam hal perakaran perlu mendapat perhatian karena tanah, selain sebagai media tumbuh tanaman, juga merupakan penyedia unsur hara yang utama untuk tanaman (Sukandi *et al.* 2002). Jarak tanam pohon mahoni dapat diatur sehingga tanaman

semusim atau tanaman pertanian dengan pola tumpang sari dapat tumbuh secara optimal.

Sistem tumpang sari dapat diatur berdasarkan sifat-sifat perakaran dan waktu penanaman. Pengaturan sifat-sifat perakaran sangat perlu untuk menghindari persaingan unsur hara, air yang berasal dari dalam tanah. Sistem perakaran yang dalam ditumpang sarikan dengan tanaman yang berakar dangkal. Tanaman monokotil yang pada umumnya mempunyai sistem perakaran yang dangkal, sedangkan tanaman dikotil pada umumnya mempunyai sistem perakaran yang dalam, karena memiliki akar tunggang.

Selain pengukuran perkembangan akar, pengukuran mengenai dimensi pohon (diameter pohon, tinggi pohon, dan tajuk pohon) juga dilakukan. Pertumbuhan suatu tanaman merupakan suatu proses terjadinya peningkatan jumlah dan ukuran daun dan batang.

Tabel 4. Rata-rata diameter, tinggi dan luas tajuk pohon mahoni muda dan mahoni tua.

Pohon mahoni	Diameter Pohon (cm)	Tinggi pohon (m)	Luas Tajuk Pohon (m ²)
Muda	4,69	6,12	3,42
Tua	32,41	9,32	31,18

Besarnya nilai rata-rata diameter pohon untuk mahoni tua adalah 32,41 cm, tinggi pohon sebesar 9,32 m, dan tajuk pohon sebesar 31,18 m². Dengan adanya hal tersebut, maka akan bertambah pula luas tajuk suatu pohon. Menurut Asmann (1970) dalam Raharjo *et al.*, (2008) ukuran tajuk merupakan komponen penting dalam pertumbuhan dan terdapat hubungan yang erat antara ukuran tajuk dengan potensi pertumbuhan pohon. Ukuran tajuk sebanding dengan ukuran tinggi pohon (Oliver 1996 dalam Raharjo *et al.*, 2008).

Ukuran tajuk juga dapat dimanfaatkan untuk menentukan kompetisi antar pohon. Kompetisi ruang untuk mendapatkan unsur hara dan cahaya akan berpengaruh pada bentuk dan luas tajuk. Kekuatan pohon untuk bersaing memperebutkan sumberdaya lingkungan diasumsikan sama dengan ukuran pohon itu sendiri. Pohon yang mempunyai ukuran yang lebih besar, tajuk yang luas dan akar yang lebih banyak, diduga lebih mampu memperebutkan faktor lingkungan

seperti cahaya, unsur hara dan air. Lebar tajuk berkorelasi positif dengan pencapaian akar dalam memperoleh mineral dalam tanah (Raharjo *et al.* 2008).

Proses fotosintesis akan berpengaruh terhadap pertumbuhan daerah perakaran dan bagian pohon yang lainnya. Tajuk melalui proses fotosintesis menyediakan karbohidrat untuk akar, sedangkan akar menyerap air dan hara dari dalam tanah untuk memenuhi kebutuhan tajuk (Wijayanto dan Araujo, 2011).

KESIMPULAN

Tanaman jarak pagar memiliki potensi untuk dikembangkan dalam pola agroforestry, baik sebagai tanaman tepi maupun sebagai tanaman pengisi. Berdasarkan parameter pertumbuhan diameter, tinggi, lebar dan luas tajuk serta produksi buah tanaman jarak pagar, tanaman ini dapat dikembangkan dalam sistem agroforestry dengan dikombinasikan dengan jenis pohon.

Pengaruh kondisi lingkungan yang dihasilkan oleh tegakan mahoni yang berupa penutupan tajuk, intensitas cahaya yang masuk serta sistem perakaran mempengaruhi pertumbuhan tanaman jarak pagar. Sehingga dalam pengembangan jarak pagar ke dalam sistem agroforestry, perlu mempertimbangkan umur pohon dan jarak tanam selain faktor tumbuh lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Daniel TW, JA Helms, , FS. Baker. 1987. Prinsip-Prinsip Silvikultur. Djoko Marsono, penerjemah; Oemi Hani'in Soeseno, editor. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Harijadi. 2005. Sistem budiadaya tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas* Linn). Makalah Seminar Nasional Pengembangan Jarak Pagar (*Jatropha curcas* Linn) Untuk Biodiesel dan Minyak Bakar. Pusat Penelitian Surfaktan dan Bioenergi, Lembaga Penelitian dan Pemberdayaan Masyarakat IPB. Bogor, 22 Desember 2005.
- Istomo, B. Wasis, E. Prihatiningtyas. 2010. Pengaruh Agroforestri Jarak Pagar (*Jatropha curcas* Linn.) Terhadap Produktivitas Lahan dan Kualitas Lingkungan di Areal Perum Perhutani KPH Bogor. Jurnal Silvikultur III (I) : 113-118.

- Jumin HB. 1989. *Ekologi Tanaman Suatu Pendekatan Fisiologis*. Jakarta: CV. Rajawali.
- Perum Perhutani. 1988. *Pedoman Pelaksanaan Program Perhutanan Sosial*. Perum Perhuani. Jakarta.
- Perum Perhutani. 1990. *Pedoman Agroforestry dalam Program Perhutanan Sosial*. PHT-62 Seri 39 Produksi. Perum Perhutani. Jakarta.
- Puslitbang Pertanian. 2008. Info Teknologi Jarak (*Jatropha curcas* Linn.). [Terhubung berkala] <http://perkebunan.litbang.deptan.go.id> [10 Oktober 2011].
- Raharjo, JT, Sadono R. 2008. Model Tajuk Jati (*Tectona grandis* L.F) Dari Berbagai Famili Pada Uji Keturunan Umur 9 Tahun. *Jurnal Ilmu Kehutanan* II (2) : 89-95.
- Sudrajat, HR. 2006. *Memproduksi Biodisel Jarak Pagar*. Jakarta : Penebar Swadaya.
- Sukandi T, Sumarhani, Murniati. 2002. *Informasi Teknis Pola Wanatani (Agroforestri)*. Pusat Penelitian Hutan dan Konservasi Alam Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan Bogor.
- Suprayogo D. *et al.* 2003. *Peran Agroforestri pada Skala Plot : Analisis Komponen Agroforestri sebagai Kunci Keberhasilan atau Kegagalan Pemanfaatan Lahan*. Bogor: World Agroforestry Center.
- Suryahadi S and L Syaufina. 2006. Potensi jarak pagar (*Jatropha curcas* Linn) sebagai tanaman sekat bagar. Skripsi Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan IPB. Tidak Diterbitkan.
- Wijayanto N dan J de Araujo. Pertumbuhan tanaman pokok cendana (*Santalum album* Linn.) pada sistem agroforestry di Desa Sanirin, Kecamatan Balibo, Kabupaten Bobonaro , Timor Leste. *J. Silvikultur Tropika* Vol. 03. No.1. Agustus 2011, hal 119-123.

IDENTIFIKASI TRIKOMA KELENJAR UNTUK PRODUKSI ARTEMISININ PADA *Artemisia annua* L. MENGGUNAKAN PENDEKATAN MOLEKULAR

(Molecular Identification of Glandular Trichomes of *Artemisia annua* L. for Artemisinin Production)

Utut Widyastuti^{1,2)}, Juliarni²⁾, Yuli Widiastuti³⁾, Dania²⁾, Fajri²⁾

¹⁾Pusat Penelitian Sumberdaya Hayati dan Bioteknologi, LPPM IPB,

²⁾Dep. Biologi, Fakultas Matematika dan IPA, IPB,

³⁾Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Tanaman Obat dan Obat Tradisional

ABSTRAK

Produksi artemisinin yang merupakan zat bioaktif antimalaria pada tanaman *Artemisia annua* (Asteraceae) disekresikan oleh trikoma kelenjar yang telah mencapai kematangan fisiologi. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pada tahap pertumbuhan daun yang dapat menghasilkan trikoma kelenjar yang sudah mencapai kematangan fisiologi (berkembang sempurna) dalam jumlah besar serta melihat ekspresi dari gen *CYP71AV*, gen yang bertanggung jawab dalam biosintesis artemisinin. Pengamatan trikoma kelenjar pada beberapa tahapan pertumbuhan daun (kuncup, setengah membuka, lamina berkembang sempurna, dan daun tua sebelum gugur) menunjukkan bahwa baik pada aksesi ungu (genjah) maupun aksesi hijau (dalam) produksi artemisinin tertinggi terdapat pada stadia perkembangan daun setengah membuka dan ditandai dengan banyaknya trikoma kelenjar yang belum pecah. Ekspresi gen *CYP71AV* tertinggi pada aksesi hijau terdapat mulai daun kuncup dan maksimal pada daun setengah membuka, kemudian menurun pada daun membuka dan tidak terekspresi pada daun luruh. Sedangkan pada aksesi ungu ekspresi tertinggi hanya terdapat pada daun kuncup dan sedikit pada daun membuka. Berdasarkan hasil yang diperoleh maka dianjurkan untuk memanen tanaman sebelum anthesis pada stadia daun setengah membuka sampai membuka.

Kata kunci: *Artemisia annua*, glandular trichomes, *CYP71AV* gene, gene expression.

ABSTRACT

Artemisia annua (Asteraceae) has a glandular trichome which secretes artemisinin, antimalarial substances. This research aimed to study the relation between glandular trichomes maturity with leaf development and expression of *CYP71AV* gene that responsible to biosynthesis of artemisinin during leaf development. Observation on development of glandular trichomes was done before anthesis (maximum vegetative growth) and at fourth stage of leaf development. Glandular trichomes in leaves in fourth stage development (leaf tip, half open leaf, maturity leaf, fall leaf) were studied. It has been observed that number of glandular trichomes were increased from half leaf open stage until leaf maturity stage in green accession, but in purple accession was increased until fall leaf stage. Artemisinin content analysis showed that half open leaf on both accession had higher content of artemisinin compare than other stage of leaves. Expression of *CYP71AV* gene was increased from leaf tip until half leaf open stage and decreased during leaf maturity and no expression on the fall leaf stage in green accession. But, in purple accession expression of *CYP71AV* gene only on half leaf open stage. Based on this results, it was suggested to harvest leaves of *A. annua* at half leaf open stage before anthesis.

Keywords: *Artemisia annua*, glandular trichomes, *CYP71AV* gene, gene expression.

PENDAHULUAN

Malaria merupakan salah satu penyakit yang meluas diberbagai negara. Penyakit malaria disebabkan oleh *Plasmodium* spp. merupakan satu dari sepuluh penyakit yang paling mematikan di dunia. Lebih dari 600 juta kasus di dunia terinfeksi malaria, dan menyebabkan 1.7 – 2.5 juta orang/tahun mengalami kematian. Empat puluh persen dari jumlah tersebut terdapat di negara berkembang, antara lain India, Indonesia, Amerika Latin dan negara-negara di Afrika (Graz *et al.* 2011). *Artemisia annua* L. (Asteraceae) merupakan tanaman obat yang sudah lama digunakan di Cina sebagai obat antimalaria (Klayman 1985). Tanaman ini mengandung senyawa terpenoid kompleks, salah satunya adalah artemisinin yang merupakan senyawa seskuiterpen lakton endoperoxide (Ferreira & Janick 1996). Artemisinin adalah senyawa yang efektif untuk membasmi jenis-jenis malaria yang resisten terhadap kuinin dan klorokuin serta malaria serebral yang disebabkan oleh *Plasmodium falciparum* (Paniego & Giuletti 1994).

Menurut van Geldre *et al.* (1997) artemisinin yang dihasilkan oleh *A. annua* disintesis di akar dan diakumulasikan di daun dan bagian tanaman lainnya. Kandungan artemisinin daun mencapai 89% dari kandungan total tanaman. Daun *A. annua* tertutup oleh trikoma kelenjar dan non-kelenjar (Duke & Paul 1993). Selain di daun trikoma kelenjar juga ditemukan di bunga (Ferreira & Janick 1995). Trikoma kelenjar terdiri atas lima pasang sel meliputi sepasang sel basal, sepasang sel tangkai dan tiga pasang sel sekretori (Duke & Paul 1993). Artemisinin diakumulasikan pada ruang subkutikular sel sekretori trikoma kelenjar.

Menurut Ferreira dan Janick (1995) Produksi artemisinin yang tinggi berhubungan erat dengan telah tercapainya kematangan fisiologi trikoma kelenjar. Kemampuan produksi artemisinin di lapang dan hubungannya dengan kematangan fisiologi trikoma kelenjar dari dua aksesori *A. annua* telah dilakukan pada dua aksesori yaitu ungu dan hijau. Hasil penelitian menunjukkan trikoma kelenjar tersebar merata pada helai daun. Pada bunga trikoma kelenjar terdapat pada braktea dan floret (bunga individu). Pada kedua aksesori sebelum antesis, daun-daun yang terletak di bagian atas cabang memiliki kerapatan total trikoma kelenjar lebih tinggi daripada daun-daun yang terdapat di bagian tengah dan bawah cabang. Sedangkan pada saat antesis kerapatan total trikoma kelenjar daun-daun di bagian bawah memiliki nilai yang

lebih tinggi daripada daun-daun di bagian tengah dan bagian atas cabang. Hasil analisis artemisinin menunjukkan pada kedua aksesori dan sebelum antesis, daun-daun di bagian tengah cabang memiliki kandungan artemisinin lebih tinggi daripada daun-daun di bagian atas dan bawah (UVB dan HUVB) cabang. Hal yang sama juga terlihat pada saat antesis, walaupun perbedaan jelas cukup terlihat pada aksesori hijau daripada aksesori ungu (Juliarni *et al.* 2007).

Biosintesis artemisinin dimulai dengan konversi farnesil difosfat (FPP) menjadi artemisinin dengan bantuan enzim *amorpha-4,11-diene synthase* yang kemudian dilanjutkan dengan enzim *amorpha-4,11-diene hydroxylase*, *cytochrome P450 monooxygenase (CYP71AV1)* dan *artemisinic aldehyde $\Delta 11(13)$ reductase* (Teoh *et al.* 2006). Penemuan tentang biosintesis artemisinin memberikan gambaran yang jelas bagaimana peranan senyawa amorpha-4,11-diene sebagai senyawa intermediate didalam biosintesis artemisinin (Bertea *et al.* 2005). Berdasarkan kelimpahan amorpha-4,11-diene di ekstrak dan kloning serta analisis ekspresi amorpha-4,11-diene diketahui bahwa merupakan seskuiterpene siklase (Wallart *et al.* 2001 dan Chang *et al.* 2000). Pada saat ini diketahui bahwa hidroxilasi menjadi senyawa antara artemisinin dikontrol oleh gen *CYP71AV1* yang berperan multifungsi sebagai sesquiterpene oksidase (Teoh *et al.* 2006)

Penelitian ini bertujuan untuk melihat pada tahap pertumbuhan daun yang dapat menghasilkan trikoma kelenjar yang sudah mencapai kematangan fisiologi (berkembang sempurna) dalam jumlah besar serta melihat ekspresi dari gen *CYP71AV*, gen yang bertanggung jawab dalam biosintesis artemisinin

METODE PENELITIAN

Pengambilan Sampel di Lapang

Daun dari dua aksesori *A. annua* yang terdapat di kebun percobaan Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Tanaman Obat dan Obat Tradisional, Tawangmangu, Solo, dipanen mulai dari saat kuncup sampai sebelum daun tersebut gugur (4 tahap). Sampel daun tersebut dipanen pada bagian tengah tajuk selama pertumbuhan vegetatif sebelum waktu antesis (Gambar 1 dan 2).

Penentuan kriteria tanaman yang digunakan untuk diamati kelenjar glandular trikoma adalah pada 3 cabang yang terletak pada sepertiga bagian dari tajuk pada tanaman yang memiliki pertumbuhan vegetatif maksimum, yaitu ditandai dengan munculnya kuncup bunga. Selanjutnya dari ketiga cabang yang memiliki pertumbuhan vegetatif maksimum (sebelum terjadi antesis) pada dua aksesori, yaitu hijau dan ungu (Gambar 1 dan 2) ditentukan tahapan perkembangan daun.



Gambar 1. Kriteria tanaman *Artemisia annua* L aksesori hijau. Tanda panah: kuncup bunga.



Gambar 2. Kriteria tanaman *Artemisia annua* L aksesori ungu. Tanda panah: kuncup bunga.

Penentuan tahapan perkembangan daun pada cabang tanaman terpilih. Tahapan perkembangan daun yang digunakan baik untuk penentuan kandungan artemisin maupun pengamatan kelenjar glandular trikoma diambil dari 4 tahap perkembangan daun, yaitu pucuk, daun setengah membuka, berkembang lebih

sempurna (maksimum) dan daun yang gugur (Gambar 3). Untuk penentuan kandungan artemisin dengan menggunakan kromatografi lapis tipis (*TLC*) dan densitometer, maka diambil sebanyak 2 g daun dari semua tahap perkembangan daun. Sedangkan untuk pengamatan anatomi menggunakan *SEM* diambil 2 helai untuk setiap tahapan perkembangan, kemudian disimpan dalam larutan fiksatif. Selanjutnya daun akan diproses untuk pengamatan anatomi kelenjar glandular trikoma dengan *SEM*.



Gambar 3. Tahapan perkembangan daun tanaman *Artemisia annua* L. (a) kuncup, (b) setengah membuka, (c) berkembang sempurna dan (d) gugur.

Pengamatan Trikoma Kelenjar

Struktur anatomi trikoma kelenjar pada setiap tahap pertumbuhan daun diamati dengan menggunakan mikroskop elektron payaran (*SEM*). Persiapan preparat *SEM* adalah sebagai berikut: potongan daun diprafiksasi di dalam larutan glutaraldehid 2.5% selama 12 jam pada suhu 4°C, kemudian dicuci dengan larutan bufer *cacodylate* sebanyak empat kali dengan masing-masing tahap berlangsung selama 15 menit pada suhu 4°C. Selanjutnya dilakukan *post*-fiksasi dengan memasukkan daun ke dalam larutan osmium tetroksida 2% pada suhu 4°C selama 1 jam. Selanjutnya daun dicuci dengan larutan bufer *cacodylate* sebanyak empat kali dengan masing-masing tahap berlangsung selama 15 menit pada suhu 4°C. Selanjutnya sampel dicuci dengan akuades pada suhu 4°C selama 15 menit. Proses dehidrasi dilakukan dengan seri larutan alkohol yaitu pertama-tama daun direndam dalam larutan alkohol 50% sebanyak empat kali dengan masing-masing tahap berlangsung

selama 15 menit pada suhu 4°C, selanjutnya daun direndam dalam larutan alkohol 75% (*stop point*). Kemudian daun direndam di dalam larutan alkohol 85% selama 20 menit pada suhu 4°C. Sampel daun selanjutnya dimasukkan ke dalam larutan alkohol 94% selama 20 menit pada suhu kamar, tahap terakhir adalah perendaman di dalam larutan alkohol absolut sebanyak dua kali dengan masing-masing tahap berlangsung selama 10 menit pada suhu kamar. Sampel daun yang telah didehidrasi kemudian dikeringbekukan di dalam larutan t-Butanol selama 3 jam setelah terlebih dahulu dimasukkan ke dalam larutan yang sama selama 10 menit sebanyak dua kali. Selanjutnya sampel daun dilekatkan pada *specimen stub* menggunakan perekat karbon, kemudian permukaannya disepuh dengan logam emas untuk kemudian diamati dengan SEM. Karakter anatomi yang diamati pada irisan paradermal adalah tahapan perkembangan, bentuk, ukuran dan kerapatan (jumlah/mm²) trikoma kelenjar.

Analisis Artemisinin

Analisis artemisinin dilakukan dengan bantuan alat Kromatografi Lapis Tipis (KLT) densitometri dengan $\lambda = 540$ nm. Sampel daun dan bunga dikeringkan di oven pada suhu 40°C sehingga kadar airnya mencapai kurang dari 10%. Kemudian sampel dihaluskan sehingga menjadi serbuk dan diayak dengan pengayak 40 mesh. Sampel serbuk daun dan bunga yang digunakan sebanyak 1000 mg. Selanjutnya sampel dimaserasi dengan 10 ml n-heksan selama 3 x 24 jam, disaring, dan dicuci dengan 10 ml n-heksan kembali. Ekstrak heksan kemudian diuapkan dengan vakum untuk mendapatkan ekstrak heksan pekat. Sampel kemudian dianalisis konsentrasi artemisininnya dengan menggunakan KLT. Sebagai standar digunakan artemisinin dari SIGMA USA. Sampel yang mempunyai nilai R_f yang mirip dengan standar artemisinin dilanjutkan analisisnya. Spot sampel pada plot silica gel (GF254) dihitung kadar artemisininnya dengan cara menghitung luas spot yang telah diukur oleh densitometer. Luas area yang diperoleh diplotkan ke kurva baku sehingga diperoleh kadar artemisinin dalam larutan.

Isolasi RNA total

Isolasi RNA dengan Metode Trizol.

Sebanyak 50-100 mg daun pada setiap stadia perkembangan yang telah tersimpan dalam aluminium foil di dalam freezer, diberi nitrogen cair langsung digerus dengan menggunakan mortar sampai halus berbentuk bubuk. Bubuk dicampur dengan 800 µl Trizol (*Invitrogen*). Suspensi sel dipindahkan ke dalam ependorf, dan diinkubasikan pada suhu ruang selama kurang lebih 5 menit. Ke dalam ependorf tersebut, kloroform (200 µl) dimasukkan dan suspensi sel divortex sampai tercampur. Campuran diinkubasikan pada suhu ruang selama 3 menit. Selanjutnya ependorf tersebut disentrifugasi dengan kecepatan 9000 rpm (Jouan BR4i) dengan suhu 6 °C selama 15 menit. Cairan bagian atas diambil sebanyak minimal 60% dari volume Trizol. Supernatan tersebut dipindahkan ke dalam ependorf baru, dan ditambah dengan isopropil alkohol lalu diinkubasikan dalam suhu ruang selama 10 menit. Setelah itu ependorf tersebut disentrifugasi dengan kecepatan 9000 rpm selama 10 menit dengan suhu 6 °C. Supernatan dari hasil sentrifugasi dibuang, dan endapannya diambil, kemudian ditambah dengan etanol 75%. Ependorf kembali disentrifugasi dengan kecepatan 5700 rpm selama 5 menit dengan suhu 6 °C. Etanol 75% dibuang, endapan dikeringkan dengan menggunakan vakum. Setelah kering endapan disuspensikan dalam 30 µl H₂O-DEPC 0.1%.

Kuantitas RNA total dianalisis dengan menggunakan *spektrofotometer*, absorbansi diukur pada panjang gelombang 260 (λ_{260}), dan 280 (λ_{280}). Keutuhan RNA total dianalisis secara kualitatif menggunakan metode elektroforesis, dengan memigrasikan RNA pada gel agarosa di dalam bufer MOPS 1% (4,2 g/l 3-Morpholinopropanesulfonic acid (C₇H₁₅NO₄), 0,41 g/l Na-asetat, 0,37 g/l Na₂EDTA.H₂O).

Sintesis cDNA Total.

Sintesis cDNA total melalui transkripsi balik (RT) dilakukan dengan metode Suharsono *et al.* (2002). Sebanyak 500 ng RNA total dicampur dengan 4 µl buffer (5x), 2 µl 2 mM dNTP mix, 2 µl 0.1 M dTT, 2 µl primer oligo(dT), 0.2 µl 0.1 U enzim *reverse transcriptase* (RT), dan H₂O-DEPC hingga volume akhir reaksi 20

μ l. Kondisi RT adalah 10 menit suhu 30 °C, 50 menit suhu 42 °C, 5 menit suhu 95 °C.

Evaluasi keberhasilan sintesis cDNA total dilakukan melalui PCR dengan menggunakan primer β -aktin. PCR β -aktin dilakukan dengan mencampur 2 μ l cDNA total, 2 μ l buffer (10x), 1 μ l 2 mM dNTPmix, 0.8 μ l 25 mM MgCl₂, 0.1 μ l 0.1 U enzim *taq polimerase*, 2 μ l 10 pmol primer *forward* (F), 2 μ l 10 pmol primer *reverse* (R), digenapkan dengan ddH₂O hingga 20 μ l. Kondisi PCR adalah pra-PCR 95 °C 5 menit, denaturasi 94 °C 30 detik, *annealing* 56 °C 30 detik, ekstensi 72 °C 2 menit, siklus diulangi 30 kali, dan pasca-PCR 72 °C 5 menit. Apabila cDNA yang disintesis adalah murni yang tidak terkontaminasi DNA genom, maka PCR menghasilkan amplifikasi berukuran 450 pb. Apabila terkontaminasi DNA genom, maka produk hasil PCR berukuran 540 pb karena cetakan DNA genom yang diamplifikasi meliputi daerah ekson 1, intron dan ekson 2. Selain untuk melihat keberhasilan sintesis cDNA dan kemurnian cDNA dari kontaminan DNA genom, PCR β -aktin juga digunakan untuk menyetarakan konsentrasi cDNA pada berbagai perlakuan. primer aktin yang didesain dari kedelai (Ac.TTTT[V00450](#)) dengan primer *forward* tepat pada kodon awal (5' ATGGCAGATGCCGAGG ATAT3') dari ekson 1 dan primer *reverse* tepat pada daerah ekson 2 (5' CAGTTGTGCG ACCACTTGCA3'). Untuk mengetahui ukuran PCR β -aktin, dilakukan elektroforesis pada gel agarosa di dalam bufer elektroda TAE 1x (0.04 M Tris-acetate, 0.001 M EDTA).

Analisis ekspresi gen CYP71AV1

Analisis ekspresi akan mengikuti metode Teoh et al. (2006) menggunakan primer 5' CACCATGGCACTCTCACTGACCAC dan 5' CTAGAAACTTGGAACGAGTAACAAC

HASIL DAN PEMBAHASAN

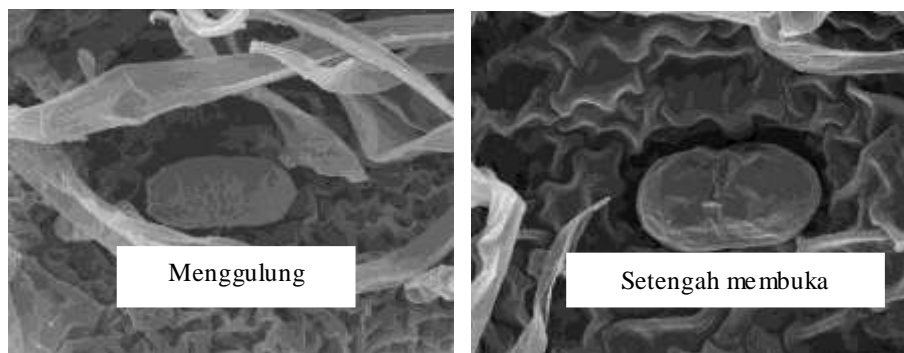
Hubungan antara Kerapatan Total Trikoma Kelenjar dan Kandungan Artemisinin

Pada kedua aksesi sebelum antesis, hasil analisis artemisinin menunjukkan pada daun setengah membuka baik pada aksesi hijau (H) maupun aksesi ungu (U)

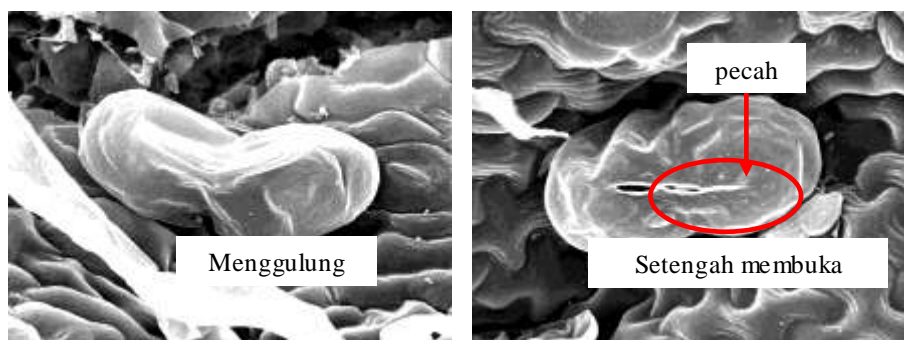
memiliki kandungan artemisin yang tinggi dibandingkan dengan stadia perkembangan daun yang lain. Aksesori ungu memiliki kandungan artemisinin lebih tinggi dibandingkan dengan aksesori hijau, hal ini diduga berhubungan dengan kematangan fisiologi dari aksesori ungu yang merupakan tanaman genjah.

Berdasarkan kondisi fisiologi trikoma kelenjar yang terdapat pada setiap stadia perkembangan daun maka pada aksesori hijau jumlah trikoma kelenjar matang perluas daun lebih banyak dibandingkan dengan yang telah pecah mulai stadia pucuk, setengah membuka, membuka sempurna, sedangkan pada stadia luruh trikoma kelenjar lebih banyak dalam kondisi pecah (Tabel 1). Pada aksesori ungu jumlah trikoma kelenjar pecah perluas daun lebih banyak dibandingkan dengan yang matang pada semua stadia perkembangan daun, hal ini diduga berhubungan dengan sifat tanaman ini yang lebih genjah (Tabel 1). Banyaknya trikoma kelenjar matang di aksesori ungu pada stadia perkembangan daun setengah membuka diduga menyebabkan kandungan artemisinin kandungan artemisinin pada daun aksesori ungu lebih banyak daripada aksesori hijau (Gambar 4 dan 5) karena kelenjar trikoma yang matang ini sebagai tempat penyimpanan senyawa metabolit sekunder (Ferreira dan Janick (1995)

Hubungan antara kerapatan total trikoma kelenjar dan kandungan artemisinin yang terdapat pada berbagai stadia perkembangan daun menunjukkan hal yang tidak sama antara aksesori hijau dan ungu. Pada aksesori hijau terlihat jumlah trikoma meningkat mulai dari stadia pucuk hingga daun membuka sempurna dan menurun pada saat daun luruh, sedangkan pada aksesori ungu jumlah trikoma cenderung meningkat sampai stadia daun luruh. Walaupun kandungan artemisin pada dua aksesori ini memiliki persamaan pola dimana meningkat pada stadia daun setengah membuka, tetapi hal ini agak berbeda pada pola jumlah trikoma antara kedua aksesori (Gambar 6). Jumlah trikoma yang cenderung meningkat pada daun luruh di aksesori ungu tidak berkorelasi dengan kandungan artemisinin, hal ini diduga karena banyaknya trikoma kelenjar yang telah pecah dibandingkan yang matang (Tabel 1). Sedangkan pada aksesori hijau pada stadia daun luruh jumlah trikoma yang menurun diduga menyebabkan pula kandungan artemisinin yang cenderung menurun, serta banyaknya trikoma kelenjar dalam keadaan pecah dibandingkan dengan kelenjar yang matang (Tabel 1).



Gambar 4. Kondisi trikoma kelenjar pada stadia daun menggulung dan setengah membuka yang terdapat pada abaksial aksesi hijau *A. annua*.



Gambar 5. Kondisi trikoma kelenjar pada stadia daun menggulung dan setengah membuka yang terdapat pada abaksial aksesi ungu *A. annua*.

Tabel 1. Rata-rata jumlah trikoma per luas daun total (jumlah/mm²) berdasarkan tahapan perkembangan trikoma pada berbagai stadia perkembangan daun aksesi hijau dan ungu.

Aksesi	Trikoma muda	Trikoma matang	Trikoma pecah
Hijau			
Daun menggulung (pucuk)	0	188	42
Daun setengah membuka	103	1183	823
Daun membuka sempurna	698	1409	1385
Daun luruh	0	962	1430
Ungu			
Daun menggulung (pucuk)	9	95	180
Daun setengah membuka	267	1365	1769
Daun membuka sempurna	391	1980	6247
Daun luruh	0	4129	8821

Tingginya kandungan artemisinin pada stadia pertumbuhan daun setengah membuka baik pada aksesi ungu maupun hijau di duga berhubungan dengan banyaknya kelenjar trikoma dalam keadaan matang sehingga kandungan senyawa

metabolit masih tersimpan dengan baik di kantong kelenjar. Hal ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Gupta *et al.* (2002), yang mendapatkan bahwa kandungan artemisinin pada stadia daun yang lebih muda lebih tinggi dibandingkan dengan daun yang tua. Selain itu waktu pemanenan juga dapat menyebabkan perbedaan kandungan artemisinin yang terdapat pada daun. Daun yang dipanen pada musim hujan (Juli-September) menyebabkan terjadi peningkatan pada kandungan artemisinin di daun (Gupta *et al.* 2002). Walaupun daun yang diambil untuk dianalisa pada penelitian ini dilakukan pada bulan Juli dan menunjukkan kandungan artemisinin tertinggi pada stadia setengah membuka, hal ini belum dapat dikaitkan dengan adanya lingkungan musim hujan, karena pada bulan Juli belum banyak terdapat hujan di lokasi penelitian. Oleh karena itu akan sangat menarik untuk melihat perubahan musim hujan dan kering dengan waktu pembentukan artemisinin pada setiap perkembangan daun.

Aksesi ungu merupakan aksesi yang cepat berbunga (aksesi genjah), sedangkan aksesi hijau merupakan aksesi yang paling lama berbunga (aksesi dalam) sehingga mempengaruhi perkembangan trikoma kelenjar. Perkembangan trikoma kelenjar aksesi ungu lebih dahulu daripada aksesi hijau ungu sehingga akumulasi artemisinin pada trikoma kelenjar aksesi ungu diduga terjadi lebih awal daripada aksesi hijau ungu.

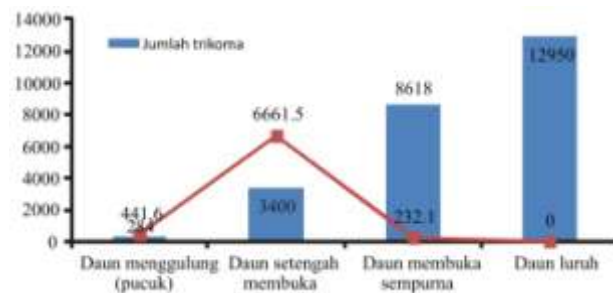
Analisis ekspresi gen *CYP71AV* pada berbagai stadia perkembangan daun.

Tahapan perkembangan daun yang digunakan baik untuk penentuan ekspresi gen *CYP* diambil dari 4 tahap perkembangan daun, yaitu pucuk, daun membuka, berkembang lebih sempurna (maksimum) dan daun yang gugur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa:

Ekspresi gen *CYP71AV* meningkat pada daun yang setengah membuka dan tidak terdapat ekspresi pada daun yang gugur pada aksesi hijau (Gambar 7), sedangkan pada aksesi ungu ekspresi gen *CYP71AV* hanya muncul pada saat daun setengah membuka dan sangat kecil sekali pada saat kuncup (data tidak ditampilkan).

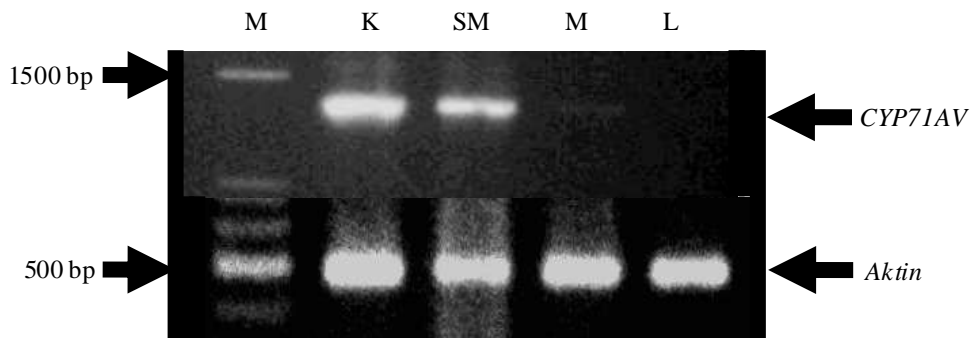


(a)



(b)

Gambar 6. Hubungan antara jumlah trikoma dan kadar artemisinin perluasan daun total (mm²) pada aksesori hijau (a) dan ungu (b).



Gambar 7. Ekspresi gen *CYP71AV* pada berbagai stadia perkembangan daun di aksesori hijau dan ekspresi gen aktin sebagai kontrol. M= Marker 1 kb, K= Kuncup, SM= Setengah membuka, M= Membuka penuh, L=Daun tua (luruh).

Hasil ekspresi gen *CYP71AV* yang diperoleh sesuai dengan kandungan artemisin yang diperoleh, dimana ekspresi gen ini mulai meningkat pada saat kuncup sampai setengah membuka dan mulai turun pada saat daun membuka penuh dan akan luruh (tua). Hal ini sedikit berbanding terbalik dengan jumlah trikoma dimana mana daun yang membuka penuh jumlah trikoma masih banyak,

tetapi karena sudah banyak dalam keadaan pecah sehingga menyebabkan kandungan artemisinin berkurang. Hasil ekspresi gen *CYP71AV* ini sejalan dengan penelitian Gupta et al. (2002) yang mendapatkan bahwa pada umumnya daun muda memiliki kandungan artemisinin lebih banyak dari daun tua.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh ini maka dianjurkan untuk memanen tanaman pada stadia daun setengah membuka karena artemisinin dan metabolit sekunder lainnya belum menguap keluar dari ruang subkutikular trikoma kelenjar seperti yang dilaporkan oleh Ferreira dan Janick (1995) yaitu kutikula yang menutupi tiga pasang sel teratas dari sel sekretori (sel apikal) akan terpisah dari dinding sel selama perkembangan trikoma kelenjar serta membentuk suatu kantung yang terisi oleh artemisinin dan zat bioaktif lainnya. Setelah menggelembung maksimal, kantung tersebut pecah dan mengeluarkan isinya .

KESIMPULAN

Produksi artemisin tertinggi diperoleh pada stadia daun setengah membuka yang ditandai dengan telah tercapainya kematangan fisiologi dari kelenjar trikoma serta ekspresi yang tinggi dari gen *CYP71AV*, yang merupakan gen yang bertanggung jawab dalam biosintesis artemisin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada DP2M-DIKTI melalui DIPA-IPB yang telah memberikan dana penelitian kepada Utut Widyastuti dengan no kontrak DIPA IPB, 89/I3.24.4/SPK/BG-PD/2009 Tanggal 30 Maret 2009 dan Nomor:25/13.24.4/SPP/PF/ 2011 Tanggal, 28 Maret 2011. Terima kasih kepada Puslit Bioteknologi, LIPI yang telah memberikan bantuan fasilitas penelitian untuk SEM.

DAFTAR PUSTAKA

Bertea, CM, Freije, JR., van der Woude, H. Verstappen FW, Perk, L., Marquez, V., de Kraker J.W., Posthumus, M.A., Jansen, B.J., de Groot, A., Franssen, M.C. and Bouwmeester, H.J. 2005. Identification of intermediates and enzymes involved in the early steps of artemisinin biosynthesis in *Artemisia annua*. *Planta Med.* 71, 40-47.

- Chang, Y.J., Song, S.H., Park, S.H. and Kim, S.U. 2000 Amorpha-4,11 –diene synthase of *Artemisia annua*: cDNA isolation and bacterial expression of a terpene synthase involved in artemisinin biosynthesis. *Arch. Biochem. Biophys.* 383, 178-184.
- Duke SO, RN Paul. 1993. Development and fine structure of the glandular trichomes of *Artemisia annua* L. *Int J Plant Sci* 154: 107-118.
- Ferreira JFS, J Janick. 1995. Floral morphology of *Artemisia annua* with special reference to trichomes. *Int J Plant Sci* 156: 807-815.
- Ferreira JFS, J Janick. 1996. Distribution of artemisinin in *Artemisia annua*. <http://www.Hort.Purdue.Edu/newcrop/proceedings1996/v3-578.html>. [2 Mei 2004].
- Geldre van E, Vergauwe A, Eeckhout van den E. 1997. State of the art of the production of the antimalarial compound artemisinin in plants. *Plants Mol Biol* 33: 199-209.
- Graz B, Kitua A, Malebo HM. 2011. To what extent can traditional medicine contribute a complementary or alternative solution to malaria control programmes? *Malaria Journal* 10: 1-6.
- Gupta, SK., Singh, P., Bajpai, P., Ram, G., Singh G., Gupta, MM., Jain, DC., Khanuja SPS., Kumar S. 2002. Morphogenetic variation for artemisinin and volatile oil in *Artemisia annua*. *Ind. Crops Prod.* 16:217-224
- Juliarni, HA Dewanto, TM Ermayanti. 2007. Studi karakter anatomi daun dari kultur tunas *Artemisia annua* L. *Jurnal Agronomi* 21:8-12
- Klayman DL. 1985. Qinghaosu (artemisinin): an antimalarial drug from China. *Science* 228 : 1049-1055
- Teoh. KH, Polichuk DR, Reed DW, Nowak G, Covello PS. 2006. *Artemisia annua* L. (Asteraceae) trichome-specific cDNAs reveal *CYP71AV1*, a cytochrome P450 with a key role in the biosynthesis of the antimalarial sesquiterpene lactone artemisinin. *FEBS Letters* 580: 1411-1416
- Wallaart, T.E. Bouwmester, H.J., Hille, J., Poppinga, L. and Maijers, N.C. (2001) Amorpha-4,11 –diene synthase: cloning and functional expression of a key enzyme in the biosynthetic pathway of the novel antimalarial drug artemisinin. *Planta* 212, 460-465.