

## PEMANFAATAN LIMBAH INDUSTRI TAPIOKA SEBAGAI PUPUK CAIR PADA TANAMAN SAYURAN

Zaitun<sup>1)</sup>, M. Sri Saeni<sup>2)</sup>, Tun Tedja Irawadi<sup>2)</sup> dan H.M.H. Bintoro Djoeffie<sup>3)</sup>

1) Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan  
Program Pascasarjana IPB, Gedung Rektorat Lt. V Darmaga - Bogor  
E-mail : [zaitundara@plasa.com](mailto:zaitundara@plasa.com)

2) Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam IPB  
Jl. Raya Padjajaran, Bogor

3) Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian IPB  
Darmaga - Bogor 16680

### ABSTRACT

*The objectives of this experiment were to study vegetable crops which have good response and to find the optimal interval time of liquid fertilizer application from tapioca wastewater to increase vegetable crops yield. The experiment was conducted in a greenhouse at the Cikabayan Experimental Station, IPB, from August 1998 until January 1999. The treatment of this experiment were application of liquid fertilizer (organic fertilizer) once ( $L_1$ ), twice ( $L_2$ ) and three times a week ( $L_3$ ) compared with control (anorganic fertilizer) ( $L_0$ ) on spinach ( $T_1$ ), swamp cabbage ( $T_2$ ) and mustard greens ( $T_3$ ). The results showed that the fermentation of tapioca industry wastewater as long as six weeks could increase the pH from acid condition (pH 3,74 - 4,10) to neutral condition (pH 6,50 - 7,00). Application of tapioca industry wastewater as liquid fertilizer (organic fertilizer) once, twice and three times a week showed no significant results compared with control (anorganic fertilizer) on spinach, swamp cabbage and mustard greens.*

**Key words :** liquid fertilizer, tapioca wastewater, vegetable crops.

### PENDAHULUAN

Limbah agroindustri dalam bentuk cair merupakan masalah utama yang banyak menimbulkan pencemaran air. Limbah industri tapioka masih belum dimanfaatkan secara optimal dan jika limbah dibuang begitu saja berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan yang dapat mengganggu lingkungan. Bau yang tidak enak akibat pencemaran tersebut disebabkan karena adanya persenyawaan organik dan anorganik yang mengandung nitrogen, sulfur dan fosfor yang berasal dari pembusukan protein dari bahan-bahan organik [1;2]. Oleh karena itu metode penanganan limbah yang lebih berdaya guna dan tidak beresiko terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat perlu dikaji dengan baik. Metode alternatif yang dapat diterapkan dan perlu dikaji tersebut adalah pemanfaatan limbah industri tapioka sebagai pupuk organik pada lahan pertanian diharapkan dapat meningkatkan produksi hasil pertanian dan dapat dimanfaatkan sebagai alternatif pengganti penggunaan pupuk anorganik.

### BAHAN DAN METODE

Percobaan dilaksanakan di rumah kaca Kebun Percobaan Cikabayan IPB-Darmaga dari bulan Agustus sampai dengan bulan Oktober 1998. Analisis laboratorium dilakukan pada bulan Agustus 1998 sampai dengan Januari 1999. Untuk mengolah

data digunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan tiga ulangan. Perlakuan dalam percobaan ini adalah selang waktu pemberian pemupukan dari limbah industri tapioka yang terdiri atas empat taraf penyiraman, yaitu 0 ( $L_0$ ), satu kali seminggu ( $L_1$ ), dua kali seminggu ( $L_2$ ), dan tiga kali seminggu ( $L_3$ ) yang diterapkan pada tanaman bayam ( $T_1$ ), kangkung ( $T_2$ ), dan sawi ( $T_3$ ). Pengamatan-pengamatan yang dilakukan meliputi : 1) analisis limbah industri tapioka dan 2) tanaman (tinggi tanaman, jumlah daun, laju asimilasi bersih, laju pertumbuhan relatif, dan bobot segar tanaman).

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### *Analisis Fisika dan Kimia Limbah Industri Tapioka*

Berdasarkan hasil analisis awal diketahui bahwa limbah industri tapioka memiliki pH yang masam berkisar antara 3,74 - 4,10 (Tabel 1). Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang menyatakan bahwa limbah industri tapioka mempunyai sifat masam dengan nilai pH di bawah 5 [3]. Rendahnya pH limbah disebabkan oleh terbentuknya asam-asam organik selama proses penguapan. Asam-asam organik yang terbentuk merupakan hasil aktivitas mikroorganisme. Mikroorganisme yang terdapat dalam air yang digunakan untuk proses penguapan terutama bakteri akan menguraikan bahan-bahan organik seperti pati, protein dan lemak yang terdapat selama

pengenapan [4]. Mikroorganisme aktif menjalankan proses fermentasi, sehingga terbentuk alkohol dan asam organik. Asam organik yang terbentuk dari penguraian bahan organik oleh bakteri *Gramulobacter* sp. dan *Butylicus* sp. di antaranya asam butirir yang selanjutnya dapat mempengaruhi bau tepung tapioka yang dihasilkan. Terbentuknya asam-asam organik selama pengenapan terlihat dari pH limbah yang rendah serta bau asam yang timbul ketika limbah sisa pengenapan dibuang. Proses penguraian bahan organik dengan bantuan mikroorganisme yang berlangsung selama proses pengenapan akan menggunakan oksigen dan menurunkan kadarnya dengan menghasilkan senyawa-senyawa yang lebih sederhana [5]. Kandungan bahan organik yang tinggi dan adanya proses pengenapan memungkinkan penguraian bahan organik dengan bantuan mikroorganisme anaerob, sehingga limbah yang dihasilkan mengandung oksigen terlarut nol, pH rendah, dan muatan padatan tersuspensi yang tinggi. Kandungan COD, BOD, yang tinggi menunjukkan bahwa limbah masih mengandung bahan organik dalam jumlah besar.

Pengamatan pada pH limbah industri tapioka dihentikan apabila pH telah mencapai 6,0 atau lebih. Hal tersebut dilakukan karena limbah sudah dianggap aman apabila pH-nya tidak kurang dari 6,0 [6]. Hasil pengamatan terhadap pH menunjukkan bahwa nilai pH semakin meningkat dengan bertambahnya lama penyimpanan di dalam penyimpanan selama 6 minggu pH limbah telah mencapai 6,50 – 7,00.

#### Tinggi Tanaman

Pengaruh perlakuan pada tanaman bayam, kangkung, dan sawi terlihat bahwa pada umur tanaman satu minggu setelah tanam (MST) yang belum menunjukkan perbedaan yang nyata (Tabel 2).

Tidak terdapatnya perbedaan yang nyata pada umur tanaman satu MST, karena kondisi akar tanaman belum berkembang dengan baik, sehingga perbedaan tinggi tanaman belum terlihat adanya perbedaan yang nyata. Pada tanaman bayam, kangkung, dan sawi mulai umur dua MST terlihat adanya perbedaan yang nyata akibat perlakuan yang diberikan. Hal tersebut diduga mulai pada minggu kedua akar tanaman mulai dapat menyerap hara tanaman secara efektif. Pada pengamatan umur empat MST tanaman kangkung dan sawi tidak menunjukkan adanya perbedaan yang nyata terhadap perlakuan yang diberikan, sedangkan pada tanaman bayam terlihat adanya perbedaan tinggi tanaman pada perlakuan pemberian limbah tiga kali seminggu ( $L_3$ ).

#### Jumlah Daun

Daun dapat dipandang sebagai pabrik karbohidrat bagi tanaman budidaya. Daun diperlukan untuk penyerapan dan pengubahan energi cahaya menjadi pertumbuhan dan menghasilkan panen melalui fotosintesis. Disamping itu peningkatan produksi luas daun oleh aplikasi nitrogen digunakan oleh tanaman untuk meningkatkan ukuran dan jumlah daun [7].

Pada tanaman bayam, kangkung dan sawi terlihat bahwa pada umur tanaman satu MST jumlah daun belum menunjukkan perbedaan yang nyata. Tidak terdapatnya perbedaan yang nyata pada umur tanaman satu MST, karena kondisi akar tanaman belum berkembang dengan baik, sehingga perbedaan jumlah daun belum terlihat adanya perbedaan yang nyata (Tabel 3).

Pada tanaman bayam terlihat bahwa sejak umur tanaman satu MST sampai dengan empat MST tidak terdapat perbedaan yang nyata pada semua perlakuan yang diberikan ( $L_0$ ,  $L_1$ ,  $L_2$ , dan  $L_3$ ), sedangkan pada tanaman kangkung mulai umur tanaman dua MST sampai dengan empat MST menunjukkan adanya pengaruh perlakuan yang diberikan terhadap jumlah daun. Pengamatan terhadap jumlah daun sawi terlihat bahwa hanya pada umur tanaman tiga MST yang menunjukkan adanya perbedaan pengaruh yang diberikan. Tidak nyatanya jumlah daun sawi terhadap pengaruh perlakuan pemupukan yang diberikan karena rata-rata jumlah daun saat panen (empat MST) tidak dipengaruhi oleh dosis pemupukan nitrogen [8].

Pada tanaman kangkung terlihat bahwa perlakuan pemberian limbah satu kali seminggu ( $L_1$ ) tidak berbeda nyata dengan control ( $L_0$ ) pada umur empat MST. Terdapatnya perbedaan yang nyata pada jumlah daun tanaman kangkung pada umur empat MST menunjukkan bahwa tanaman kangkung lebih responsif terhadap pemupukan limbah industri tapioka dibandingkan dengan tanaman bayam dan sawi yang tidak menunjukkan perbedaan terhadap jumlah daun dengan perbedaan perlakuan yang diberikan. Disamping itu adanya perbedaan tersebut karena jumlah dan ukuran daun dipengaruhi oleh genotipe dan lingkungan. Posisi daun pada tanaman, yang terutama dikendalikan oleh genotipe, juga mempunyai pengaruh nyata terhadap laju pertumbuhan daun dan kapasitas untuk merespon kondisi lingkungan yang lebih baik, seperti ketersediaan air [9].

#### Laju Asimilasi Bersih

Tingginya laju asimilasi bersih akibat perlakuan pemupukan pada tanaman erat hubungannya dengan jumlah daun. Jumlah daun dapat mempengaruhi laju asimilasi bersih karena daun merupakan unit fotosintesis. Luas daun sejalan dengan banyaknya daun yang dihasilkan, bila tanaman menghasilkan daun lebih banyak, maka luas daun juga bertambah besar. Bila luas daun kecil menyebabkan laju pertumbuhan rendah karena terbatasnya permukaan daun. Sebaliknya bila daun yang dihasilkan terlalu banyak menyebabkan efisiensi fotosintesis menjadi kecil karena daun dibagian bawah terlindung dari daun diatasnya [10]. Kandungan nitrogen dalam daun berkorelasi positif dengan laju asimilasi [11;12]. Disamping itu peningkatan metabolisme nitrogen dapat menyebabkan terjadinya peningkatan laju asimilasi [13]. Hal tersebut memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan dan produktivitas tanaman.

Pada tanaman bayam, kangkung dan sawi terlihat bahwa tidak terdapat perbedaan yang nyata pada perlakuan yang diberikan terhadap laju asimilasi bersih (Tabel 4). Pada tanaman bayam dan sawi terlihat bahwa tidak terdapatnya perbedaan yang nyata pada setiap perlakuan yang diberikan ( $L_0$ ,  $L_1$ ,  $L_2$ , dan  $L_3$ ) berhubungan dengan tidak berbeda nyata jumlah daun pada tanaman bayam dan sawi (Tabel 3). Hal tersebut menunjukkan terdapat hubungan antara jumlah daun dengan laju asimilasi bersih. Pada tanaman kangkung diketahui bahwa terdapat perbedaan yang nyata pada jumlah daun, sedangkan laju asimilasi bersih yang dihasilkan tidak berbeda nyata pada setiap perlakuan yang diberikan ( $L_0$ ,  $L_1$ ,  $L_2$ , dan  $L_3$ ). Hubungan yang menyatakan bahwa jumlah daun tertinggi juga akan menghasilkan laju asimilasi tertinggi tidak konsisten, yang mungkin dipengaruhi oleh tebal daun [14], perbedaan bobot daun [15], umur daun [16], dan warna hijau daun [17].

#### Laju Pertumbuhan Relatif

Laju pertumbuhan relatif memiliki hubungan yang erat dengan laju asimilasi bersih. Hasil asimilasi tanaman selain digunakan untuk pemeliharaan sel, juga ditranslokasikan ke daerah pemanfaatan vegetatif yang terdiri atas fungsi pertumbuhan, pemeliharaan dan cadangan makanan.

Sepanjang masa pertumbuhan vegetatif, yakni akar, daun dan batang, merupakan daerah-daerah pemanfaatan yang kompetitif dalam hal hasil asimilasi. Proporsi hasil asimilasi pada ketiga organ tersebut dapat mempengaruhi pertumbuhan dan produktivitas tanaman [9].

Tidak terdapatnya perbedaan yang nyata laju asimilasi bersih pada tanaman bayam, kangkung,

dan sawi pada setiap perlakuan yang diberikan ( $L_0$ ,  $L_1$ ,  $L_2$ , dan  $L_3$ ) juga diikuti dengan tidak terdapatnya perbedaan yang nyata pada laju pertumbuhan relatif pada setiap perlakuan yang diberikan ( $L_0$ ,  $L_1$ ,  $L_2$ , dan  $L_3$ ) (Tabel 5). Hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat hubungan korelasi positif antara laju asimilasi bersih dengan laju pertumbuhan relatif [9].

#### Produksi Tanaman

Peubah dari produksi tanaman adalah bobot segar tanaman. Bobot segar tanaman merupakan peubah yang dapat menunjukkan hasil pertumbuhan vegetatif tanaman yang diamati dari bobot segar seluruh bagian tanaman. Pada tanaman bayam, kangkung, dan sawi terlihat bahwa perlakuan yang diberikan tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap bobot segar tanaman (Tabel 6).

Produksi per tanaman bayam yang berkisar antara 11,40 g (2,85 ton/ha) sampai 14,36 g (3,59 ton/ha) masih lebih tinggi bila dibandingkan dengan produksi nasional bayam yang sebesar 2,31 ton/ha. Produksi per tanaman kangkung yang berkisar antara 20,03 g (5,01 ton/ha) sampai 23,85 g (5,96 ton/ha) masih lebih tinggi bila dibandingkan dengan produksi nasional kangkung yang sebesar 3,68 ton/ha, sedangkan produksi pada tanaman sawi masih lebih rendah bila dibandingkan dengan produksi nasional sawi yang sebesar 9,82 ton/ha [18]. Rendahnya produksi sawi dapat disebabkan karena tanaman sawi tidak dapat tumbuh dengan optimal pada media tanam, baik yang diberi perlakuan dengan pupuk anorganik maupun dengan pupuk organik (limbah industri tapioka), dibandingkan dengan tanaman bayam dan kangkung.

Tabel 1. Analisis Limbah Industri Tapioka

Peubah	Pengamatan Kt-							
	I		II		III		IV	
	a	b	a	b	a	b	a	b
pH	3,74	6,80	3,80	6,90	3,90	7,00	4,10	6,50
C-organik (ppm)	502,22*	581,20	884,44	180,65	974,19	653,76	586,67	177,55
N-total (ppm)	186,20*	179,20	952,0	46,90	174,30	151,20	59,50	49,00
C/N	3*	3	9	4	6	4	10	4
P-total (ppm)	16,94*	28,39	23,23	42,31	23,23	49,54	177,28	20,43
K-total (ppm)	114,46*	147,56	168,67	234,58	106,42	162,90	79,76	102,26
COD (ppm)	3 736		1 494,40		5 043,60		1 868,00	
BOD (ppm)	1 511,79		1 495,26		1 532,13		914,45	
DO (ppm)	0		0		0		0	
MPT (ppm)	245		297		224		139	
HCN (ppm)	0,0017	-	0,0023	-	0,0028	-	0,0003	-

Keterangan : \* analisis pada 1 minggu setelah pengambilan  
 - = tidak dianalisis  
 a = analisis awal (sebelum penyimpanan)  
 b = analisis akhir (penyimpanan selama 6 minggu)

Tabel 2. Pengaruh Pemberian Limbah Industri Tapioka terhadap Tinggi Tanaman Sayuran

Perlakuan	Umur tanaman (Minggu)			
	1	2	3	4
	(cm)			
Tanaman bayam				
L <sub>0</sub>	4,53a	7,25a	15,44a	25,97a
L <sub>1</sub>	4,97a	8,53ab	15,09a	25,23a
L <sub>2</sub>	5,12a	10,57b	15,23a	25,74a
L <sub>3</sub>	4,12a	7,47a	10,47b	16,83b
Tanaman kangkung				
L <sub>0</sub>	6,78a	12,31a	20,55a	30,47a
L <sub>1</sub>	8,25a	10,38b	18,96a	25,68a
L <sub>2</sub>	8,80a	11,22ab	19,58a	28,69a
L <sub>3</sub>	7,98a	10,66b	16,38b	20,50a
Tanaman sawi				
L <sub>0</sub>	8,11a	10,90a	14,77a	18,77a
L <sub>1</sub>	8,45a	12,27b	15,43a	18,60a
L <sub>2</sub>	8,33a	12,50b	15,40a	18,10a
L <sub>3</sub>	8,36a	12,47b	15,43a	18,23a

Tabel 3. Pengaruh Pemberian Limbah Industri Tapioka terhadap Jumlah Daun Sayuran

Perlakuan	Umur tanaman (Minggu)			
	1	2	3	4
	(cm)			
Tanaman bayam				
L <sub>0</sub>	5,00a	7,40a	10,33a	13,30a
L <sub>1</sub>	5,10a	9,67a	9,67a	13,33a
L <sub>2</sub>	5,53a	10,33a	9,93a	12,80a
L <sub>3</sub>	4,60a	8,00a	9,43a	11,33a
Tanaman kangkung				
L <sub>0</sub>	5,70a	8,50a	12,27a	16,47a
L <sub>1</sub>	5,53a	7,43ab	11,20b	16,13ab
L <sub>2</sub>	5,33a	8,40a	12,00ab	15,07b
L <sub>3</sub>	5,20a	6,33b	8,50c	10,70c
Tanaman sawi				
L <sub>0</sub>	4,23a	4,70a	5,00a	5,33a
L <sub>1</sub>	4,23a	5,00a	5,67ab	6,00a
L <sub>2</sub>	4,47a	5,62a	6,33b	6,67a
L <sub>3</sub>	4,37a	4,67a	6,30b	6,93a

Tabel 4. Laju Asimilasi Bersih pada Tanaman

Perlakuan	Bayam	Kangkung	Sawi
		g/cm <sup>2</sup> per hari	
L <sub>0</sub>	0,764 x 10 <sup>-3</sup> a (1,000)	1,130 x 10 <sup>-3</sup> a (1,001)	0,970 x 10 <sup>-3</sup> a (1,000)
L <sub>1</sub>	1,559 x 10 <sup>-3</sup> a (1,001)	0,983 x 10 <sup>-3</sup> a (1,000)	1,577 x 10 <sup>-3</sup> a (1,001)
L <sub>2</sub>	1,206 x 10 <sup>-3</sup> a (1,001)	1,512 x 10 <sup>-3</sup> a (1,001)	2,143 x 10 <sup>-3</sup> a (1,001)
L <sub>3</sub>	0,675 x 10 <sup>-3</sup> a (1,000)	1,357 x 10 <sup>-3</sup> a (1,001)	2,783 x 10 <sup>-3</sup> a (1,001)

Tabel 5. Laju Pertumbuhan Relatif Tanaman

Perlakuan	Bayam	Kangkung	Sawi
		g/hari	
L <sub>0</sub>	0,093a (1,045)	0,172a (1,083)	0,110a (1,054)
L <sub>1</sub>	0,170a (1,082)	0,163a (1,078)	0,150a (1,072)
L <sub>2</sub>	0,104a (1,050)	0,192a (1,092)	0,100a (1,049)
L <sub>3</sub>	0,082a (1,040)	0,170a (1,080)	0,078a (1,037)

Keterangan : Angka-angka dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5%

Tabel 6. Pengaruh Pemberian Limbah Industri Tapioka terhadap Produksi

Perlakuan	Bayam	Kangkung	Sawi
	Bobot segar	Bobot segar	Bobot segar
	(g)		
L <sub>0</sub>	14,357a	23,847a	5,327a
L <sub>1</sub>	11,507a	20,030a	5,920a
L <sub>2</sub>	14,007a	21,313a	4,090a
L <sub>3</sub>	11,403a	20,193a	5,900a

Keterangan : angka-angka dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5%  
angka dalam kurung hasil transformasi akar kuadrat ( $X + 1$ )

## KESIMPULAN

Penyimpanan limbah industri tapioka selama enam minggu dapat meningkatkan pH limbah dari kondisi masam (pH 3,74 – 4,10) menjadi netral (pH 6,50 – 7,00), sehingga aman untuk digunakan sebagai pupuk cair. Tanaman bayam dan kangkung memberikan respon yang baik terhadap penyiraman dengan limbah industri tapioka, sedangkan pada tanaman sawi tidak memberikan respon yang baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sahirman, S, EG Sa'id, W Tjiptadi, dan A Basith. 1993. Potensi limbah cair agroindustri untuk produksi gas bio. Hal 119-127 dalam Seminar Nasional Penanganan Limbah Industri Tekstil dan Limbah Organik (HMH. Bintoro dan DF Lumbanbatu, eds.). Persatuan Alumni Dari Jepang (PERSADA) – Cabang Bogor. 220 hal.
- [2] Winarno, FG. 1985. Penanganan limbah tanaman pangan. Hal 11-17 dalam Limbah Pertanian (FG Winarno, AFS Boediman, T Silitonga, dan B. Soewardi, eds.). Kantor Menteri Muda Urusan Peningkatan Produksi Pangan. 286 hal.
- [3] Tjiptadi, W. 1985. Telaah Kualitas dan Kuantitas Limbah Industri Tapioka serta Cara Pengendaliannya di Daerah Bogor dan Sekitarnya. Disertasi. Fakultas Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. 225 hal. Tidak Dipublikasikan.
- [4] Ciptadi, W dan MZ Nasution. 1978. Pengelolaan Umbi Ketela Pohon. Departemen Teknologi Hasil Pertanian. Institut Pertanian Bogor.
- [5] Ciptadi, W, L Herlina, Basuki, M Rusmono, Suseno, A Yulistia, dan E Hermiati. 1983. Telaah Kualitas dan Kuantitas Limbah Industri Tapioka di Bogor dan Sekitarnya serta Pembuatan Suatu Model Cara Pengendaliannya. Jurusan Teknologi Industri. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor. 214 hal.
- [6] Swingle, MC. 1958. Standarization of Chemical Analysis for Water and Mud. FAO-Fish.
- [7] Paul, NK. 1990. Physiological analysis of nitrogen response in rape and turnip. I. Leaf area, dry matter and growth attributes. Acta Agronomica Hungarica 39(1-2):31-36.
- [8] Suryadi, AH Permadi, dan N Suwarni. 1993. Ketahanan bolting dan daya hasil caisin (*Brassica camprestis* spp. *chinensis*) hasil seleksi massa pada berbagai kerapatan populasi dan dosis N di dataran rendah Subang. Buletin Penelitian Hortikultura 25(1):86-96.
- [9] Gardner, FD, RB Pearce, dan RL Mitchell. 1991. Fisiologi Tanaman Budidaya. Penerbit Universitas Indonesia. 424 hal..
- [10] Ala, A. 1987. Pengaruh Waktu Tanam dan Pemupukan Nitrogen terhadap Pertumbuhan, Produksi dan Kualitas Serat dari Dua Varietas Kaps (*Gossypium hirsutum* L.) Pada Dua Tipe Iklim. Disertasi. Fakultas Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. 233 hal. Tidak Dipublikasikan.
- [11] Field, C and HA Mooney. 1986. The photosynthesis-nitrogen relationship in wild plant. Pp. 25-55 in On The Economy of Plant Form and Fuction (TJ Givnish, ed.). Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- [12] Lynch, J and NS Rodriguez. 1994. Photosynthetic nitrogen-use efficiency in relation to leaf longevity in common bean. Crop Science 34 (5):1284-1290.
- [13] Andreeva, TF, LE Stroganova, SY Voevudskaya, SN Maevskaya, and NN Cherkanova. 1989. Effect of the increased CO<sub>2</sub> concentration on photosynthesis, carbohydrate and nitrogen metabolism an growth proses of mustard plants. Fiziologiya Rastenii 36(1):40-48.
- [14] Watanabe, I and K Tabuchi. 1972. Mechanism of varietal differences in photosynthetic rate of soybean leaves III. Relationship between photosynthetic rate and some leaf-characters such as fresh weight, dry weight or mesophyll volume per unit leaf area. Proc. Crop Sci. Soc 42:437-441.
- [15] Dornhoff, GM and RM Shibles. 1976. Leaf morphology and anatomy in relation to CO<sub>2</sub>-exchange rate of soybean leaves. Crop Science 16:377-381.
- [16] Lynch, J and J White. 1992. Shoot nitrogen dynamic in tropical common bean. Crop Science 32:392-397.
- [17] Ma, BL, MJ Morrison, and HD Voldeng. 1995. Leaf greenness and photosynthetic rates in soybean. Crop Science 35(5):1411-1414.
- [18] Biro Pusat Statistik. 1992. Survei Pertanian : Produksi Tanaman Sayuran dan Buah-buahan Semusim Di Indonesia. Biro Pusat Statistik, Jakarta.