

## II. TINJAUAN PUSATAKA

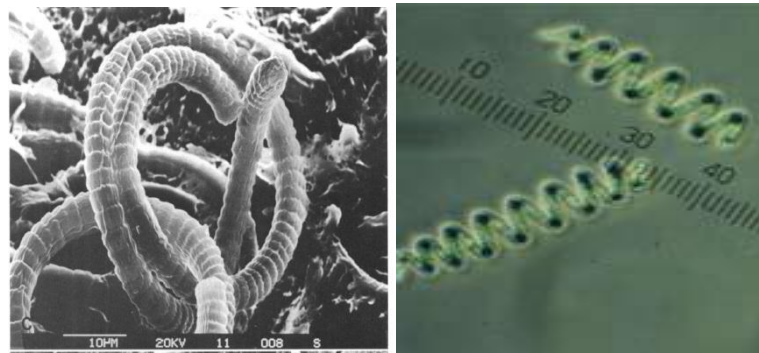
### A. *Spirulina* sp.

#### 1. Morfologi dan Klasifikasi

*Spirulina* sp. merupakan mikroalga yang menyebar secara luas, dapat ditemukan di berbagai tipe lingkungan, baik di perairan payau, laut dan tawar (Ciferri, 1983). Ciri-ciri morfologinya yaitu filamen yang tersusun dari trikoma multiseluler berbentuk spiral yang bergabung menjadi satu, memiliki sel berkolom membentuk filamen terpilin menyerupai spiral, tidak bercabang, autotrof, dan berwarna biru kehijauan (Gambar 2).

Bentuk tubuh *Spirulina* sp. yang menyerupai benang merupakan rangkaian sel yang berbentuk silindris dengan dinding sel yang tipis, berdiameter 1-12  $\mu\text{m}$ . Filamen *Spirulina* sp. hidup berdiri sendiri dan dapat bergerak bebas (Tomaselli, 1997). *Spirulina* sp. berwarna hijau tua di dalam koloni besar yang berasal dari klorofil dalam jumlah tinggi. *Spirulina* sp. memiliki struktur trichoma spiral dengan filamen–filamen bersifat mortal dan tidak memiliki heterosit. Sel *Spirulina* sp. berukuran relatif besar yaitu 110  $\mu\text{m}$ , sehingga dalam proses pemanenan dengan menggunakan kertas saring lebih mudah (Borowitzka M.A., 1988). Klasifikasi *Spirulina* sp. menurut Bold dan Wyne (1985) adalah sebagai berikut:

Kingdom : Protista  
 Divisi : Cyanophyta  
 Kelas : Cyanophyceae  
 Ordo : Nostocales  
 Famili : Oscilatoriaceae  
 Genus : *Spirulina*  
 Spesies : *Spirulina* sp.

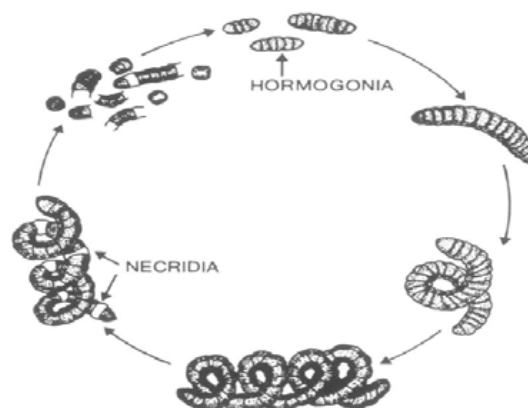


Gambar 2. *Spirulina* sp.  
 (Sumber: R. Locci dalam Cifferi, 1983 dan Henrickson, 1989)

Struktur sel *Spirulina* sp. hampir sama dengan tipe sel alga lainnya dari golongan *cyanobacteria*. Dinding sel merupakan dinding sel gram-negatif yang terdiri dari 4 lapisan, dengan lapisan utamanya tersusun dari peptidoglikan yang membentuk lapisan koheren. Peptidoglikan berfungsi sebagai pembentukan pergerakan pada *Spirulina* sp. yang membentuk spiral teratur dengan lebar belokan 26-28  $\mu\text{m}$ , sedangkan sel-sel pada trichoma memiliki lebar 6-8  $\mu\text{m}$  (Eykelenburg, 1977). Bagian tengah dari nukleoplasma mengandung beberapa karboksosom, ribosom, badan silindris, dan lemak. Membran tilakoid berasosiasi dengan pikobilisom yang tersebar disekeliling sitoplasma. *Spirulina* sp. mempunyai kemampuan untuk berfotosintesis dan mengubah energi cahaya menjadi energi kimia dalam bentuk karbohidrat (Mohanty *et al.*, 1997).

## 2. Reproduksi

Siklus hidup *Spirulina* sp. yaitu proses reproduksinya disempurnakan dengan fragmentasi dari trikoma yang telah dewasa. Reproduksi *Spirulina* sp. terjadi secara aseksual (pembelahan sel) yaitu dengan memutus filamen menjadi satuan-satuan sel yang membentuk filamen baru. Ada tiga tahap dasar pada reproduksi *Spirulina* sp. yaitu proses fragmentasi trikoma, pembesaran dan pematangan sel hormogonia, serta perpanjangan trikoma (Gambar 3). Selanjutnya trikoma dewasa dapat dibagi menjadi filamen atau hormogonia, dan sel-sel di hormogonia akan meningkat melalui pembelahan biner, tumbuh memanjang dan membentuk spiral (Hongmei Gong *et al.*, 2008).



Gambar 3. Siklus Hidup *Spirulina* sp.  
(Sumber: Hongmei Gong *et al.*, 2008)

Siklus reproduksi mikroalga tersebut berlangsung melalui pembentukan hormogonium yang dimulai ketika salah satu atau beberapa sel yang terdapat di tengah-tengah trikoma yang mengalami kematian dan membentuk badan yang disebut cakram pemisah berbentuk bikonkaf. Sel-sel mati yang disebut nekrida tersebut akan putus dengan segera, kemudian trikoma terfragmentasi menjadi koloni sel yang terdiri atas 2-4 sel yang disebut hormogonia dan memisahkan diri

dari filamen induk untuk menjadi trichoma baru. Hormogonia memperbanyak sel dengan pembelahan pada sel terminal. Tahap akhir proses pendewasaan sel ditandai terbentuknya granula pada sitoplasma dan perubahan warna sel menjadi hijau kebiruan (Cifferi, 1983).

### **3. Kandungan Nutrisi**

Analisis kimia dari *Spirulina* sp. dimulai pada tahun 1970 yang menunjukkan *Spirulina* sp. sebagai sumber yang sangat kaya protein, vitamin dan mineral. Kandungan protein pada *Spirulina* sp. berkisar antara 60% -70% dari berat kering, mengandung provitamin A tinggi, sumber  $\beta$ -karoten yang kaya vitamin B12 dan digunakan dalam pengobatan anemia, kandungan lipid sekitar 4-7%, serta karbohidrat sekitar 13,6% (Carrieri *et al.*, 2010). *Spirulina* sp. juga mengandung kalium, protein dengan kandungan *Gamma Linolenic Acid* (GLA) yang tinggi (Tokusoglu dan Unal, 2006) serta vitamin B1, B2, B12 dan C (Brown *et al.*, 1997), sehingga sangat baik apabila dijadikan pakan ataupun bahan untuk makanan dan obat-obatan.

Komposisi pigmen pada *Spirulina* sp. merupakan komposisi pigmen yang kompleks dan umum ditemukan pada alga biru hijau. Komposisi tersebut diantaranya adalah klorofil- a, *xanthophyll*, *fikosianin* dan karotenoid yang terdiri dari *myxoxanthophyll*, *beta karoten*, dan *zeaxanthin* (Christwardana dan Hadiyanto, 2012). Fikosianin merupakan salah satu dari tiga pigmen (klorofil dan karotenoid) yang mampu menangkap radiasi sinar matahari paling efisien (Hall & Rao, 1999). Fikosianin adalah pigmen yang paling dominan pada *Spirulina* sp. dan jumlahnya lebih dari 20% berat kering (Borowitzka M.A., 1988). Fikosianin

sebagai biliprotein diketahui mampu menghambat pembentukan koloni kanker (Adams, 2005).

*Spirulina* sp. banyak digunakan sebagai makanan fungsional dan penghasil berbagai bahan aktif penting bagi kesehatan, antara lain asam lemak tak jenuh majemuk (*Polyunsaturated Fatty Acids*) yaitu asam linoleat (LA) dan  $\alpha$ -linolenat (GLA) (Cohen *et al.*, 1987). LA dan GLA berguna untuk pengobatan hiperkolesterolemia, sindroma prahaid, eksema atopik dan antitrombotik.

Pemanfaatan mikroalga *Spirulina* sp. sebagai makanan kesehatan sudah banyak dilakukan. Selain mudah dicerna, mikroalga ini mengandung senyawa-senyawa yang diperlukan oleh tubuh, seperti protein, lipid, karbohidrat, asam lemak tidak jenuh, vitamin-vitamin, mineral, asam amino, dan beberapa jenis pigmen yang sangat bermanfaat. Pada beberapa negara tertentu seperti Spanyol, Switzerland, Australia, Jepang, dan Amerika, mikroalga telah dimanfaatkan sebagai obat-obatan dan bubuk keringnya dijadikan sebagai makanan kesehatan yang dipasarkan (Henricson, 2009).

*Spirulina* sp. dapat ditumbuhkan dalam media yang berbeda bahkan dalam media limbah. *Spirulina* sp. tumbuh dengan memanfaatkan gula sebagai sumber karbon, dan hidrolisat protein sebagai sumber nitrogen. Bahan-bahan organik yang diperlukan untuk pertumbuhan mikroalga ini terdapat melimpah dalam limbah-limbah yang berasal dari tanaman seperti limbah tapioka, limbah lateks, dan kelapa sawit. Berdasarkan penelitian dari Sumiarsa *et al.*, (2011), diketahui bahwa *Spirulina* sp. berhasil dijadikan sebagai biofilter pada limbah cair peternakan sapi. Limbah cair peternakan sapi mengandung bahan organik yang dimanfaatkan oleh *Spirulina* sp. sebagai bahan makanan khususnya nitrat ( $\text{NO}_3$ ).

Nitrat adalah bentuk nitrogen utama diperairan alami dan merupakan nutrisi utama dalam pertumbuhan alga (Effendi, 2003).

## **B. Faktor – Faktor Pertumbuhan**

Pertumbuhan mikroalga dalam kultur dapat ditandai dengan bertambah besarnya ukuran sel atau bertambahnya jumlah sel. Pertumbuhan ini dapat dilihat dari semakin meningkatnya tingkat kepadatan sel pada kultur. Lingkungan tempat tumbuh harus dapat dikondisikan sehingga memenuhi semua kebutuhan yang diperlukan oleh mikroalga agar dapat tumbuh optimal. Faktor - faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroalga antara lain adalah sebagai berikut.

### **1. Media**

Media kultur mikroalga dibedakan menjadi dua jenis yaitu media sintetik dan media alami. Media sintetik yang sering digunakan dalam kultur mikroalga antara lain media Conwy, Walne, dan NPF<sub>e</sub>. Media alami yang telah berhasil digunakan sebagai media kultur mikroalga yaitu ekstrak tauge, limbah cair tapioka, kelapa sawit, ampas tahu, dan air kelapa.

Menurut Vonshak *et al.* (2004), setiap jenis mikroalga memiliki perbedaan komposisi protein dan lemak dalam komposisi biokimia pada tubuhnya, dimana unsur yang penting berupa nitrogen (N) dan fosfor (P). Protein dalam *Spirulina* sp. sangat dibutuhkan untuk proses metabolisme sel dalam menunjang pertumbuhan, yaitu mempengaruhi proses sintesis dan akumulasi dari kandungan dalam sel seperti karbohidrat, asam amino, asam nukleat dan lemak (Tokusoglu & Unal, 2006).

Nutrien utama pada media kultur mikroalga adalah N, namun terkadang N pada media dalam bentuk anorganik seperti nitrit ( $\text{NO}_2$ ) dan nitrat ( $\text{NO}_3$ ), akan tetapi mikroalga umumnya dapat menggunakan  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ , atau amonium ( $\text{NH}_4$ ) sebagai sumber N dengan tingkat pertumbuhan yang sama terlepas bentuknya organik maupun anorganik (Borowitzka, 1988).

Fosfor adalah nutrisi utama lain untuk kultur mikroalga. Bentuk utama dimana mikroalga menyerap fosfor adalah fosfat anorganik seperti  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  dan  $\text{HPO}_4^{2-}$ . Mikroalga dapat memanfaatkan senyawa fosfat organik dan menghidrolisis dengan ekstrasel oleh aksi enzim phosphoesterase atau fosfatase dan kemudian mengambil P anorganik yang dihasilkan (Borowitzka, 1988).

Becker (1995), Vonshak *et al.*, (2004), dan Andersen (2005) menyatakan bahwa pertumbuhan *Spirulina* sp. akan dipengaruhi oleh ketersediaan nutrisi dalam media pertumbuhannya. Makronutrien dalam media yang dibutuhkan yaitu berupa C, H, O, N, P, K, S, Ca dan unsur mikronutrien yaitu Fe, Cu, Mg, Co, Mn, B, Zn,. Komponen vitamin yang tersedia dalam media juga dapat mempercepat pertumbuhan terutama kandungan vitamin B12 (Andersen, 2005).

## **2. Faktor – Faktor Lingkungan**

*Spirulina* sp. merupakan mikroalga yang memiliki daya adaptasi tinggi, yang artinya dia mampu tumbuh dalam berbagai kondisi pertumbuhan. Misalnya dapat ditemukan di perairan dengan pH basa. Kondisi pH basa memberikan keuntungan dari sisi budidaya, karena relatif tidak mudah terkontaminasi oleh mikroalga yang lain, yang pada umumnya hidup pada pH yang lebih rendah atau lebih asam (Ogawa dan Terui, 1970). Faktor-faktor lingkungan yang mendukung pertumbuhan *Spirulina* sp. adalah suhu, cahaya, pH, dan agitasi (Vonshak, 1986).

Faktor pembatas yang sangat penting dalam kultur mikroalga baik skala laboratorium, semi massal, maupun massal adalah suhu. Penurunan suhu pada lingkungan kultur akan dapat menyebabkan penurunan laju fotosintesis dan meningkatnya derajat lipid tidak jenuh di dalam sistem membran, sedangkan peningkatan suhu akan merangsang aktivitas molekul sehingga laju difusi meningkat (Borowitzka dan Borowitzka, 1988). Menurut Taw (1990), kisaran suhu optimal untuk *Spirulina* sp. skala laboratorium adalah 25-35°C.

Nilai pH pada media tumbuh mikroalga akan menentukan kemampuan biologi mikroalga dalam memanfaatkan unsur hara, sehingga pH optimum sangat penting untuk menunjang pertumbuhan *Spirulina* sp. yang optimal. Nilai pH yang baik untuk pertumbuhan *Spirulina* sp. berkisar antara 8,5-9,5 (Suryati, 2002).

Cahaya dalam kultur mikroalga skala laboratorium biasanya cukup dengan menggunakan lampu TL atau neon. Cahaya merupakan sumber energi bagi mikroalga untuk dapat melakukan fotosintesis. Apabila mikroalga kekurangan cahaya dalam lingkungan kulturnya maka fotosintesis akan berlangsung tidak normal. Pencahayaan pada kultur dapat dipengaruhi oleh tingkat intensitas pencahayaan, lamanya pencahayaan dan bergantung dari kepadatan sel yang akan mempengaruhi pembentukan bayangan sel itu sendiri. Intensitas cahaya yang optimal untuk pertumbuhan *Spirulina* sp. berkisar antara 1500-3000 lux dan tidak melebihi 4000 lux untuk menghindari fotoinhibisi (Richmond, 1968).

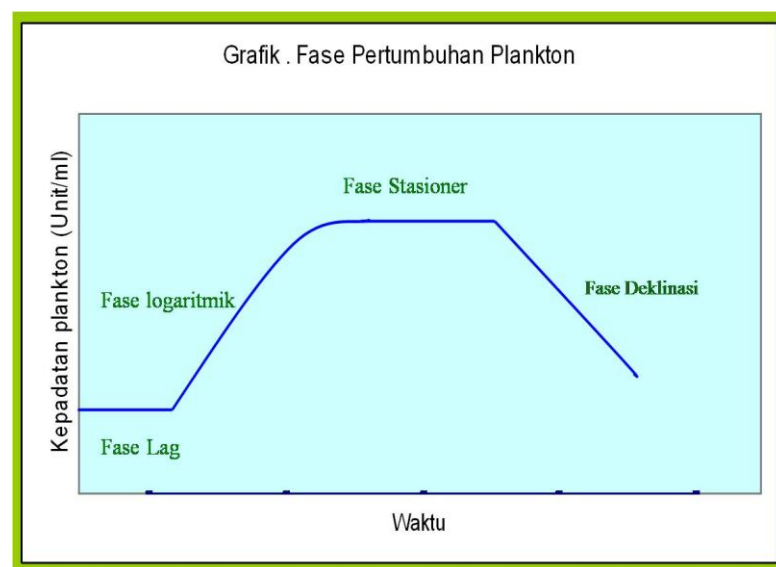
Agitasi atau proses pengadukan merupakan faktor yang penting dalam mengoptimalkan proses pertumbuhan *Spirulina* sp. Agitasi dilakukan untuk menjaga kelarutan CO<sub>2</sub>, meratakan penyebaran nutrisi dan cahaya serta mencegah pengendapan sel-sel alga. Salah satu cara agitasi yang termudah dan



efektif adalah dengan aerasi. Pemberian aerasi tersebut akan dapat memberikan udara ke dalam media tumbuh. Aerasi merupakan salah satu alat untuk membantu difusi oksigen dalam perairan. Dalam kultur *Spirulina* sp. aerasi diperlukan mencegah terjadinya pengendapan, meratakan nutrisi, membuat gerakan untuk terjadinya pertukaran udara (penambahan CO<sub>2</sub>) dan dalam skala massal untuk mencegah terjadinya stratifikasi suhu (Novrina, 2003).

### C. Fase Pertumbuhan

Pertumbuhan mikroalga dibagi menjadi empat fase yaitu fase lag, fase eksponensial (logaritmik), fase stasioner, dan fase deklinasi (Gambar 3).



Gambar 4. Fase pertumbuhan mikroalga  
(Sumber: Winasis, 2011)

#### 1. Fase Lag

Fase lag adalah fase adaptasi dimana terjadi penyesuaian sel terhadap lingkungan baru. Pada saat adaptasi, sel mengalami defisiensi enzim atau koenzim, sehingga harus disintesis dahulu untuk berlangsungnya aktivitas biokimia sel selanjutnya. Lamanya fase adaptasi dipengaruhi oleh beberapa factor yaitu media, lingkungan

pertumbuhan, dan jumlah inokulan. Pada fase lag, populasi mikroalga tidak mengalami perubahan, tetapi ukuran sel meningkat. Fotosintesis masih aktif berlangsung dan organisme mengalami metabolisme tetapi belum terjadi pembelahan sel sehingga kepadatannya belum meningkat (Brock and Madigan, 1991).

## **2. Fase Eksponensial**

Pada fase eksponensial mikroalga membelah dengan cepat dan konstan sehingga kepadatan sel akan meningkat mengikuti kurva logaritmik. Pada fase eksponensial mikroalga lebih banyak membutuhkan energi dari pada fase lainnya dan paling sensitif terhadap keadaan lingkungannya (Vonshak *et al.* 2004 ; Andersen, 2005).

Kandungan protein pada fase eksponensial akan tetap, sedangkan akumulasi dari kandungan karbohidrat dan lemak terjadi pada fase stasioner dari siklus hidup mikroalga (Becker, 1995 ; Andersen, 2005).

## **3. Fase Stasioner**

Fase stasioner merupakan fase dengan pertumbuhan yang mulai mengalami penurunan dibandingkan fase eksponensial. Brown *et al.* (1997) menjelaskan bahwa pada saat kultur berada pada fase stasioner, komposisi mikroalga berubah secara signifikan karena terbatasnya kandungan nitrat pada media kultur yang mengakibatkan kandungan karbohidrat meningkat hingga dua kali lipat dari kandungan protein. Menurut Chu *et al.* (1982), kandungan karbohidrat total meningkat sesuai dengan umur dari kultur mikroalga. Pada fase stasioner, laju reproduksi atau pembelahan sel sama dengan laju kematian dalam arti

penambahan dan pengurangan plankton relatif sama sehingga kepadatan plankton cenderung tetap.

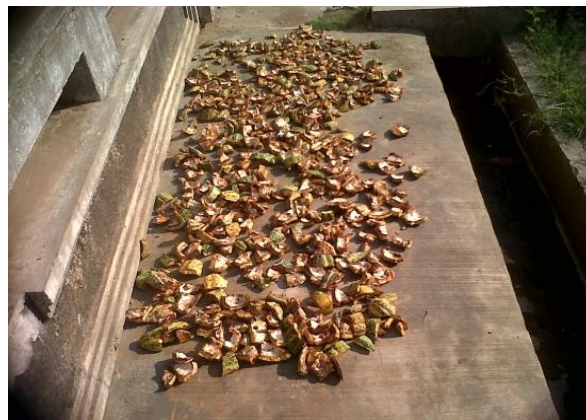
#### 4. Fase Deklinasi

Fase deklinasi (kematian) merupakan fase ketika terjadi penurunan jumlah atau kepadatan mikroalga. Kematian sel dapat disebabkan oleh mulai berkurangnya nutrisi yang tersedia sehingga tidak mampu mendukung pertumbuhan sel, penurunan kualitas air, dan akumulasi metabolit ( $\text{NO}_2^-$  dan  $\text{NH}_4^+$ ). Akibatnya laju kematian sel lebih besar dibandingkan dengan laju pertumbuhan sel (Lavens dan Sorgeloos, 1996).

#### D. Buah Kakao

Menurut Steenis (1973), klasifikasi buah kakao adalah sebagai berikut:

Devisio : Spermatophyta  
Sub devisio : Angiospermae  
Class : Dicotyledon  
Ordo : Malvales  
Familia : Sterculiaceae  
Genus : *Theobroma*  
Species : *Theobroma cacao* L



Gambar 5. Kulit Buah Kakao

Kakao (*Theobroma cacao* L) adalah tanaman perkebunan yang umumnya tumbuh di daerah tropis. Kakao tanaman yang cocok akan naungan (*Shade Loving Plant*) dengan potensi hasil bervariasi 50-120 buah/pohon/tahun. Varietas yang umum terdiri atas Criolo, Forastero, dan Trinitario (hibrida) yang merupakan hasil persilangan Criolo dan Forastero (Departemen Perindustrian, 2007).

Syarat untuk pertumbuhan kakao yang baik yaitu tinggi tempat tanaman kakao maksimum 1200 m dpl, kemiringan lereng maksimum 40°, tanahnya harus memiliki penyimpanan/ketersediaan air maupun saluran yang baik, letak lintang 20° LU - 20° LS, temperatur optimum 26.6° C, intensitas cahaya 75% dari cahaya penuh pada tanaman dewasa, kelembaban > 80%, dan kecepatan angin ideal 2-5 m/detik akan sangat membantu dalam penyerbukan (Departemen Perindustrian, 2007).

Buah kakao merupakan salah satu tanaman perkebunan penghasil limbah dalam jumlah besar, sampai saat ini belum ada pemanfaatan kulit buah kakao secara optimal. Berdasarkan survei lapangan kulit buah kakao dibuang begitu saja sebagai pupuk tanaman dengan cara ditimbun di sela-sela tanaman kakao (Nuraini, 2006). Padahal ditinjau dari potensinya kulit buah kakao dapat dijadikan suatu produk yang kaya akan bahan organik. Hasil analisis proksimat kompos kulit buah kakao (Tabel 1), serta tepung dan media cair kulit buah kakao (Tabel 2).

Tabel 1. Hasil analisis kompos kulit kakao

No	Parameter	Kompos Kulit Buah Kakao (%)
1	N-Total	0.6053
2	P-Total	2.964
3	C-Organik	10.025
4	C/N Rasio	16.611

(Sumber: Wibowo, 2012)

Tabel 2. Hasil analisis tepung dan media cair kulit buah kakao

No	Parameter	Tepung Kulit Buah (%)	Media Cair Kulit Buah (%)
1.	N-Total	1,365	0,111
2.	P-Total	0,206	0,165
3.	N/P Rasio	6,626	0,672

(Sumber: Laboratorium Politeknik Negeri Lampung, 2013)

Setiap tanaman kakao rata-rata dapat menghasilkan  $\pm 30$  buah/tahun dengan berat sekitar 300-500 gram/buah. Bila digunakan jarak tanam 4 m x 4 m, maka untuk setiap hektar lahan dapat ditanami 625 pohon. Buah kakao yang dapat dihasilkan sekitar 7,5 ton/ha/tahun. Berat kulit buah kakao mencapai 75% seluruh berat buah atau setara dengan 5,6 ton/ha/tahun (Supriyanto, 1989).

Ditinjau dari segi kandungan zat-zat makanan, kulit buah kakao mengandung protein kasar 11,71%, serat kasar 20,79%, lemak 11,80% dan BETN 34,90% (Nuraini, 2006). Lalu menurut Supriyanto (1989), kandungan gizi kulit buah kakao lebih baik dibandingkan dengan limbah perkebunan lainnya seperti pucuk tebu, kulit kopi, tetes dan lain-lain. Kulit buah kakao mengandung  $\pm 19\%$  protein; 6,2% lemak dan 16% serat kasar. Beberapa penelitian yang pernah dilakukan untuk memanfaatkan kulit buah kakao antara lain sebagai pakan ternak (Anonim, 2001), pembuatan tepung (Supriyanto, 1989 dan Muttaqin, 1996), dan pembuatan ekstrak pektin (Endah, 1990)