

II. TINJAUAN PUSTAKA

1. Morfologi Tanaman Kedelai

Kedelai (*Glycine max* (L.) Merr.) adalah tanaman bersemak rendah, tumbuh tegak dengan tinggi berkisar 10-200 cm (Hidayat,1985). Berdasarkan sistem klasifikasi, tanaman kedelai termasuk dalam Kingdom Plantae, Divisio Spermatophyta, Subdivisio Angiospermae, Kelas Dicotyledonae, Ordo Rosales, Famili Leguminoceae, Genus Glycine, Spesies *Glycine max* (L) Merril (Adie dan Krisnawati, 2007). Kedelai umumnya menyukai tanah yang bertekstur ringan hingga sedang, dan berdrainase baik selama pertumbuhan. Kedelai dapat tumbuh baik pada tanah alluvial, regosol, grumosol, latosol dan andosol (Anonymous, 2008). Toleransi pH yang baik sebagai syarat tumbuh yaitu 5,8 – 7, tetapi pada tanah dengan pH 4,5 kedelai masih dapat tumbuh baik dengan menambah kapur 2,4 ton per ha (Andrianto dan Indarto, 2004).

Fase pertumbuhan kedelai diawali dengan fase vegetatif. Fase vegetatif diawali dengan proses perkecambahan, biji kedelai akan berkecambah bila memperoleh cukup air. Tipe perkecambahan kedelai termasuk tipe epigeal, dimana keping biji (kotiledon) akan muncul dari permukaan tanah. Perkecambahan tanaman kedelai muncul dari permukaan tanah 5-7 hari setelah benih ditanam, 2-3 hari kemudian keluar 2 lembar daun primer yang membuka dan tanaman muda membentuk daun trifoliat (Hidayat, 1985).

Biji kedelai berkeping dua yang terbungkus oleh kulit biji. Warna kulit biji kedelai bermacam-macam ada kuning, hitam dan coklat. Bentuk biji kedelai pada umumnya bulat lonjong, ada yang bundar agak pipih. Kedelai digolongkan berbiji kecil bila bobot 100 bijinya kurang dari 10 gram, berbiji sedang bila bobot 100 bijinya 13 gram atau lebih dan jika melebihi 13 gram maka dikategorikan berbiji besar.

Tinggi batang kedelai antara 30 – 100 cm. Tiap batang dapat membentuk 3 hingga 6 cabang. Batang kedelai dewasa memiliki 19 – 24 ruas yang sempurna pada 4 – 5 minggu setelah tanam. Apabila jarak tanaman dalam barisan rapat, cabang menjadi berkurang atau tidak bercabang sama sekali (Suprpto, 1992).

Kedelai berakar tunggang, pada tanah gembur akar kedelai dapat mencapai kedalaman 150 cm. Pada akar kedelai terdapat bintil-bintil akar, berupa koloni dari bakteri *Rhizobium japonicum*. Bakteri *Rhizobium japonicum* dapat mengikat nitrogen dari udara yang kemudian digunakan untuk pertumbuhan kedelai. Sebaliknya *Rhizobium* memerlukan makanan yang berasal dari kedelai untuk pertumbuhannya (Suprpto, 1992).

Kedelai memiliki bunga sempurna atau hermaprodite artinya dalam setiap bunga terdapat alat kelamin jantan dan betina. Penyerbukan terjadi saat mahkota bunga masih menutup, sehingga terjadinya kawin silang sangat kecil. Bunga berwarna ungu dan putih yang terletak pada ruas-ruas batang. Bunga akan rontok sekitar 60% sebelum membentuk polong walaupun telah terjadi penyerbukan secara sempurna. Pembungaan dipengaruhi oleh lama penyinaran dan suhu, kedelai tidak berbunga apabila lama penyinaran melebihi batas kritis yaitu sekitar 15 jam (Suprpto, 1992).

Buah kedelai disebut polong, setiap polong berisi 1-4 biji. Jumlah polong pertanaman tergantung pada varietas yang ditanam. Adie dan Krisnawati (2007) menambahkan biji kedelai ialah komponen morfologi yang bernilai ekonomis. Bentuk biji kedelai beragam dari lonjong hingga bulat. Warna kulit biji kedelai bervariasi dari kuning, hijau, coklat, hitam hingga kombinasi berbagai warna atau campuran.

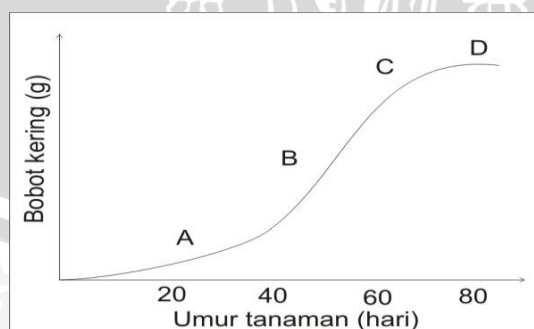
2. Pertumbuhan dan perkembangan tanaman kedelai

Pertumbuhan dan perkembangan berlangsung secara terus-menerus sepanjang daur hidup, bergantung pada hasil asimilasi, hormon dan substansi pertumbuhan lainnya, serta lingkungan yang mendukung (Gardner *et al.*, 1991). Pertumbuhan tanaman ditunjukkan oleh pertambahan ukuran dan bobot kering. Pertambahan ukuran dan bobot kering dari suatu organisme mencerminkan bertambahnya protoplasma, yang mungkin terjadi karena baik ukuran sel maupun jumlahnya bertambah (Harjadi, 1996).

Pertumbuhan tanaman kedelai dibagi menjadi 2 fase, yaitu fase vegetatif dan fase reproduktif. Fase vegetatif diawali dengan perkecambahan biji, pembentukan akar, pembentukan daun, pembentukan batang utama dan cabang

yang berakhir pada saat terbentuknya bunga pertama. Fase generatif atau reproduktif diawali pada saat mulai terbentuknya bunga pertama, pembentukan polong dan diikuti dengan pengisian serta pemasakan polong (Smith, 1995). Hidayat (1992) menjelaskan bahwa pertumbuhan tanaman kedelai dimulai dari proses perkecambahan yaitu benih yang ditanam setelah 1-2 hari akan muncul bakal akar yang tumbuh cepat di dalam tanah, diiringi dengan kotiledon yang terangkat ke permukaan tanah dan setelah kotiledon terangkat ke atas permukaan tanah, kedua lembar daun primer terbuka 2-3 hari kemudian. Pertumbuhan awal tanaman muda selanjutnya ditandai dengan pembentukan daun bertangkai 3 dan pada akar akan terbentuk akar-akar cabang. Munculnya tanaman muda antara 4-5 hari setelah tanam. Daun-daun berikutnya terbentuk pada batang utama dan berbentuk daun trifoliolate. Kegiatan ini berlangsung sampai tanaman berumur \pm 40 hari setelah tanam.

Pada kurva (Gambar 1) terlihat bahwa pertumbuhan tanaman meningkat dengan cepat terutama pada fase eksponensial dan linier yang didasarkan pada peningkatan bobot kering tanaman. Pada fase eksponensial (*a*) terjadi pembentukan daun, sedangkan pada fase linier (*b*) mulai terjadi pergeseran pertumbuhan vegetatif ke generatif. Oleh karena itu pada fase-fase inilah tanaman membutuhkan nutrisi, terutama unsur hara esensial. Laju linier diikuti oleh suatu fase yang lajunya menurun atau lambat (*c*), kemudian penambahan pertumbuhan secara progresif berkurang menurut waktu, sampai mencapai keadaan konstan (*d*). Fase keadaan konstan ini disebut sebagai pematangan fisiologis (Gardner *et al.*, 1991).



Gambar 1. Kurva pertumbuhan tanaman kedelai

Ket: Sebelum daerah A = fase pertumbuhan lambat (perkecambahan); Daerah A = fase tumbuh eksponensial (cepat); Daerah B = fase tumbuh linier (cepat); Daerah C = fase tumbuh lambat; Daerah D = fase tumbuh stabil (konstan).

Fase vegetatif menuju ke fase reproduktif tanaman yaitu ditandai dengan munculnya bunga pertama. Tanaman kedelai tergolong sebagai tanaman hari pendek, kedelai akan cepat berbunga jika periode gelap antara 14-16 jam per hari. Fase reproduktif dikelompokkan tiga fase, yakni fase pembungaan, pembentukan polong, dan pematangan biji (Adie dan Krisnawati, 2007). Ditambahkan oleh Rukmana dan Yuniarsih (1996) setelah fase tersebut, umumnya varietas kedelai yang ada di Indonesia akan berbunga setelah berumur 30 hari setelah tanam, jumlah bunga yang terbentuk pada ketiak daun beraneka ragam tergantung pada varietas dan lingkungan tumbuh tanaman. Apabila suatu tanaman mengembangkan bunga, buah dan biji atau alat penyimpanan, maka tidak seluruh karbohidrat digunakan untuk perkembangan batang, daun dan perakaran. Hal tersebut karena sebagian disisakan untuk perkembangan bunga, buah dan biji atau alat penyimpanan (Harjadi 1996).

Tanaman berada pada fase pembentukan polong apabila terbentuk satu polong sepanjang 5 mm pada batang utama dan terjadi pada saat tanaman berumur 40 hingga 50 hari setelah tanam. Pada fase ini kekurangan air, kelebihan air dan serangan hama penyakit berpengaruh buruk pada proses pengisian polong. Sedangkan fase pemasakan polong diawali adanya satu polong yang telah berwarna kuning (matang) dan fase ini sering disebut sebagai fase masak fisiologis. Jika 90% polong telah berwarna coklat maka tanaman siap untuk dipanen (Adie dan Krisnawati, 2007).

3. Faktor faktor yang mempengaruhi Laju Fotosintesis

3.1 Cahaya

Cahaya merupakan sumber energi bagi fotosintesis oleh karena itu cahaya matahari mempunyai pengaruh yang besar terhadap proses fotosintesis. Pengaruh cahaya terhadap fotosintesis meliputi tiga hal yaitu intensitas cahaya, lamanya penyinaran dan kualitas cahaya atau panjang gelombang. Intensitas cahaya ialah banyaknya energi cahaya yang diterima persatuan luas waktu. Umumnya makin tinggi intensitas cahaya akan makin bertambah besar kecepatan fotosintesisnya sampai suatu faktor (dalam hal kadar CO₂) menjadi faktor pembatas dari cahaya yang diterima tanaman. Pengaruh cahaya terhadap fotosintesis juga dipengaruhi

oleh lamanya penyinaran. Makin tinggi intensitas cahaya, maka pengaruh dari lamanya waktu penyinaran akan makin besar (Heddy, 1990). Secara keseluruhan cahaya mempengaruhi pertumbuhan tanaman, struktur anatomi dan kandungan N. Selain itu cahaya juga berperan dalam aktifitas enzim serta mempercepat reaksi.

3.2 Suhu

Kisaran suhu yang memungkinkan fotosintesis sangat bervariasi pada berbagai tumbuhan, tetapi untuk sebagian besar tumbuhan di daerah tropik kisaran itu kira-kira 5-40°C (Loveless, 1991). Tumbuhan mempunyai suhu optimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan tumbuhan C3, di mana perbedaan ini terutama disebabkan oleh rendahnya fotorespirasi pada tumbuhan C4. Peningkatan suhu pada kisaran yang normal hanya sedikit berpengaruh terhadap hidrolisis air dan difusi CO₂ kedalam daun, tetapi akan sangat berpengaruh terhadap reaksi biokimia fiksasi dan reduksi CO₂. Oleh sebab itu, peningkatan suhu akan meningkatkan laju fotosintesis sampai terjadinya denaturasi enzim dan kerusakan pada fotosistem (Lakitan, 2004).

Suhu tanah yang optimal dalam proses perkecambahan adalah 30°C. Bila tumbuh pada suhu tanah yang rendah (<15°C), proses perkecambahan menjadi sangat lambat dan bisa mencapai 2 minggu. Hal ini dikarenakan perkecambahan biji tertekan pada kondisi kelembaban tanah tinggi. Sementara pada suhu tinggi (>30°C), banyak biji yang mati akibat respirasi air dari dalam biji yang terlalu cepat. Disamping suhu tanah, suhu lingkungan juga berpengaruh terhadap perkembangan tanaman kedelai. Bila suhu lingkungan sekitar 40°C pada masa tanaman berbunga, bunga tersebut akan rontok sehingga jumlah polong dan biji kedelai yang terbentuk juga menjadi berkurang. Suhu yang terlalu rendah (10°C), seperti pada daerah subtropik, dapat menghambat proses pembungaan dan pembentukan polong kedelai. Suhu lingkungan optimal untuk pembungaan bunga adalah 24 -25°C (Anonymous a, 2009).

3.3 Konsentrasi CO₂

Bagi tumbuh-tumbuhan yang hidup di darat atmosfer adalah satu-satunya sumber CO₂. Konsentrasi CO₂ mempunyai pengaruh yang nyata terhadap laju fotosintesis. Pada konsentrasi karbondioksida rendah kecepatan fotosintesis hampir sebanding dengan konsentrasi karbondioksida, hal ini menyatakan bahwa pada konsentrasi rendah hampir seluruh karbondioksida mengatur kecepatan proses ini. Jika konsentrasi karbondioksida tinggi, peningkatan kecepatan turun dengan cepat, sampai dicapai kecepatan maksimum kira-kira pada konsentrasi 1%, di atas angka ini kecepatan akan konstan pada suatu kisaran lebar dari konsentrasi karbondioksida.

Tumbuh-tumbuhan mengurangi kadar karbon dioksida di atmosfer dengan melakukan fotosintesis, disebut juga sebagai asimilasi karbon, yang menggunakan energi cahaya untuk memproduksi materi organik dengan kombinasi karbon dioksida dan air. Tumbuh-tumbuhan juga mengeluarkan CO₂ selama pernapasan, sehingga penyerap bersih CO₂ terjadi pada tahap pertumbuhan yang aktif dari tanaman. Sebagai contoh, hutan tumbuh akan menyerap berton-ton CO₂ setiap tahunnya, namun hutan matang akan menghasilkan CO₂ dari pernapasan dan dekomposisi sel-sel mati sebanyak yang dia gunakan untuk biosintesis tumbuhan (Anonymous d, 2010).

3.4 Kadar air

Meskipun air salah satu bahan baku dalam proses fotosintesis, namun pengaruh dari pengurangan air dalam daun terhadap kecepatan fotosintesis pada umumnya adalah secara tidak langsung. Pengaruh kadar air dalam tanah akan menyebabkan pengurangan dalam kecepatan fotosintesis telah nampak jelas sebelum terjadi kelayuan pada daun-daun (Heddy, 1990). Kekurangan air dapat menghambat laju fotosintesis, terutama karena pengaruhnya terhadap turgiditas sel penjaga stomata. Jika kekurangan air, maka turgiditas sel akan menurun. Hal ini menyebabkan stomata menutup. Mekanisme membuka dan menutupnya stomata yaitu stomata akan membuka jika tekanan turgor kedua sel penjaga meningkat. Peningkatan tekanan turgor sel penjaga disebabkan oleh masuknya air ke dalam sel penjaga tersebut. Pergerakan air dari satu sel ke sel lainnya akan

selalu dari sel yang mempunyai potensi air lebih tinggi ke sel dengan potensi air lebih rendah. Tinggi rendahnya potensi air sel akan tergantung pada jumlah bahan yang terlarut di dalam cairan sel tersebut. (Lakitan, 2004) penutupan stomata akan menghambat serapan CO₂ yang dibutuhkan untuk sintesa karbohidrat.

3.5 Umur daun

Sejalan dengan pertumbuhan daun, kemampuannya untuk berfotosintesis juga meningkat sampai daun berkembang penuh, dan kemudian mulai menurun secara perlahan. Menurut Salisbury & Ross (1995) daun tua yang hampir mati, menjadi kuning dan tidak mampu berfotosintesis karena rusaknya klorofil dan hilangnya fungsi kloroplas. Lakitan (2004) menjelaskan bahwa kemampuan daun untuk berfotosintesis meningkat pada awal perkembangan daun, tetapi kemudian mulai turun, kadang sebelum daun tersebut berkembang penuh (*full-developed*). Daun yang mulai mengalami senescence akan berwarna kuning dan hilang kemampuannya untuk berfotosintesis, karena perombakan klorofil dan hilangnya fungsi kloroplas.

Pertumbuhan kedelai ditentukan oleh ketinggian tempat, kedelai akan tumbuh baik pada ketinggian tidak lebih dari 500 m di atas permukaan laut (dpl) seperti yang dijelaskan oleh Suprpto (1992). Ditambahkan oleh Rukmana dan Yuniarsih (1996) sentra penanaman kedelai terletak pada daerah-daerah yang mempunyai suhu 25-27°C, dengan kelembaban udara rata-rata 65%, penyinaran matahari 12 jam / hari atau minimal 10 jam / hari dan curah hujan optimal antara 100-200 mm / bulan. Lahan untuk penanaman kedelai adalah lahan yang memiliki drainase dan aerasi yang baik, bebas dari kandungan nematoda dan memiliki pH 5-7 (Rukmana dan Yuniarsih, 1996 ; Suprpto, 1992).

4. Sumber Ketersediaan Nitrogen

Nitrogen merupakan salah satu unsur penting untuk semua tanaman. (Allen *et al.*, 1974; Taiz & Zieger, 1991; Nielsen, 2006) keberadaan unsur Nitrogen terdapat dalam struktur komponen asam-asam amino (enzim dan protein), nukleotida, alkaloid, dan beberapa lipid. Unsur ini sangat karena membatasi pertumbuhan (Norby *et al.*, 2000; Hikosaka, 2005). Nitrogen diabsorpsi

sebagai NO_3^- , dan diasimilasikan menjadi asam amino dan didesain untuk membentuk protein. Oleh karenanya kandungan N pada daun yang luruh selalu lebih kecil daripada daun yang masih segar. Keberadaan unsur nitrogen juga sangat penting terutama kaitannya dengan pembentukan klorofil. Klorofil dinilai sebagai “mesin” tumbuhan karena mampu mensintesis karbohidrat yang akan menunjang pertumbuhan tanaman. Keberadaan nitrogen dalam struktur tumbuhan dipengaruhi oleh beberapa faktor terutama ketersediaan air, unsur hara dalam tanah terutama nitrogen. Intensitas cahaya berpengaruh terhadap aktivitas fotosintesis. Untuk membentuk klorofil, dibutuhkan ATP (energi) yang cukup tinggi dan untuk asimilasi CO_2 juga diperlukan enzim yang sebagian besar berupa protein.

Nitrogen ialah unsur hara yang penting selain karbondioksida dan oksigen. Selain sangat mutlak di butuhkan, Nitrogen dengan mudah dapat hilang atau menjadi tidak tersedia bagi tanaman. Sumber N yang besar terdapat di atmosfer (78% N), melalui curah hujan (8-10% N tanah), dan penambatan (fiksasi) oleh mikroorganisme tanah baik secara simbiosis dengan tanaman maupun hidup bebas. Akan tetapi Nitrogen yang diserap dalam bentuk N_2 yang masuk melalui stomata bersama karbondioksida hanya direduksi oleh beberapa enzim sehingga N_2 keluar lagi. Sumber utama ketersediaan N untuk tumbuhan diperoleh dari tanah dan adanya mikroorganisme penambat N yang terdapat dan menempel di akar tumbuhan tertentu. Meskipun tanaman dapat menyerap sejumlah N dari atmosfer melalui dedaunan dalam bentuk NH_4^+ dan NO_3^- , akan tetapi sebagian besar kebutuhan tanaman akan nitrogen dipenuhi dari perakaran di dalam tanah yang mengubah N menjadi NH_4^+ dan NO_3^- yang dilakukan oleh bakteri *Rhizobium* (Salisbury, 1995). Walaupun sumber ini cukup secara alami, untuk memenuhi kebutuhan tanaman maka secara sengaja diberikan dalam bentuk pupuk, seperti Urea, ZA, dan sebagainya maupun dalam bentuk pupuk kandang ataupun pupuk hijau (Mengel dan Kirkby, 1982).

Dibawah kondisi normal, N masuk dalam lingkungan tanah sebagai hasil dari penambatan biologi dan atau dekomposisi dari hewan atau residu tanaman. Bakteri *rhizobium* yang menempel di bintil akar pada kacang-kacangan sangat berperan penting dalam proses penambatan N dalam tanah dengan beberapa tahap

reaksi. Oleh karena itu agar dapat diasimilasi oleh tumbuhan tingkat tinggi maka N_2 atmosfer harus di transformasikan ke dalam bentuk yang dapat diserap tumbuhan yaitu NH_4^+ dan NO_3^- .

5. Peranan N pada Laju Fotosintesis tanaman Kedelai

Pentingnya Nitrogen bagi tumbuhan dipertegas dengan kenyataan bahwa dalam tumbuhan hanya karbon, oksigen, dan hidrogen yang jumlahnya lebih banyak dari nitrogen. Nitrogen terdapat di atmosfer (78%) tapi secara aktif sulit bagi organisme hidup untuk mendapatkan N, walaupun N_2 masuk ke sel tumbuhan bersama CO_2 lewat stomata. Bakteri nitrogen adalah bakteri yang mampu mengikat nitrogen bebas dari udara dan mengubahnya menjadi suatu senyawa yang dapat diserap oleh tumbuhan. Karena kemampuannya mengikat nitrogen di udara, bakteri-bakteri tersebut berpengaruh terhadap nilai ekonomi tanah. Bakteri nitrogen yang hidup bersimbiosis dengan tanaman polong-polongan yaitu *Rhizobium leguminosarum*, yang hidup dalam akar membentuk nodul atau bintil-bintil akar (Salisbury, 1995). Nodul atau bintil akar tanaman kedelai umumnya dapat mengikat nitrogen dari udara pada umur 10 – 12 hari setelah tanam, tergantung kondisi lingkungan tanah dan suhu. Akar tanaman polong-polongan tersebut menyediakan karbohidrat dan senyawa lain bagi bakteri melalui kemampuannya mengikat nitrogen bagi akar.

Bakteri *Rhizobium* dapat meningkatkan unsur N bagi tanaman pada tanah yang kurang subur. Yutono (1985) mengatakan bahwa *Rhizobium* dapat menambat N udara melalui simbiosis dengan tanaman sekitar 40-70% dari seluruh N yang diperlukan untuk pertumbuhan kedelai. Jika bakteri dipisahkan dari inangnya (akar), maka tidak dapat mengikat nitrogen sama sekali atau hanya dapat mengikat nitrogen sedikit sekali. Bintil-bintil akar melepaskan senyawa nitrogen organik ke dalam tanah tempat tanaman polong hidup. Oleh karena itu, semakin banyak volume akar yang terbentuk, semakin besar pula kemungkinan jumlah bintil akar atau nodul yang terjadi, dengan demikian terjadi penambahan N (Anonymous b,2009). Nitrogen yang diterima tanaman berperan dalam pembentukan kadar klorofil untuk proses fotosintesis. Ditambahkan oleh Dwijoseputro (1990) Klorofil sebagai molekul hijau dalam kloroplas membantu

proses fotosintesis tanaman. Klorofil merupakan zat hijau daun yang terdapat pada semua tumbuhan hijau yang berfotosintesis. Berdasarkan penelitian, klorofil ternyata tidak hanya berperan sebagai pigmen fotosintesis. Klorofil dapat digunakan sebagai suplemen karena mengandung nutrisi yang dibutuhkan untuk tubuh manusia. Pembentukan klorofil dipengaruhi beberapa faktor yaitu faktor pembawaan, pembentukan klorofil berdasarkan gen tertentu. Jika gen ini tidak ada maka tanaman akan putih belaka. Faktor kedua yaitu nitrogen, besi dan magnesium yang menjadi bahan utama pembentuk klorofil. Jika kekurangan zat tersebut, maka klorosis bagi tanaman. Faktor berikutnya adalah air, kekurangan air mengakibatkan desintegrasi dari klorofil dan temperatur. Temperatur untuk pembentukan klorofil adalah suhu optimum yaitu 26-30⁰C (Subandi, 2008).

Jika salah satu faktor tersebut tidak terpenuhi maka pembentukan klorofil akan terhambat dan menyebabkan terhentinya laju fotosintesis tanaman. Jika hal ini terjadi maka mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan akan menyebabkan penurunan hasil pada tanaman. Puncak kegiatan fotosintesis sesuai dengan sinar dan tingginya temperatur. Menurut Dwijoseputro (1990) jika sinar yang diterima cukup dan kadar CO₂ yang diserap juga cukup, akan tetapi temperatur kurang optimal maka dikatakan temperatur menjadi faktor penghambat laju fotosintesis. Semua tanaman hijau mengandung klorofil a dan klorofil b. Klorofil a terdapat sekitar 75% dari total klorofil. Klorofil pada daun terdapat bersama-sama dengan protein dan lemak yang bergabung satu dengan yang lain (Subandi, 2008).