

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Kedelai

Kedelai (*Glycine max*) termasuk dalam famili Leguminoceae, sub famili Papilionidae, genus *Glycine* dan spesies *max* diperkirakan berasal dari Cina. Tanaman ini dibagi menjadi dua golongan, pertama berdasarkan warnanya yaitu kedelai putih/kuning, kedelai coklat, kedelai hijau, dan kedelai hitam. Pembagian kedua berdasarkan umurnya yaitu umur pendek (60-80 hari), sedang (90-100 hari), dan panjang (110-120 hari).

Kedelai mempunyai kandungan protein dan lemak yang tinggi. Secara umum komposisi zat gizi kedelai kuning kering dan tempe dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Komposisi kimia kedelai dan tempe per 100 gram

Komponen Kimia	Kedelai Kuning	Tempe
Kalori (kal)	400	149
Protein (g)	35,1	18,3
Lemak (g)	17,7	4,0
Hidrat arang (g)	32	12,7
Kalsium (mg)	226	129
Besi (mg)	8,5	10
Vitamin B1 (mg)	0,66	0,17
Air (g)	10,2	64

Sumber: Santoso, 1993

Komposisi asam amino yang membentuk protein kedelai cukup lengkap. Kandungan lisin kedelai cukup tinggi sehingga dapat digunakan dalam suplementasi pada sereal yang kandungan lisinnya rendah. Kandungan methionin pada protein kedelai rendah, sehingga merupakan faktor pembatas yang harus diperhatikan bila digunakan dalam fortifikasi makanan. Berbagai produk dapat dihasilkan dari kedelai baik sebagai bahan makanan manusia maupun ternak dan bahan industri lainnya. Produk kedelai hasil industri tradisional yang diproduksi dan berpotensi di Indonesia terdiri dari lima jenis produk yaitu: tempe, tahu, tauco, kecap, dan kembang tahu (Muchtadi, 1989).

B. Tempe dan Senyawa Anti Nutrisi

Menurut Standar Nasional Indonesia (1992), tempe kedelai adalah produk makanan hasil fermentasi biji kedelai oleh kapang tertentu, berupa padatan kompak dan berbau khas serta berwarna putih atau sedikit keabu-abuan. Tempe merupakan produk fermentasi tradisional Indonesia yang umumnya difermentasi dengan menggunakan kapang *Rhizopus oligosporus*. Kapang lain yang sering ditemukan pada tempe antara lain *Rhizopus oryzae*, *Rhizopus arrhizus*, dan *Rhizopus stolonifer*. Masing-masing spesies kapang memiliki kemampuan yang berbeda dalam menghasilkan enzim. Shurtleff dan Aoyagi (1979) menyatakan bahwa analisis yang dilakukan terhadap sampel-sampel tempe dari berbagai tempat di Jawa dan Sumatra ternyata *Rhizopus oligosporus* selalu terdapat pada tempe yang bermutu baik.

Pengolahan kedelai menjadi tempe meningkatkan nilai gizi terutama pada protein, lemak, karbohidrat dan vitamin. Selain itu kandungan gizi tempe menjadi lebih larut dalam air

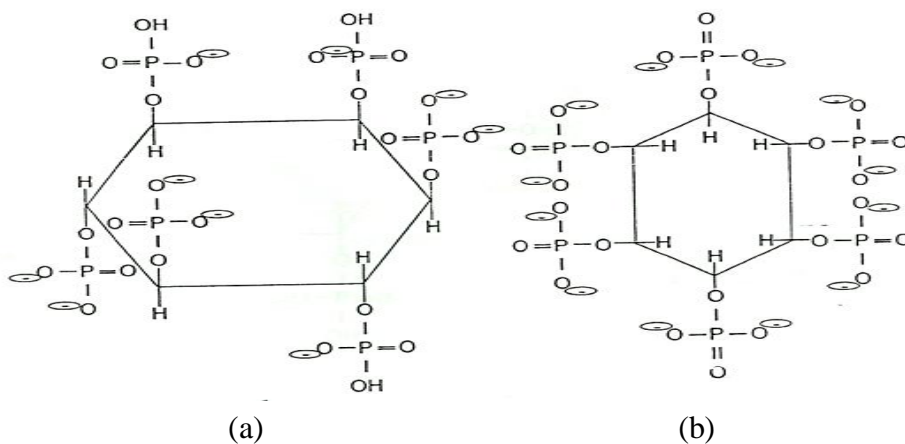
dan lebih mudah dicerna dibanding kedelai, serta terjadi kerusakan zat-zat anti-nutrisi seperti antitripsin, asam fitat, dan oligosakarida penyebab flatulensi pada kedelai (Hermana, 1985).

Asam fitat dapat membentuk ikatan kompleks dengan Fe atau mineral lain seperti Zn, Mg, dan Ca menjadi bentuk yang tidak larut dan sulit diabsorpsi tubuh. Proses perendaman dalam air panas dan fermentasi selama proses pembuatan tempe dapat menurunkan kandungan asam fitat sehingga mineral dapat lebih mudah diserap tubuh (Koswara, 1992). Kapang tempe dapat menghasilkan enzim fitase yang akan menguraikan asam fitat menjadi fosfor dan inositol. Asam fitat berkurang sekitar 30% dari kedelai sebelum fermentasi. Asam fitat dapat menyebabkan defisiensi fosfat, kalsium, dan gangguan penyerapan zat besi (Karyadi, 1985).

Fermentasi akan meningkatkan padatan terlarut dari 13% pada kedelai menjadi 28% pada tempe setelah 72 jam fermentasi. Setengah kandungan protein awal akan dirombak menjadi senyawa yang lebih sederhana dan larut dalam air seperti asam amino dan peptida. Hal ini menunjukkan bahwa daya cerna tempe lebih tinggi dari kedelai (Steinkraus, 1983).

C. Asam Fitat

Asam fitat adalah suatu mio-inositol 1, 2, 3, 4, 5, 6-heksafosfat (dihidrogen fosfat) (Oberleas, 1973) yang memiliki fosfor bermuatan negatif yang besar sehingga asam fitat mampu berikatan dengan banyak kation divalen, protein, dan pati. Asam fitat ditemukan dalam konsentrasi yang tinggi pada sereal, kacang-kacangan, dan minyak biji-bijian. Pada tanaman sereal dan minyak biji-bijian, asam fitat terdapat dalam jumlah 1-5% dari berat total dan menjadi bentuk penyimpanan utama dari fosfor pada tanaman sereal (Liener, 1989). Fungsi utama fitat pada tumbuhan adalah untuk menyediakan fosfor dan mio-inositol yang dibutuhkan selama masa perkecambahan benih (Markakis, 1977).



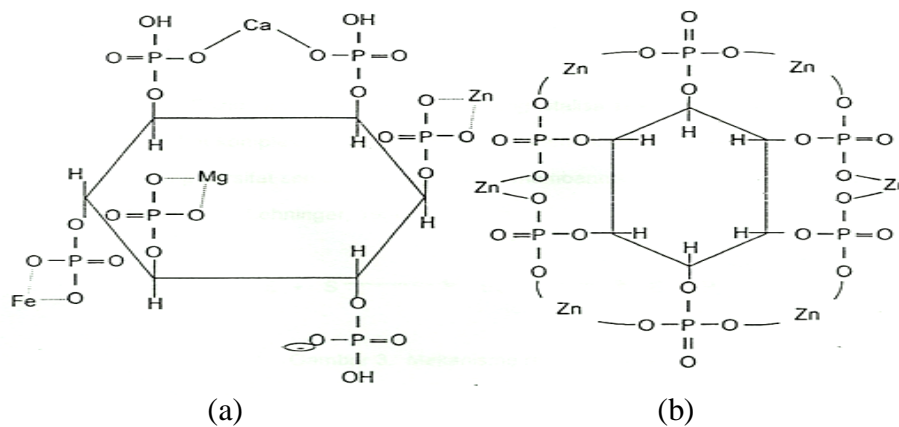
Gambar 1. Struktur asam fitat menurut (a) Erdman (1979) dan (b) Scott et al (1982)

Asam fitat mampu mengkelat mineral-mineral terutama kalsium (Ca), magnesium (Mg), besi (Fe), dan seng (Zn) sehingga menurunkan ketersediaan mineral tersebut bagi tubuh. Kandungan fitat yang tinggi (1% atau lebih) dalam makanan dapat menyebabkan defisiensi mineral, misalnya defisiensi Ca pada hewan dan manusia (Wozenski dan Woodburn, 1975).

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Gambar 2. Struktur kompleks fitat-mineral menurut (a) Erdman (1979) dan (b) Scott et al (1982)

Asam fitat dapat juga bereaksi dengan protein membentuk senyawa kompleks. Senyawa kompleks ini dapat mempengaruhi kecepatan hidrolisis protein oleh enzim-enzim proteolitik karena terjadi perubahan konformasi protein. Hal ini menyebabkan ketersediaan biologis dari zat gizi tersebut menurun. Fitat sulit dicerna karena kurangnya sistem kerja enzim endogenous yang mampu mengkatalisis hidrolisis fitat menjadi inositol dan fosfor organik (Muchtadi, 1989). Oleh karena itu asam fitat dianggap sebagai senyawa antinutrisi. Pada dua dekade terakhir, beberapa penelitian menunjukkan bahwa asam fitat memiliki beberapa efek kesehatan, diantaranya menurunkan risiko kanker.

Kadar asam fitat dalam kacang kedelai adalah 1,4% (Sudarmadji dan Markakis, 1977). Kadar asam fitat akan menurun secara drastis akibat perlakuan perendaman dan fermentasi. Perendaman kacang jogo dalam air pada suhu 60°C selama 10 jam menurunkan 90% total kandungan asam fitat. Penurunan nyata kadar asam fitat terjadi pada pemberian perlakuan fermentasi karena kapang fermentasi menghasilkan enzim fitase. Pada oncom, fermentasi menurunkan kadar asam fitat dari kadar awal 1.36% menjadi 0.05% (pada oncom hitam) dan 0.70% (pada oncom merah) (Fardiaz dan Markakis, 1981).

D. Proses Panas

Proses termal merupakan aplikasi panas pada bahan pangan tertentu yang diharapkan dapat memperpanjang umur simpannya. Proses termal juga memiliki manfaat lain, terutama dalam peningkatan mutu santap. Tujuan utama proses termal adalah membunuh mikroba pembusuk dan patogen dengan pemanasan sehingga dapat meningkatkan keamanannya dan memperpanjang daya awetnya dalam jangka waktu tertentu. Proses termal juga menyebabkan inaktivasi enzim perusak sehingga mutu produk pangan lebih stabil. Namun demikian, proses termal dapat menyebabkan kerugian, yaitu kerusakan zat gizi dan mutu organoleptik (Kusnandar *et al.*, 2006). Proses termal juga dapat menyebabkan perubahan yang merugikan seperti perubahan tekstur dan kerusakan zat gizi seperti vitamin. Setiap produk pangan memiliki tingkah laku yang berbeda oleh pengaruh pemanasan, sehingga akan sangat berguna apabila mengetahui kinetika penurunan mutu oleh panas.

Proses termal secara umum meliputi blansir, pasteurisasi, dan sterilisasi. Proses termal seperti pasteurisasi dan sterilisasi uap diharapkan dapat menjadi metode yang tepat untuk memperpanjang umur simpan tempe karena proses termal dapat menginaktivasi mikroba

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

penyebab kerusakan. Terbentuknya ammonia merupakan penyebab kerusakan yang utama pada tempe. Enzim proteolitik yang dihasilkan bakteri kontaminan dapat mendegradasi protein sehingga menimbulkan bau. Hal ini menyebabkan tempe segar yang disimpan dalam suhu ruang dan tidak dikemas dengan baik akan bertahan maksimal dua hari (Koswara, 1992).

Blansir adalah perlakuan panas pendahuluan yang sering dilakukan dalam proses pengolahan makanan buah dan sayuran dengan tujuan untuk memperbaiki mutunya sebelum dikenai proses lanjutan. Dengan demikian, proses blansir bukan ditujukan untuk proses pengawetan. Tujuan perlakuan blansir terutama adalah untuk menginaktivasi enzim, mengurangi jumlah mikroba awal (terutama mikroba pada permukaan bahan pangan), melunakkan bahan pangan sehingga mempermudah proses pengisian bahan pangan dalam wadah, dan mengeluarkan udara yang terperangkap pada jaringan bahan pangan yang akan mengurangi kerusakan oksidasi (Kusnandar *et al.*, 2006).

Pasteurisasi merupakan proses perlakuan panas yang membunuh sebagian besar sel vegetatif mikroorganisme yang terdapat di dalam makanan. Pasteurisasi menggunakan suhu dibawah 100°C dengan kombinasi suhu dan waktu yang digunakan adalah 62,8°C selama 30 menit (konvensional) dan 71°C selama 15 detik (HTST). Dalam beberapa produk makanan, pasteurisasi ditujukan untuk membunuh mikroba patogen, sedangkan dalam produk fermentasi seperti bir, pasteurisasi ditujukan untuk membunuh mikroba pembusuk. Untuk produk lainnya, pasteurisasi yang dikembangkan didasarkan pada daya tahan panas dari mikroba tertentu yang ingin dihancurkan. Pasteurisasi biasanya digunakan pada bahan pangan yang mempunyai pH 3-4 (Fellow, 1992).

Pengertian steril absolut menunjukkan suatu kondisi yang suci hama, yaitu kondisi yang bebas dari mikroorganisme. Pada proses sterilisasi produk pangan, kondisi steril absolut sulit dicapai, karena itulah digunakan istilah sterilisasi komersial atau sterilisasi praktikal. Sterilisasi komersial yaitu suatu kondisi yang diperoleh dari pengolahan pangan dengan menggunakan suhu tinggi dalam periode waktu yang cukup lama sehingga tidak ada lagi mikroorganisme hidup. Pengertian sterilisasi komersial ini menunjukkan bahwa bahan pangan yang telah mengalami proses sterilisasi mungkin masih mengandung spora bakteri (terutama bakteri non-patogen), namun setelah proses pemanasan tersebut spora bakteri non-patogen tersebut bersifat dorman (tidak dalam kondisi aktif bereproduksi), sehingga keberadaannya tidak membahayakan kalau produk tersebut disimpan pada kondisi normal. Dengan demikian, produk pangan yang telah mengalami sterilisasi komersial akan mempunyai daya awet yang tinggi, yaitu beberapa bulan sampai beberapa tahun (Kusnandar *et al.*, 2006).

Sterilisasi komersial erat kaitannya dengan ketahanan bakteri termasuk sporanya. Ketahanan bakteri terhadap proses pemanasan umumnya dinyatakan dengan istilah nilai D dan nilai z. Nilai D adalah waktu dalam menit yang dibutuhkan untuk memusnahkan 90% dari populasi bakteri dalam suatu medium termasuk bahan pangan pada suhu tetap yang tertentu. Nilai z adalah selang suhu terjadinya penambahan atau pengurangan organisme atau spora sepuluh kali lipat dalam waktu yang dibutuhkan baik untuk menurunkan 90% atau pembinasan seluruhnya (Heldman dan Singh, 2001).

E. Kinetika Reaksi

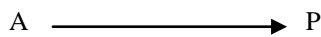
Kinetika adalah cabang ilmu kimia yang mempelajari laju reaksi kimia secara kuantitatif dan faktor-faktor yang mempengaruhinya (Bird, 1987). Aplikasi teori kinetika penting artinya dalam menduga perubahan-perubahan yang terjadi dalam bahan pangan selama proses

pengolahan dan penyimpanan. Perubahan yang terjadi bisa berupa perubahan fisika, kimia, maupun mikrobiologi (Boekel, 1996).

Studi tentang kinetika adalah mempelajari gerakan atau perubahan suatu sistem kimia sebagai fungsi waktu. Beberapa laju perubahan sifat bahan pangan yang dapat dijelaskan dengan kinetika reaksi antara lain kehilangan zat gizi, perubahan flavor, dan perubahan warna (Labuza dan Kamman, 1983).

Penelitian kinetika pada umumnya bertujuan untuk mempelajari perubahan komposisi sebagai fungsi dari waktu. Percobaan didesain sedemikian rupa sehingga tipe perubahan yang lain dapat dikontrol atau dapat diramalkan. Dasar-dasar yang digunakan adalah suatu sistem tertutup yang homogen dan isothermal sehingga zat tidak ada yang masuk atau keluar sistem, gradient konsentrasi atau suhu diasumsikan tidak nyata, serta suhu dijaga konstan selama terjadi perubahan kimia (Swinbourne, 1971).

Laju reaksi merupakan laju penurunan konsentrasi pereaksi atau penambahan konsentrasi produk per satuan waktu. Reaksi yang terjadi dalam bahan pangan selama pengolahan dan penyimpanan sangat kompleks (Labuza dan Kamman, 1983). Dalam menduga persamaan laju reaksi pada perubahan tersebut lebih mudah digunakan pendekatan empiris. Pada pendekatan empiris perubahan sifat bahan pangan dianggap mengikuti persamaan reaksi sebagai berikut :



$$\text{Laju reaksi} = -d[A] / dt = d[P] / dt$$

A adalah reaktan pada bahan pangan yang mengalami perubahan; P adalah produk dari perubahan tersebut. Jika t merupakan waktu; n adalah ordo reaksi; dan k adalah nilai konstanta, maka laju perubahan A menjadi P dinyatakan sebagai berikut:

$$-d[A] / dt = d[P] / dt = k[A]^n \quad \dots\dots\dots(1)$$

Pada reaksi ordo nol (n = 0) persamaan (1) menjadi :

$$\begin{aligned} -d[A] / dt &= d[P] / dt = k[A]^0 \\ \int_{A_0}^A d[A] &= -k \int_0^t dt \\ [A] &= [A]_0 - kt \end{aligned}$$

Pada reaksi ordo satu (n = 1) persamaan (1) menjadi :

$$\begin{aligned} -d[A] / dt &= d[P] / dt = k[A]^1 \\ \int_{A_0}^A d[A] / [A] &= -k \int_0^t dt \\ \ln [A] &= \ln [A]_0 - kt \\ \log [A] &= \log [A]_0 - (k / 2.303) t \end{aligned}$$

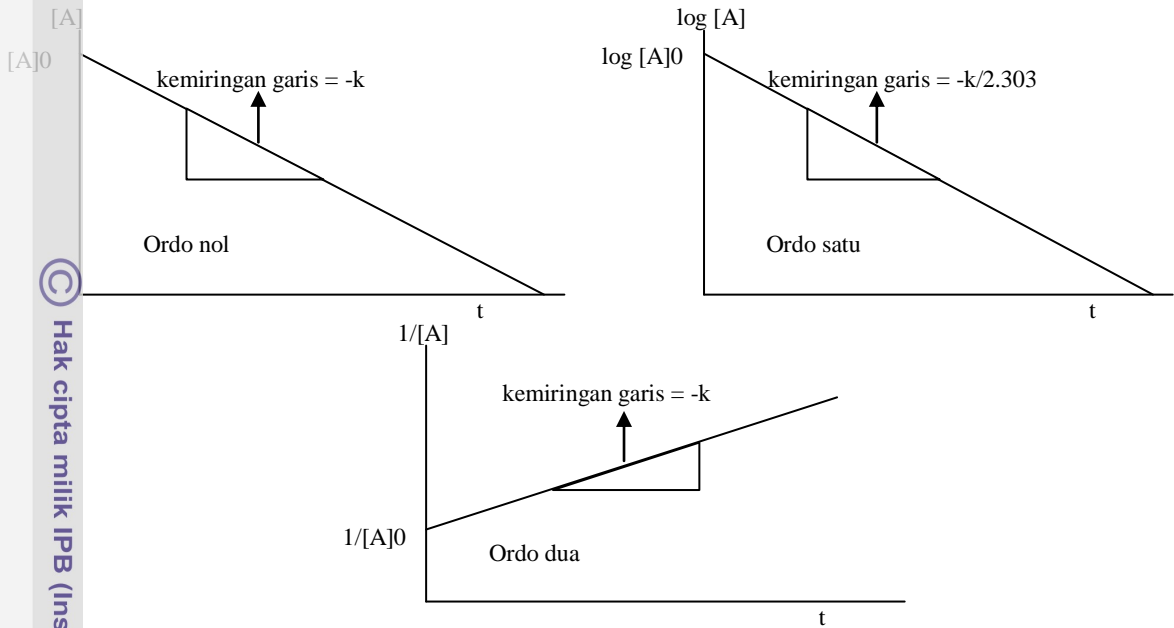
Pada reaksi ordo dua (n = 2) persamaan (1) menjadi :

$$\begin{aligned} -d[A] / dt &= d[P] / dt = k[A]^2 \\ \int_{A_0}^A d[A] / [A]^2 &= -k \int_0^t dt \\ 1/[A] &= 1/[A]_0 + kt \end{aligned}$$

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Gambar 3. Hubungan linier pada reaksi ordo nol, satu, dan dua (Saeni, 1989)

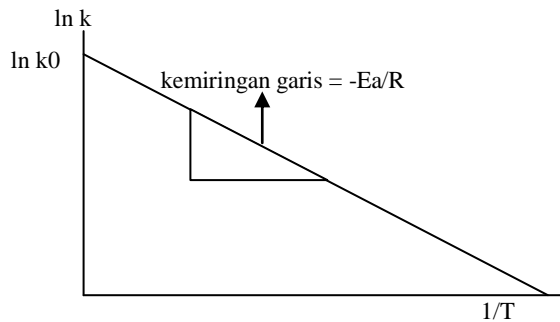
Setiap produk pangan memiliki tingkah laku yang berbeda oleh pengaruh pemanasan, hingga akan sangat berguna apabila mengetahui kinetika penurunan mutu oleh panas. Secara umum kinetika penurunan mutu lebih lambat daripada kinetika inaktivasi mikroba. Menurut Labuza dan Timmarch (1981) pengaruh perubahan suhu terhadap konstanta laju reaksi dinyatakan dalam persamaan Arrhenius berikut:

$$k = k_0 \cdot e^{-E_a/RT}$$

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} \right)$$

di mana :

- k = konstanta laju reaksi
- k₀ = konstanta (tidak tergantung suhu)
- T = suhu mutlak (K)
- E_a = energi aktivasi
- R = tetapan Planck (1,987 kal/mol K)



Gambar 4. Hubungan linier antara ln k dengan kebalikan suhu mutlak (1/T) menurut hubungan Arrhenius (Bird, 1987)

Energi reaktan pada reaksi harus terlebih dahulu dinaikkan ke tingkat energi yang aktif sehingga reaksi dapat berlangsung. Energi yang digunakan untuk menaikkan tingkat energi tersebut disebut energi aktivasi. Nilai energi aktivasi dapat digunakan sebagai parameter besarnya sesuai dengan ketergantungan laju reaksi terhadap suhu. Energi aktivasi yang rendah berarti energi yang



dibutuhkan untuk menaikkan tingkat energi suatu reaktan agar bereaksi adalah kecil sehingga reaksi lebih mudah terjadi (Suhartono, 1987).

Persamaan Arrhenius dapat digunakan untuk menduga laju penurunan mutu makanan dengan menggunakan asumsi-asumsi (Syarief, 1990) :

1. Perubahan mutu makanan hanya disebabkan oleh satu macam reaksi saja.
2. Tidak terjadi faktor lain yang menyebabkan perubahan mutu.
3. Proses perubahan mutu dianggap bukan merupakan akibat dari proses-proses yang terjadi sebelumnya.

Hak Cipta Diliindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.