

# MODEL PERPINDAHAN MASSA PROSES STEAMING INAKTIVASI ENZIM POLIFENOL OKSIDASE DALAM PENGOLAHAN TEH HIJAU

Mohamad Endy Yulianto<sup>1</sup>, Didik Ariwibowo<sup>2</sup>, Fahmi Arifan<sup>1</sup>, Heni Kusumayanti<sup>1</sup>, F.S. Nugraheni<sup>1</sup>, Senin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia PSD III Teknik, UNDIP Semarang

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin PSD III Teknik, UNDIP Semarang

Jl. Prof Sudarto SH, Pedalangan Tembalang, Semarang 50239

E-mail : [andy\\_y@yahoo.com](mailto:andy_y@yahoo.com)

## Abstract

*Mohamad Endy Yulianto, Didik Ariwibowo, Fahmi Arifan, Heni Kusumayanti, F.S. Nugraheni, Senin, in paper mass transfer model in inactivation steaming process of oxidase polifenol enzim at green tea processing explain that tea is natural herbs for freshner and maintain body's heart drinking because it contains catechin the bioactives agent that can prevent cancer, heart failure, myocardial infarction, eases the bowel movement, prevent infection of mouth, gum and so on. Because of it's the high catechin is needed. The get high catechin the enzymatic oxidation of polifenol must be undergone. For the reason its needed to study an inactivated process of polifenol oxidase enzyme by steaming. However, this process will depend on mass transfer behavior and pattern of steam penetration into tea leaves. It is effident because of its properties will influence catechin contain in fresh tea leaves. Mass transfer model of inactivation for polifenol oxidase enzyme in high catechin green tea processing by steaming*

*Key word : mass transfer, steaming, green tea*

## PENDAHULUAN

Teh sebagai bahan minuman penyegar dan menyehatkan merupakan salah satu komoditi unggulan perkebunan Indonesia. Areal teh Indonesia seluas 157.000 ha terdiri atas 54% perkebunan rakyat, 24% perkebunan besar negara, dan 22% perkebunan besar swasta.

Pasar teh dunia yang dibayangi gejala kelebihan pasokan dan biaya produksi yang cenderung meningkat, mengharuskan para produsen teh untuk meningkatkan daya saing dan nilai tambah. Masalah lingkungan telah ikut mendorong berkembangnya segmen pasar baru bagi produk teh yaitu konsumen yang menghendaki produk ramah lingkungan dan menyehatkan. Aspek kesehatan teh disorot tajam beberapa tahun terakhir ini sejalan dengan kecenderungan masyarakat mengkonsumsi makanan atau minuman substitusi sebagai imbalan diet kaya lemak dan kolesterol (Bambang dkk., 2000).

Katekin ( $C_6H_6O_2$ ) dalam teh merupakan komponen utama yang mendominasi sekitar 30% berat kering teh, ditunjukkan pada Tabel 1 (Bokuchava dan Skobeleva, 1969; Graham, 1992; Wang dan Helliwell, 2000). Katekin merupakan kerabat tanin terkondensasi yang juga sering disebut polifenol karena banyaknya gugus fungsi hidroksil yang dimilikinya. Katekin merupakan senyawa utama yang menentukan mutu, baik cita rasa, kenampakan, maupun warna air seduhan (Graham, 1992).

Kandungan katekin pada pucuk tanaman teh (*Camellia sinensis*) varietas *assamica* lebih banyak dibandingkan varietas *sinensis* (Yamanashi, 1995). Namun demikian, varietas *sinensis* memiliki aroma yang lebih baik karena memiliki kandungan asam amino lebih tinggi. Tanaman teh yang dibudidayakan di Indonesia hampir 100% merupakan varietas *assamica*. Pucuk teh yang dihasilkan 80% diolah menjadi teh hitam, sedangkan sisanya diolah menjadi teh hijau. Teh hitam lebih sedikit mengandung katekin daripada teh hijau karena dalam proses pengolahan teh hitam dirancang agar katekin mengalami oksidasi untuk memperbaiki warna, rasa, dan aromanya.

Efek menyehatkan pada teh terletak pada senyawa katekin yang dikandungnya (Wang dan Helliwell, 2000; dan Sava *et al.*, 2001). Penelitian dengan teh hijau Jepang membuktikan bahwa katekin dapat mengurangi resiko kejangkitan berbagai penyakit seperti mengurangi resiko kanker, menjaga kesehatan jantung, bersifat anti oksidan, anti mikroba, dan lain-lain (Oguni, 1993). Menurut Bambang (2000) katekin pada daun teh Indonesia lebih banyak daripada katekin daun teh Jepang sebab itu potensi menyehatkan teh Indonesia diduga lebih tinggi. Keunggulan ini membuka peluang bagi industri teh Indonesia untuk memproduksi teh hijau berkatekin tinggi.

Tabel 1. Komponen utama katekin daun teh segar

Komponen	Kadar katekin (% bk)
(+)-Katekin	1 – 2
(-)-Epikatekin	1 – 3
(-)-Epikatekin galat	3 – 6
(+)-Gallokatekin	1 – 3
(-)-Epigallokatekin	3 – 6
(-)-Epigallokatekin galat	7 – 13
<b>Total</b>	<b>16 – 30</b>

Sumber: Bokuchava dan Skobeleva, 1969; Graham, 1992; Wang dan Helliwell, 2000

Pengolahan teh hijau pada prinsipnya dilakukan dengan menginaktifkan enzim polifenol oksidase, yaitu dengan cara *steaming* (pemberian uap panas) dan cara *panning* (penggarangan). Selama ini cara inaktivasi enzim polifenol oksidase yang digunakan untuk pengolahan teh hijau Indonesia adalah cara *panning*. Ditinjau dari segi ekonomi dan teknik, cara ini dinilai kurang efisien dan efektif dalam menginaktifkan enzim polifenol oksidase. Proses ini memungkinkan terjadinya reaksi oksidasi katekin oleh enzim polifenol oksidase karena penetrasi panas tidak mampu menginaktifkan enzim polifenol oksidase secara keseluruhan. Kerugian lain dari cara ini adalah dihasilkannya warna teh yang kehitaman. Warna teh yang demikian menunjukkan terdegradasinya klorofil menjadi *feofitin*.

Untuk mengatasi hal ini, perlu dikaji suatu cara lain yaitu proses *steaming*. Pemberian uap panas pada pucuk daun teh dapat menginaktivasi enzim polifenol oksidase lebih efektif dibandingkan dengan cara *panning* (yang dilakukan selama ini). Inaktivasi enzim polifenol dengan cara pemberian uap panas mampu menembus panas ke dalam sitoplasma lebih efektif. Dengan kondisi demikian diduga enzim polifenol oksidase yang berada pada bagian sitoplasma tidak dapat bereaksi (inaktif) dengan senyawa katekin yang berada pada bagian vakuola.

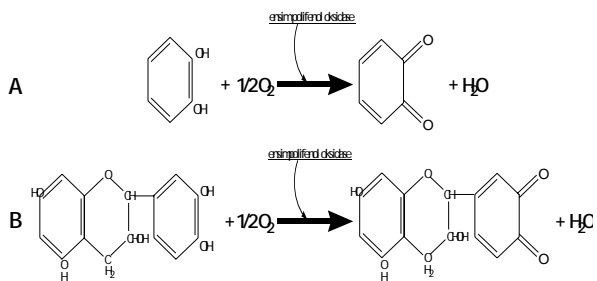
Selama proses inaktivasi enzim polifenol oksidase dengan *steam* berlangsung, upaya menghindari penurunan suhu lebih mudah dilakukan serta kontak dengan oksigen yang dapat memacu oksidasi katekin dapat dihindari dengan lingkungan proses pengolahan yang terlindungi oleh *steam*. Keuntungan lain yang diharapkan dari proses *steaming* ialah dihasilkannya warna teh yang lebih kehijauan dan warna air seduhan yang lebih terang (hijau kekuningan). Warna teh yang kehijauan menandakan kandungan klorofil yang masih tinggi. Sedangkan warna air seduhan dengan kenampakan hijau kekuningan menunjukkan kandungan katekin yang tinggi.

Untuk itu perlu ditelaah sistem pemroses inaktivasi enzim polifenol oksidase dengan menggunakan *steaming*, sehingga diperoleh produk teh hijau dengan kadar katekin tinggi. Namun demikian, keberhasilan proses ini akan bergantung pada perilaku perpindahan massa dan pola penetrasi uap panas pada pucuk daun teh dalam inaktivasi enzim. Hal ini terjadi karena sifat-sifat kimia dan fisik pucuk daun teh akan mempengaruhi perubahan katekin dalam pucuk daun tehnya. Oleh karenanya, perlu dikaji model perpindahan massa proses inaktivasi enzim polifenol oksidase dalam pengolahan teh hijau berkatekin tinggi dengan menggunakan *steaming*.

### ENZIM POLIFENOL OKSIDASE

Enzim katekol oksidase sering juga disebut polifenol oksidase, polifenolase, atau fenolase. Enzim polifenol oksidase merupakan bagian terpenting dalam pengolahan teh, karena bertanggung jawab langsung atau tidak langsung pada sebagian besar atau keseluruhan reaksi yang terjadi selama oksidasi enzimatik. Hal tersebut yang menyebabkan ahli biokimia teh banyak memperhatikan enzim ini pada waktu lalu dan masih banyak dilanjutkan sampai saat ini.

Peranan enzim polifenol oksidase dalam proses oksidasi enzimatik polifenol teh dapat dirangkum sebagai berikut, dalam pucuk daun teh utuh (tidak rusak) enzim polifenol oksidase terpisah dari sebagian substratnya yaitu katekin. Oleh karena itu enzim tersebut terletak dalam sitoplasma sel tanaman teh dan katekin terletak dalam vakuola sel. Pemisah vakuola dan sitoplasma adalah sebuah membran yang disebut tonoplas yang mencegah pergerakan bebas substansi antara kedua bagian sel tersebut (Sanderson, 1965). Oksidasi enzimatik polifenol tidak akan terjadi dalam sel daun teh sampai enzim polifenol oksidase dan katekin terbawa masuk bertemu oleh pencampuran isi sel tersebut. Pencampuran isi sel tersebut terjadi karena penggilingan dalam pengolahan teh hitam (Sanderson, 1965; Bokuchava dan Skobeleva, 1969). Sekali katekin bertemu dengan enzim polifenol oksidase, keduanya akan secepatnya teroksidasi oleh oksigen dari atmosfer.



Gambar 1. Diagram oksidasi (A) polifenol dan (B) katekin oleh enzim polifenol oksidase

Reaksi oksidasi enzim polifenol dengan katekin disajikan pada Gambar 1. Katekin yang teroksidasi dapat mengalami kondensasi membentuk suatu variasi senyawa kompleks, salah satu yang utama (dominan) selanjutnya disebut theaflavin dan thearubigin (Bokuchava dan Skobeleva, 1969; Graham, 1992; Yamanishi, 1995). Lebih lanjut katekin teroksidasi dengan sendirinya menjadi unsur oksidasi yang sangat kuat yang dapat menyebabkan oksidasi non enzimatis substansi pucuk. Secara kuantitatif dapat dikatakan bahwa pembentukan theaflavin dan thearubigin merupakan reaksi terpenting yang terjadi selama oksidasi enzimatis polifenol teh, tetapi oksidasi substansi lain oleh katekin yang teroksidasi merupakan kemungkinan penting yang pokok dalam menentukan kualitas teh olahan (Graham, 1992; Yamanishi, 1995).

Peristiwa oksidasi enzimatis dalam proses pengolahan teh hitam telah dimulai pada awal penggilingan. Peristiwa tersebut merupakan proses oksidasi senyawa katekin dengan bantuan enzim polifenol oksidase. Oksidasi ini tidak berbeda dengan peristiwa biokimia lain, ditentukan oleh faktor-faktor: kadar air, temperatur, kadar enzim, dan substrat. Di antara faktor tersebut yang dapat dikendalikan adalah temperatur dan kadar air.

### MODEL MATEMATIK PERPINDAHAN PANAS DAN MASSA PROSES INAKTIVASI ENZIM POLIFENOL OKSIDASE

Proses inaktivasi enzim polifenol oksidase dilakukan secara batch (*fixed bed*), daun teh dihamparkan di atas rak kawat kasa. Uap panas (steam) dialirkan menembus tumpukan bahan. Dengan cara ini waktu proses inaktivasi enzim polifenol diduga menjadi lebih singkat dibanding dengan aliran uap panas yang sejajar permukaan daun teh karena luas permukaan yang kontak dengan uap panas lebih besar.

Hamparan teh dapat dianggap sebagai plat datar yang besar dengan arah pindah panas konduksi vertikal. Jika pindah panas konveksi dari uap panas ke dalam bahan hanya berlangsung pada permukaan

atas dan bawah hamparan bahan, dan kondisi uap panas pada bagian atas bahan sama dengan kondisi uap panas pada bagian bawah maka peristiwa pindah panas pada bahan simetris terhadap bidang  $y = 0$ . Berdasarkan fenomena di atas analisis perpindahan panas dan massa dilakukan dengan menggunakan volume kontrol.

Model persamaan diferensial diturunkan dengan menggunakan asumsi-asumsi sebagai berikut:

- Selama proses inaktivasi enzim polifenol oksidase, pengerutan volume bahan diabaikan.
- Gradien suhu dalam daun teh secara individual diabaikan.
- Suku-suku  $\frac{\partial T}{\partial t}$  dan  $\frac{\partial W}{\partial t}$  diabaikan dibanding dengan  $\frac{\partial T}{\partial x}$  dan  $\frac{\partial W}{\partial x}$
- Dinding alat inaktivasi enzim polifenol oksidase mampu mengisolasi uap panas selama proses berlangsung dengan panas jenis diabaikan.
- Kapasitas panas uap air dan bahan dianggap tetap selama proses berlangsung.
- Pindah panas konduksi dan radiasi dari kawat kasa rak diabaikan.

Prinsip keseimbangan panas dan massa yang diterapkan pada suatu volume kontrol dinyatakan sebagai:

$$\text{Laju generasi massa} = 0, \text{ dan}$$

$$\text{Laju generasi panas} = 0, \text{ atau,}$$

$$[\text{Aliran massa ke dalam}] = [\text{Perubahan massa tersimpan}] + [\text{Aliran massa keluar}]$$

$$[\text{Aliran panas ke dalam}] = [\text{Perubahan panas tersimpan}] + [\text{Aliran panas ke luar}]$$

Keseimbangan panas dan massa dituliskan pada volume diferensial ( $Sdx$ ) terletak dalam suatu lokasi sebaran dalam hamparan tetap (*fixed bed*). Ada empat variabel tak diketahui dalam model ini:  $\bar{M}$ , kadar air rata-rata daun teh;  $W$ , kelembapan uap panas;  $T$ , suhu udara; dan  $\theta$ , suhu daun teh, sehingga ada empat persamaan yang diturunkan berdasarkan keseimbangan panas dan massa untuk membentuk model persamaan diferensial parsial, yaitu:

- Entalpi uap panas
- Entalpi bahan
- Kelembapan uap panas
- Perubahan kadar air bahan

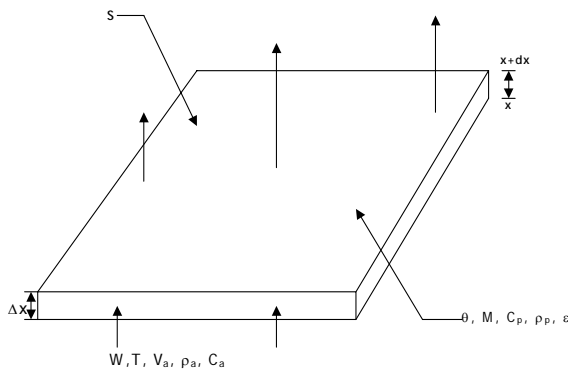
Berdasarkan kajian pustaka, analisis perpindahan panas dan massa dilakukan dengan menggunakan volume kontrol seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Model persamaan diferensial parsial diturunkan

berdasarkan kesetimbangan panas dan massa, seperti yang meliputi entalpi uap panas, entalpi bahan, kelembaban uap panas dan perubahan kadar air bahan.

### Entalpi uap panas

Panas yang dipindahkan secara konveksi dari uap panas kepada bahan yang diinaktivasi besarnya sama dengan perbedaan entalpi uap panas masuk dengan entalpi uap panas keluar pada volume kontrol ( $Sdx$ ), ditambah dengan perubahan entalpi uap panas terhadap waktu pada entalpi uap panas dalam ruang antara. Jumlah udara yang masuk ke dalam volume kontrol pada posisi  $x$  dalam waktu  $dt$  sama dengan:

$$m_1 = (\rho_a V_a + \rho_a V_a W) S dt \quad (1)$$



Gambar 2. Volume kontrol hamparan daun teh

Entalpi uap panas yang masuk ke dalam volume kontrol dalam waktu  $dt$  adalah:

$$E_1 = (\rho_a v_a c_a + \rho_a v_a W c_v) S T dt \quad (2)$$

Entalpi uap panas yang keluar dari volume kontrol dalam waktu  $dt$  adalah:

$$E_2 = (\rho_a v_a c_a + \rho_a v_a W c_v) \left( T + \frac{\partial T}{\partial x} dx \right) S dt \quad (3)$$

Perubahan entalpi uap panas terhadap posisi vertikal dalam hamparan adalah perbedaan antara dua persamaan terakhir di atas, atau:

$$E_2 - E_1 = (\rho_a v_a c_a + \rho_a v_a W c_v) \left( T + \frac{\partial T}{\partial x} dx \right) S dt \quad (4)$$

Perubahan panas sensibel uap panas di dalam volume kontrol ( $Sdx$ ) terhadap waktu adalah:

$$E_3 = (\rho_a c_a + \rho_a W c_v) \varepsilon S dx \frac{\partial T}{\partial t} dt \quad (5)$$

Perubahan total panas sensibel udara dalam waktu  $dt$  adalah:

$$E_3 + (E_2 - E_1) = (\rho_a c_a + \rho_a W c_v) S dx \left( v_a \frac{\partial T}{\partial x} + \varepsilon \frac{\partial T}{\partial t} \right) \quad (6)$$

Selama uap panas bergerak melewati bahan, terjadi pertukaran panas secara konveksi. Perubahan panas sensibel uap panas dalam waktu  $dt$  yang dihasilkan dari perpindahan panas ini adalah:

$$q = h' a (T - \theta) S dx dt \quad (7)$$

Dengan menyamakan kedua persamaan terakhir di atas menghasilkan:

$$v_a \frac{\partial T}{\partial x} + \varepsilon \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{-h' a}{\rho_a c_a + \rho_a W c_a} (T - \theta) \quad (8)$$

Besar  $\varepsilon \left( \frac{\partial T}{\partial t} \right)$  dapat dianggap terabaikan dibanding

dengan  $v_a \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)$ , karena  $v_a \rho_a = G_a$ , persamaan

entalpi uap panas menjadi:

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{-h' a}{G_a c_a - G_a c_v W} (T - \theta) \quad (9)$$

### Entalpi bahan

Energi yang dipindahkan secara konveksi dari udara ke bahan sama dengan entalpi yang digunakan untuk menaikkan suhu bahan, menguapkan kandungan air bahan, dan menaikkan suhu uap air yang diuapkan dari bahan. Entalpi bahan pada waktu  $t$  di dalam volume kontrol adalah:

$$h_{p(t)} = S dx (\rho_p c_p + \rho_p c_w \bar{M}) \theta \quad (10)$$

Entalpi bahan pada waktu  $t+dt$  di dalam volume kontrol adalah:

$$h_{p(t+dt)} = S dx (\rho_p c_p + \rho_p c_w \bar{M}) \left( \theta + \frac{\partial \theta}{\partial t} dt \right) \quad (11)$$

Perubahan entalpi bahan dalam waktu  $dt$  adalah perbedaan dua persamaan terakhir di atas, atau:

$$h_{p(t+dt)} - h_{p(t)} = S dx (\rho_p c_p + \rho_p c_w \bar{M}) \frac{\partial \theta}{\partial t} dt \quad (12)$$

Jumlah kandungan air dari bahan yang diuapkan dalam waktu  $dt$  sama dengan perubahan rasio kelembaban uap panas yang melewati volume kontrol ( $Sdx$ ):

$$\rho_a v_a S \frac{\partial W}{\partial x} dx dt \quad (13)$$

Entalpi yang diperlukan untuk menguapkan kandungan air bahan dalam waktu  $dt$ ,

$$h_{pr} = h_{fg} \rho_a v_a S \frac{\partial W}{\partial x} dx dt \quad (14)$$

Entalpi untuk memanaskan uap air yang diuapkan dari bahan pada temperatur  $\theta$ , ke udara pada temperatur  $T$  dalam waktu  $dt$  adalah:

$$h_{pu} = c_v(T - \theta)\rho_a v_a S \frac{\partial W}{\partial x} dx dt \quad (15)$$

Keseimbangan entalpi yang terjadi pada bahan adalah:

$$h_a S dx (T - \theta) dt = (\rho_p c_p + \rho_p c_w \bar{M}) S dx \frac{\partial \theta}{\partial t} dt - [h_{fg} + c_v(T - \theta)] \rho_a c_a \frac{\partial W}{\partial x} dx S dt \quad (16)$$

Persamaan di atas dapat diubah menjadi:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{h' a}{(\rho_p c_p + \rho_p c_w \bar{M})} (T - \theta) + \frac{h_{fg} + c_v(T - \theta)}{\rho_p c_p + \rho_p c_w \bar{M}} G_a \frac{\partial W}{\partial x} \quad (17)$$

### Kelembapan uap panas

Uap air yang dibawa uap panas ke dalam volume kontrol dikurangi dengan perubahan kelembapan uap panas pada ruang antara di dalam volume kontrol, sama dengan kandungan air dari bahan di dalam volume kontrol yang teruapkan.

Jumlah uap air yang melewati permukaan rak pada  $x$  dan  $x+dx$  dalam waktu  $dt$  adalah:

$$\rho_a c_c S W dt \quad (18)$$

dan,

$$\rho_a c_a S \left( W + \frac{\partial W}{\partial x} dx \right) dt \quad (19)$$

Perubahan rasio kelembapan uap panas terhadap  $x$  adalah:

$$\rho_a v_a \frac{\partial W}{\partial x} dx dt \quad (20)$$

Perubahan rasio kelembapan uap panas terhadap waktu di dalam volume kontrol ( $S dx$ ) sama dengan:

$$\rho_a S dx \frac{\partial W}{\partial t} dt \quad (21)$$

Perubahan kadar air bahan di dalam volume kontrol sama dengan:

$$\rho_p S dx \frac{\partial \bar{M}}{\partial t} dt \quad (22)$$

Keseimbangan massa dari kelembapan uap panas:

$$\rho_p S dx \frac{\partial \bar{M}}{\partial t} dt = \rho_a v_a S W dt - \rho_a v_a S \left( W + \frac{\partial W}{\partial x} dx \right) dt + \varepsilon S dx \rho_a \frac{\partial W}{\partial t} dt \quad (23)$$

Dengan mengabaikan suku  $\frac{\partial W}{\partial t}$ , maka:

$$\frac{\partial W}{\partial x} = - \frac{\rho_p}{G_a} \frac{\partial \bar{M}}{\partial t} \quad (24)$$

### Perubahan kadar air bahan

Perubahan kadar air bahan dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\frac{\partial \bar{M}}{\partial t} = \text{persamaan lapisan tipis} \quad (25)$$

Henderson dan Perry (1976) telah mengembangkan persamaan perubahan kadar air seperti ditunjukkan pada Persamaan berikut:

$$\frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} = A \exp(-kt) \quad (26)$$

Persamaan di atas digunakan untuk menduga penurunan kadar air teh selama proses inaktivasi enzim polifenol oksidase berlangsung.

Persamaan 9; 17; 24; dan 26 dapat diselesaikan secara numerik dengan menggunakan metode *Finite-Difference*. Untuk memecahkan Persamaan 9; 17; 24; dan 26 diperlukan nilai kondisi awal bahan dan uap panas proses inaktivasi pada setiap posisi. Kondisi awal untuk variabel  $T$ ,  $H$ ,  $\theta$ , dan  $M$  adalah sebagai berikut:

$$\theta_{0,x} = \theta_{awal} \quad (27)$$

$$\bar{M}_{0,x} = \bar{M}_{awal} \quad (28)$$

$$T_{0,x} = T_{masuk} \quad (29)$$

$$W_{0,x} = W_{masuk} \quad (30)$$

### KESIMPULAN

Keberhasilan proses *steaming* akan bergantung pada perilaku perpindahan massa dan pola penetrasi uap panas pada pucuk daun teh dalam inaktivasi enzim. Model perpindahan massa disusun berdasarkan kesetimbangan panas dan massa, yaitu : entalpi uap panas, entalpi bahan, kelembapan uap panas dan perubahan kadar air bahan.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Ariwibowo, D., Yulianto, M.E., & Arifan, F., **Kajian perpindahan panas proses steaming inaktivasi enzim dalam pengolahan teh hijau.** Majalah Teknik, tahun ke XXV, Edisi 2, 2005, hal 103-108, ISSN : 0852 – 1697.
2. Bambang, K., Abas, T., Affandi, A., Sumantri, S., dan Suryatmo, F. A. 2000. **Rancang bangun proses teh hijau berkadar katekin tinggi.** Laporan Akhir. Proyek Pengkajian Teknologi Pertanian Partisipatif. Gambung.
3. Bird, R. B., Stewart, W. E., & Lighfoot, E. N. 1994. **Transport phenomena.** John Wiley & Sons, Inc., London.
4. Bokuchava, M. A., & Skobeleva, N. I. 1969. **The chemistry and biochemistry of tea and tea manufacture.** *Advances in Food Research.* Academic Press. New York. London. 17.

5. Brodkey, R. S., & Hershey, H. C. 1988. **Transport phenomena: A unified approach.** McGraw-Hill International Editions. New York.
6. Graham, H. N. 1992. **Green tea composition, consumption, and polyphenol chemistry.** Preventative Medicine, 21. 334-350.
7. Martens, M., Scheerlinck, N., Belie, N. D., & Baerdemaeker, J. D. 2001. **Numerical model for the combined simulation of heat transfer and enzyme inactivation kinetics in cylindrical vegetables.** Journal of Food Engineering, 47. 185-193.
8. Oguni, I. 1993. **Green tea and human health** Univ. of Shizouka Hamamatsu College. Japan. 28.
9. Sanderson, G. W. 1965. **On the chemical basis of quality in black tea.** Tea Qouart., 36. 172-181.
10. Sava, V. M., Yang, S. M., Hong, M. Y., Yang, P. C., & Huang, G. S. 2001. **Isolation an characterization of melanic pigments derived from tea and tea polyphenols.** Food Chemistry, 73. 177-184.
11. Senin. Yulianto, M. E. & Ariwibowo, D. 2006. **Model Perpindahan Panas Teknologi Steaming Proses Inaktivasi Enzim Polifenol Oksidase Dalam Pengolahan Teh Hijau Berkatekin Tinggi,** Laporan Sementara Penelitian Fundamental DIKTI.
12. Wang, H., & Helliwell, K. 2000. **Epimerisation of catechins in green tea infusions.** Food Chemistry, 70. 337-344.
13. [www.freepatentsonline.com/4613672](http://www.freepatentsonline.com/4613672).
14. [www.freepatentsonline.com/7012149](http://www.freepatentsonline.com/7012149)