

MODEL MATEMATIKA KINETIKA PERUBAHAN KANDUNGAN THEAFLAVIN DAN THEARUBIGIN DALAM TEH HITAM SELAMA PENYIMPANAN

(KINETICS OF THEAFLAVIN AND THEARUBIGIN CHANGES OF BLACK TEA DURING STORAGE)

Andi Nur Alamsyah, Budi Rahardjo^{*)}, Kustamiyati Bambang dan Supriyadi^{**)}

ABSTRACT

The change of theaflavin and thearubigin content will affect to the black tea quality. Prediction of the changing phenomena plays an important role in the packaging and storage strategies of black tea.

This experiment was conducted in order to determine the changing rate constant and to make mathematical models for the theaflavin and thearubigin content in black tea during storage. Broken Orange Pekoe (BOP) and Dust black tea factory produced by the of the Research Institute for Tea and Chincona, Gambung, Bandung were chosen as sample.

Tea stored at the a_w of 0,85 with temperature varied from 10°C, 22°C, 30°C, and 40°C. Eight times determinations of theaflavin and thearubigin were done with 8 days interval of 10°C storage, 6 days interval of 22°C storage and 4 days interval of 30°C-40°C storages.

The result showed that grade, temperature, and water content significantly contribute to the changing rate of theaflavin and thearubigin during storage. The mathematical model for theaflavin changing rate of BOP and Dust content were $Kp_{(t)} = 1,587^{-05} \exp(-Kp.t)$ and $Kp_{(t)} = 2,090^{-05} \exp(-Kp.t)$ respectively. Mathematical model for thearubigin changing rate of BOP and Dust were $Kp_{(t)} = 8,272^{-04} \exp(-Kp.t)$ and $Kp_{(t)} = 9,514^{-04} \exp(-Kp.t)$ respectively. These models can be used to predict the theaflavin and thearubigin content in black tea during storage.

Key words : changing rate, mathematical model, black tea, storage

PENDAHULUAN

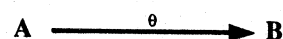
Usaha mempertahankan kualitas teh melalui penanganan pasca olah yang tepat perlu dilakukan terutama dalam penyimpanan dan pengemasan. Iklim tropis Indonesia dengan suhu dan kelembaban nisbi yang tinggi sangat berpengaruh terhadap penurunan kualitas karena sifat teh sangat higroskopis. Sifat ini memudahkan teh terkontaminasi jasad renik maupun perubahan kimiawi lain yang merugikan.

Masalah utama dalam penyimpanan teh adalah terjadinya perubahan kandungan kimia yang dapat mempengaruhi kualitas. Penyebab perubahan tersebut adalah meningkatnya aktivitas air (a_w) sampai melebihi batas aman

karena kelembaban relatif (RH), serta suhu udara yang sangat tinggi.

Pada saat penyimpanan, sebenarnya a_w teh hitam sudah diupayakan kurang dari 3 % yang menurut Labuza (1984), cukup aman. Namun aktivitas air itu dapat meningkat karena penyerapan uap air dari udara atau kenaikan suhu produk selama distribusi dan penyimpanan.

Secara umum penurunan nilai gizi atau kualitas pangan dapat digambarkan sebagai berikut:



Dimana, A: kualitas sebelum penyimpanan atau pada $\theta = 0$, B: kualitas setelah penyimpanan, selama θ .

Laju perubahan kandungan kimia dalam teh hitam dapat menggambarkan perubahan kualitas yang terjadi selama penyimpanan. Proses perubahan kandungan kimia dalam teh hitam dapat dikaitkan dengan laju reaksi dimana besarnya konstanta laju perubahan kandungan kimia dalam teh hitam (K_p) dapat ditentukan melalui suatu persamaan kinetika. Secara matematika proses perubahan kandungan kimia dalam bahan pangan dapat digambarkan dalam persamaan berikut (Labuza and Riboh, 1982; Labuza, 1983; Labuza, 1984)

$$-\frac{dA}{dt} = k_p \cdot A^n \quad (1)$$

Dengan menggunakan bentuk integrasi dan pemisahan variabel, dan menganggap kondisi batas A_0 sampai A_t pada $t = 0$, maka jika $n = 1$ persamaan (3.1) dapat diselesaikan menjadi:

$$-\frac{dA}{dt} = k_p \cdot A \quad (2)$$

$$-\int_{A_0}^{A_t} \frac{dA}{A} = \int_{t_0}^{t_s} k_p \cdot dt \quad (3)$$

$$\ln \frac{A_t}{A_0} = k_p (t_s - t_0) \quad (4)$$

atau

$$\ln \frac{A_t}{A_0} = k_p t_s \quad (5)$$

^{*)} Staf peneliti Pusat Penelitian The dan Kina, Gambung, Bandung

^{**)} Staf Pengajar, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Persamaan orde satu tersebut dapat mendasari pembuatan model matematika laju perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin dalam teh hitam selama penyimpanan. Selanjutnya model tersebut digunakan sebagai model prediksi perubahan kualitas teh hitam selama penyimpanan yang diakibatkan oleh senyawa dominan pendukung kualitas teh hitam yaitu theaflavin dan thearubigin.

Konstanta laju perubahan konsentrasi kandungan kimia dalam teh hitam selama penyimpanan (K_p), merupakan konstanta yang gayut terhadap suhu penyimpanan dan dapat dikemukakan dengan persamaan Arrhenius sebagai berikut:

$$k_p = A \exp\left(-\frac{E_a}{R T}\right) \quad (6)$$

E_a/R dan A di evaluasi dari konstanta laju perubahan kandungan kimia dalam teh hitam (k_p), yang ditentukan oleh dua atau lebih suhu yang berbeda.

Persamaan (6) dapat dituliskan ke dalam bentuk logaritmik menjadi seperti dibawah ini.

$$\ln k_p = \ln A - \left(\frac{E_a}{R T}\right) \quad (7)$$

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya konstanta laju perubahan, pengaruh suhu terhadap laju perubahan dan membuat model matematika laju perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin dalam teh hitam selama penyimpanan. Hasil penelitian ini dapat diaplikasikan untuk memprediksi perubahan kualitas teh hitam selama penyimpanan yang diakibatkan oleh senyawa dominan pendukung kualitas teh hitam yaitu theaflavin dan thearubigin.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah BOP dan Dust, yang diperoleh dari Pabrik Teh Hitam Pusat Penelitian Teh dan Kina Gambung, Bandung. Sampel teh tersebut diambil 3 hari setelah keluar dari alat pengering. Teh dianalisis kadar airnya dengan *Brabender Moisture Tester*. Penentuan kandungan theaflavin dan thearubigin menggunakan metode spektrofotometri, (Robert and Smith, 1973).

Sampel teh disimpan dalam desikator memakai wadah cawan kecil. Aktivitas air (a_w) dalam desikator dikontrol pada a_w 0,85 dengan larutan KCl jenuh. Aktivitas air sebesar 0,85 dipilih dalam penelitian ini karena sebagian besar perkebunan teh yang ada di Indonesia berada pada dataran tinggi dan mempunyai kelembaban relatif \pm 80%. Untuk mencegah pertumbuhan jasad renik ke dalam desikator diletakkan botol timbang berisi toluen. Desikator beserta isinya dimasukkan ke dalam inkubator dengan suhu tetap, yaitu: 10°C, 22°C, 30°C, dan 40°C. Pengamatan kualitas teh yang disimpan dengan suhu 10°C dilakukan dengan interval waktu 8 hari dan pada suhu 22°C pengamatan dilakukan dengan interval waktu 6 hari. Pengamatan dengan interval

waktu 4 hari dilakukan pada teh yang disimpan pada suhu 30°C dan 40°C.

Analisis Data

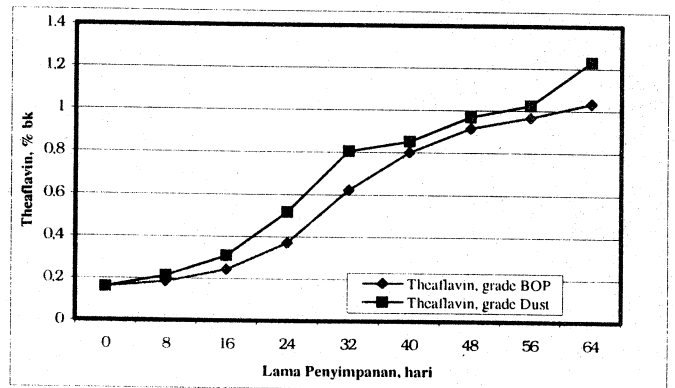
Nilai laju perubahan (K_p) diperoleh dari data perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin, jika orde satu $n = 1$ maka menggunakan persamaan (5) selanjutnya dengan menggunakan persamaan (6) maka harga E_a/R dan A dapat diketahui. Perhitungan laju perubahan (K_p), harga E_a/R dan A tersebut menggunakan program komputer dalam bahasa PASCAL.

Nilai K_p observasi dipergunakan untuk menyusun model matematika prediksi laju perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin dalam teh hitam selama penyimpanan. Model matematika tersebut kemudian diuji validitasnya dengan cara membandingkan antara nilai K_p hasil observasi dengan nilai K_p hasil prediksi. Dari hasil analisis *scatter plot*, koefisien determinasi (R^2) dan uji sebaran F dapat diketahui linieritas K_p prediksi terhadap K_p observasi.

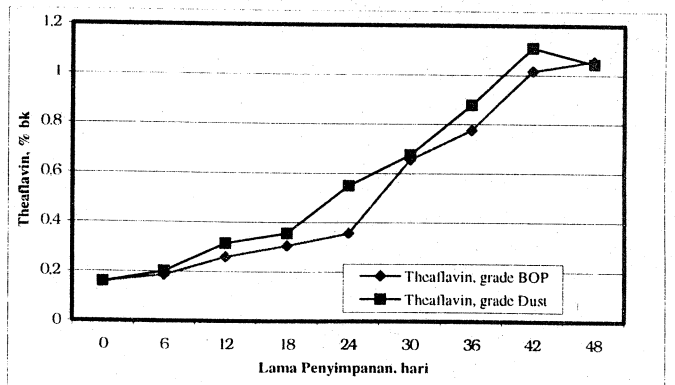
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Laju perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin

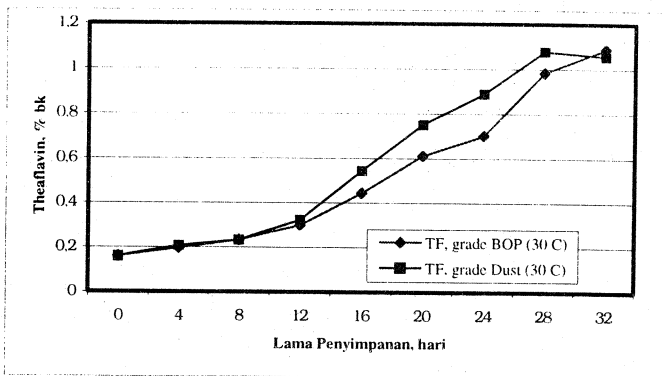
Laju perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin selama penyimpanan yang terkontrol dapat didekati secara matematika dengan teori kinetika. Tingkat perubahan theaflavin dan thearubigin sebagai fungsi suhu dan lama penyimpanan diperlihatkan pada Gambar 1 - Gambar 8.



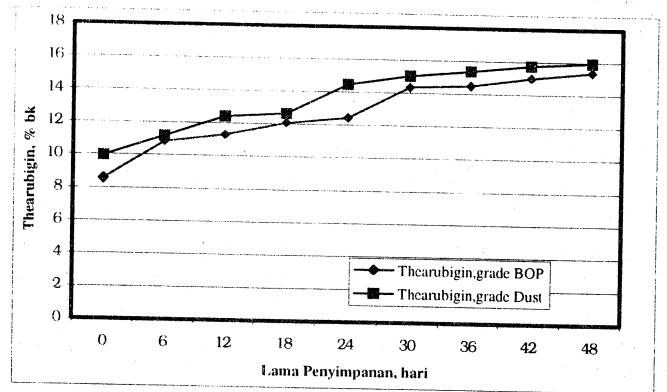
Gambar 1. Grafik hubungan antara kandungan theaflavin BOP - Dust dan lama penyimpanan pada suhu 10°C



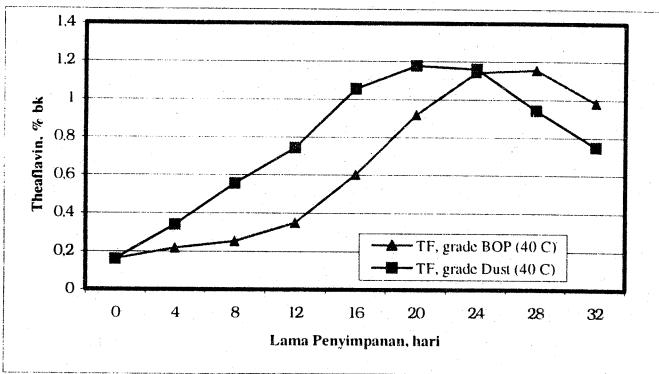
Gambar 2. Grafik hubungan antara kandungan theaflavin BOP - Dust dan lama penyimpanan pada suhu 22°C



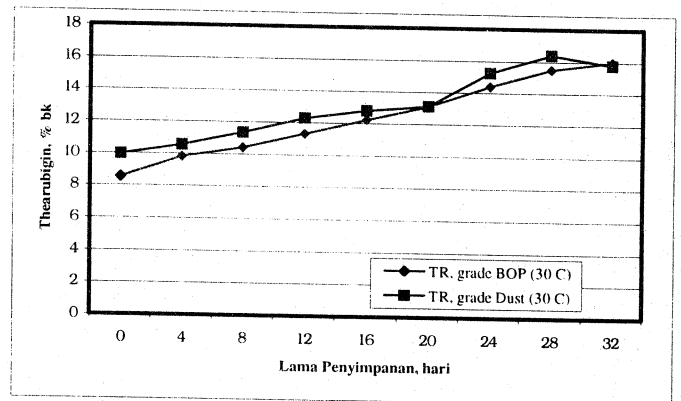
Gambar 3. Grafik hubungan antara kandungan theaflavin BOP – Dust dan lama penyimpanan pada suhu 30°C



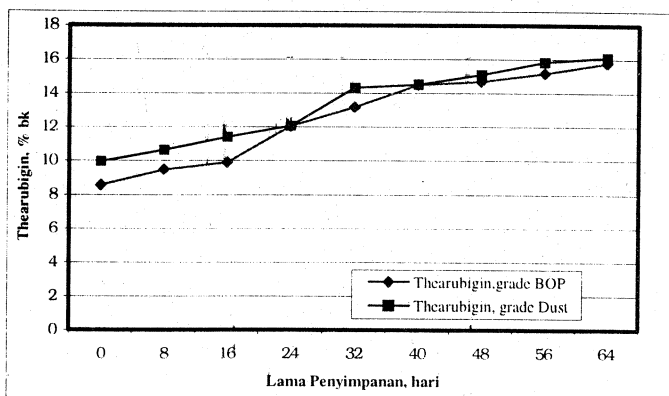
Gambar 6. Grafik hubungan antara kandungan thearubigin BOP – Dust dan lama penyimpanan pada suhu 22°C



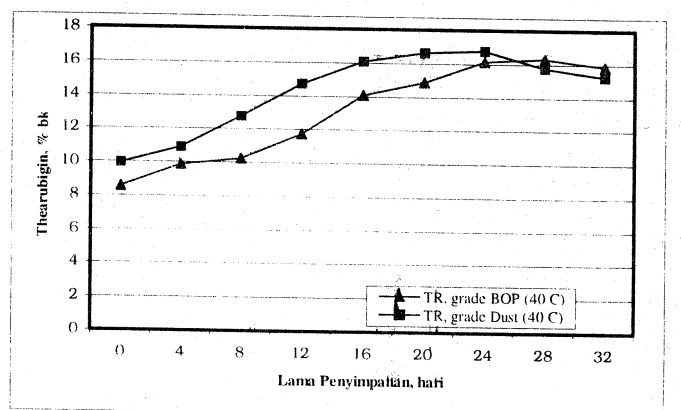
Gambar 4. Grafik hubungan antara kandungan theaflavin BOP – Dust dan lama penyimpanan pada suhu 40°C



Gambar 7. Grafik hubungan antara kandungan thearubigin BOP – Dust dan lama penyimpanan pada suhu 30°C



Gambar 5. Grafik hubungan antara kandungan thearubigin BOP – Dust dan lama penyimpanan pada suhu 10°C



Gambar 8. Grafik hubungan antara kandungan thearubigin BOP – Dust dan lama penyimpanan pada suhu 40°C

Pada periode awal penyimpanan, grafik perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin berubah secara cepat sampai akhir minggu keempat, kurun waktu ini disebut sebagai periode progresif. Laju perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin sesudah periode progresif berkurang; kurun waktu ini dapat disebut sebagai periode penurunan. Apabila teh disimpan lebih lama lagi kemungkinan tidak akan terjadi perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin, dengan kata lain laju perubahannya menjadi nol (Gambar 1 – Gambar 8). Laju perubahan seperti ini disebut periode konstan. Laju perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin dalam teh hitam diduga ada kaitannya dengan status air dalam teh. Hal ini mirip dengan perubahan kecepatan pengempalan bubuk buah durian dan bubuk buah sirsak (Suyitno, 1995) yang berkaitan dengan status air di dalamnya.

Pada periode progresif, air terikat sekunder dalam teh hitam, masih dapat termodifikasi sehingga lebih bebas. Penurunan jumlah air terikat tersebut akan diikuti dengan meningkatnya a_w , yang akan berdampak pada peningkatan proses kemunduran mutu. Hal tersebut dipacu oleh kenaikan suhu yang akan meningkatkan aktivitas kimia air dan reaksi oksidasi senyawa non enzimatis polifenol teh menjadi theaflavin dan thearubigin. Pada periode menurun, air terikat sekunder semakin berkurang sehingga pengaruhnya terhadap laju perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin mengecil. Fenomena yang terjadi selama penyimpanan jangka panjang hingga masuk dalam periode tetap (konstan), ditunjukkan oleh laju perubahan kandungan thearubigin Dust suhu 40°C (Gambar 8). Gambar tersebut menunjukkan suatu perubahan yang hampir tetap pada akhir penyimpanan. Keadaan ini diduga terjadi karena seluruh air terikat sekunder dan kandungan polifenol teh sudah habis, sehingga proses oksidasi menjadi theaflavin dan thearubigin terhenti.

Laju perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin terbesar berlangsung selama periode progresif, yang diduga mencapai 80-90% dari total laju perubahan. Pada Gambar 4 tampak bahwa pada periode progresif perubahan kandungan theaflavin BOP dimulai pada hari keempat dan berakhir pada hari kedua puluh empat, selanjutnya mengalami periode menurun. Periode progresif perubahan kandungan theaflavin Dust dimulai pada hari keempat dan mulai masuk dalam periode menurun pada penyimpanan hari kedua puluh. Dibandingkan dengan periode menurun, laju perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin pada periode progresif dapat dimanfaatkan untuk keperluan praktis seperti pengemasan, penyimpanan, dan distribusi, (Suyitno, 1995). Artinya upaya pengemasan, penyimpanan, dan distribusi sangat disarankan dilakukan pada periode progresif.

Tingkat laju perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin teh hitam selama penyimpanan dapat dinyatakan dengan besaran (konstanta) laju perubahan (K_p). Orde reaksi laju perubahan tersebut adalah orde pertama atau $n = 1$ karena bentuk kurva non linier. Harga K_p yang besar menyatakan tingkat laju perubahan yang besar dan sebaliknya. Harga K_p dipengaruhi suhu penyimpanan. Secara matematik laju perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin dalam teh hitam selama penyimpanan dihitung berdasarkan kemiringan grafik korelasi \ln theaflavin dan \ln thearubigin dengan lama

penyimpanan (t) yang dihitung dengan analisis regresi. Hasil perhitungan regresi tersebut pada keempat suhu penyimpanan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Laju perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin (mol/hari) selama penyimpanan pada berbagai suhu

Grade Teh Hitam	Suhu (°C)	Laju perubahan, K_p (mol/hari)	
		TF	TR
BOP	10	0,0331	0,0101
	22	0,0435	0,0111
	30	0,0643	0,0195
	40	0,0677	0,0211
Dust	10	0,0326	0,0080
	22	0,0425	0,0097
	30	0,0667	0,0159
	40	0,0809	0,0236

Laju perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin Dust lebih besar dibanding BOP. Dust mempunyai ukuran partikel sangat kecil, sehingga mempunyai luas permukaan lebih besar. Oleh karena itu Dust mempunyai kemampuan mengikat oksigen lebih kuat hingga reaksi oksidasi berlangsung lebih cepat. Oksigen akan mengoksidasi polifenol menjadi theaflavin dalam teh hitam selama penyimpanan. Karena BOP berukuran partikel lebih besar daripada Dust, maka laju perubahan tersebut lebih kecil pada BOP.

Dengan menggunakan garam KCl jenuh akan diperoleh ERH sebesar 85% sehingga a_w ruangan penyimpanan menjadi 0,85. Selama inkubasi akan tercapai keseimbangan antara jumlah air dalam ruangan dengan jumlah air dalam sampel. Kapasitas penyerapan uap air dalam sampel teh akan berkurang sejalan dengan kenaikan suhu. Apabila kenaikan suhu terjadi di dalam wadah yang kedap udara, penurunan jumlah air terikat akan diikuti dengan meningkatnya a_w . Kenaikan a_w berdampak pada meningkatnya proses kemunduran mutu. Dapat pula dikatakan bahwa pada kadar air yang sama, aktivitas air dari dua grade teh hitam yang diteliti bertambah besar dengan meningkatnya suhu.

Nilai laju perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin mengalami kenaikan dengan bertambahnya suhu. Kenyataan tersebut menunjukkan bahwa suhu berperan cukup kuat terhadap kecepatan kerusakan atau laju perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin. Faktor a_w tinggi (0,85) yang dikendalikan selama penelitian dan suhu berpengaruh secara langsung pada mekanisme tersedianya air bebas bagi proses laju perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin. Pada a_w yang tinggi berarti air yang tersedia juga bertambah banyak, sedangkan dengan suhu yang lebih tinggi air yang tadinya terikat ada sebagian yang dibebaskan sehingga akan memacu proses oksidasi polifenol menjadi theaflavin dan thearubigin.

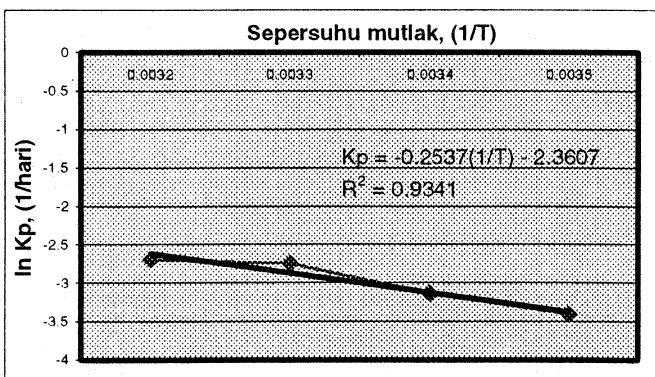
Model persamaan kinetika perubahan theaflavin dan thearubigin pada BOP dan Dust selama penyimpanan terkontrol sebagai fungsi waktu ($K_p = f(t)$) disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Model matematika laju perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin sebagai fungsi waktu

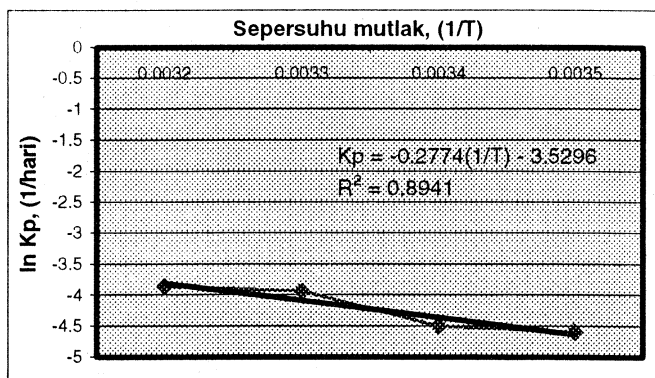
Senyawa Kimia	Teh Hitam	
	BOP	Dust
Theaflavin	$Kp(t) = 1,587^{05} \exp(-Kp.t)$	$Kp(t) = 2,090^{05} \exp(-Kp.t)$
Thearubigin	$Kp(t) = 8,272^{04} \exp(-Kp.t)$	$Kp(t) = 9,514^{04} \exp(-Kp.t)$

2. Pengaruh Suhu

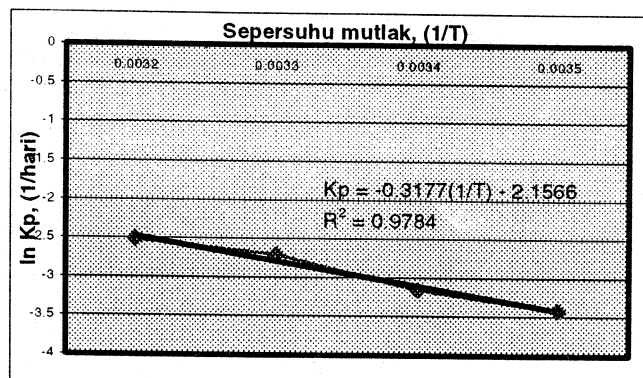
Dengan menggunakan larutan KCl jenuh akan diperoleh ERH (*Equilibrium Relative Humidity*, kelembaban relatif seimbang) sebesar 85 % sehingga a_w ruangan penyimpanan menjadi 0.85. Selama inkubasi akan tercapai keseimbangan antara kelembaban ruangan dengan kelembaban di dalam sampel. Kapasitas penyerapan uap air pada teh hitam akan berkurang sejalan dengan kenaikan suhu. Apabila kenaikan suhu terjadi di dalam wadah yang kedap udara, penurunan jumlah air terikat akan diikuti dengan meningkatnya a_w . Kenaikan a_w berdampak pada meningkatnya proses kemunduran mutu. Dapat pula dikatakan bahwa pada kadar air yang sama, aktivitas air dari dua grade teh hitam yang diteliti bertambah besar dengan meningkatnya suhu.



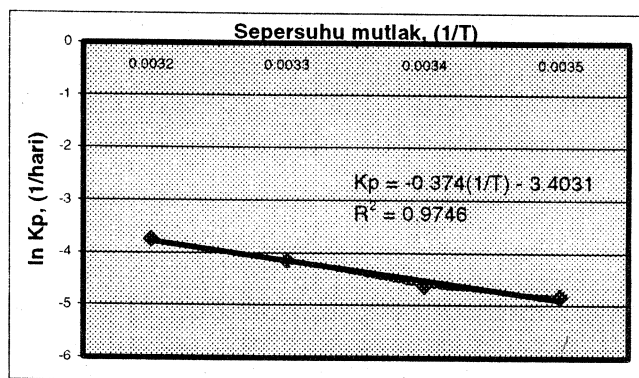
Gambar 9. Grafik hubungan antara ln Kp theaflavin teh hitam grade BOP dengan sepersuhu mutlak (1/T)



Gambar 10. Grafik hubungan antara ln Kp thearubigin teh hitam grade BOP dengan sepersuhu mutlak (1/T)



Gambar 11. Grafik hubungan antara ln Kp theaflavin teh hitam grade Dust dengan sepersuhu mutlak (1/T)



Gambar 12. Grafik hubungan antara ln Kp thearubigin teh hitam grade Dust dengan sepersuhu mutlak (1/T)

Koefisien korelasi yang tinggi ($r > 0,89$) menunjukkan bahwa suhu berperan terhadap laju perubahan theaflavin dan thearubigin. Selain itu juga menunjukkan bahwa hubungan antara laju perubahan theaflavin dan thearubigin ($\ln Kp$) dengan sepersuhu mutlak (T^{-1}) penyimpanan teh hitam bersifat linier, dan keduanya mempunyai hubungan yang kuat. Kemiringan garis $\ln Kp$ pada Gambar 9 – Gambar 12 berharga negatif dan ditandai dengan kemiringan garis yang tajam, karena absis dalam persamaan Arrhenius dinyatakan dalam sepersuhu mutlak (1/T). Hal tersebut menunjukkan bahwa bila suhu penyimpanan meningkat maka harga konstanta laju perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin makin besar. Dengan kata lain kenaikan suhu akan mempercepat laju perubahan theaflavin dan thearubigin dalam teh hitam. Garis menjadi semakin miring dengan bertambahnya suhu penyimpanan.

Nilai laju perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin dalam teh hitam selama penyimpanan yang dinyatakan dalam bentuk grafik terhadap T^{-1} pada kertas semi log (Gambar 9 - Gambar 12), memberikan grafik garis lurus bagi persamaan matematis Arrhenius.

Kemiringan garis pada setiap grafik menunjukkan besarnya energi aktivasi dibagi dengan tetapan gas R. Semakin tajam kemiringan garis, laju perubahan kandungan

theaflavin dan thearubigin semakin tergantung pada suhu yang artinya, kenaikan suhu menyebabkan terjadinya laju perubahan yang lebih besar. Apabila kenaikan suhu terjadi di dalam wadah yang kedap udara penurunan jumlah air terikat akan diikuti dengan meningkatnya a_w , kenaikan a_w berdampak pada meningkatnya proses kemunduran mutu (Labuza dan Riboh, 1982).

Pengaruh suhu terhadap laju perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin dapat dianalisis dengan menggunakan persamaan matematis Arrhenius yang menyatakan bahwa kecepatan reaksi dipengaruhi oleh suhu. Laju perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin serta suhu penyimpanan dalam Tabel 1 dapat diregresikan dalam bentuk hubungan antara $\ln K_p$ Vs T^{-1} , hasil regresi disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil regresi laju perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin pada persamaan matematis Arrhenius

Grade Teh Hitam	Kandungan Kimia	Ttk. Potong (ln A)	Kemiringan (Ea/R)	R ²
BOP	Theaflavin	5,5046	-2537,2	0,93
	Thearubigin	5,0686	-2773,6	0,89
Dust	Theaflavin	1,9893	-1516,0	0,84
	Thearubigin	5,0686	-2278,3	0,81

Berdasarkan Tabel 3 Ea/R atau slope yang paling besar yaitu teh hitam grade Dust, yang berarti energi aktivasinya akan lebih kecil dibandingkan energi aktivasi pada teh hitam grade BOP.

3. Energi Aktivasi

Energi aktivasi adalah energi yang diperlukan untuk mengaktifkan reaksi perubahan theaflavin dan thearubigin yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan matematis Arrhenius. Persamaan matematis ini menyatakan bahwa hubungan antara $\ln K_p$ dengan T^{-1} berbentuk garis lurus dengan titik potong $\ln A$ dan kemiringan (slope) = Ea/R . Dengan istilah lain $Ea = \text{slope} \times R$ dengan nilai $R = 1,986 \text{ kal/mol}^\circ\text{K}$.

Energi aktivasi teh hitam grade BOP lebih besar dari pada grade Dust, artinya energi yang diperlukan atau dibutuhkan untuk reaksi perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin dalam teh hitam grade BOP lebih besar sebab aktivitas atau mobilitas airnya lebih rendah. Sejalan dengan hasil penelitian Alamsyah (1998), terungkap bahwa teh hitam grade Dust lebih mudah mengalami perubahan theaflavin dan thearubigin yang dapat menyebabkan kemunduran mutu. Teh hitam grade Dust membutuhkan energi yang lebih kecil untuk mempercepat laju kemunduran mutunya dibandingkan teh hitam grade BOP. Perubahan tersebut berupa proses oksidasi maupun pengikatan air melalui ikatan hidrogen yang semakin besar. Proses ini akan memperbesar slope dan juga kadar air lapis tunggalnya. Pada zona air terikat primer atau kadar air lapis tunggal, molekul air diikat sangat kuat oleh bahan padat sehingga tidak mampu mengaktifkan proses perubahan theaflavin dan thearubigin. Teh hitam grade BOP mempunyai slope dan kadar air lapis tunggal yang kecil sehingga

diperlukan energi yang besar untuk mengaktifkan proses perubahan theaflavin dan thearubigin, karena molekul air terikat sangat kuat. Pada teh hitam grade Dust slope dan kadar air lapis tunggalnya besar sehingga energi untuk mengaktifkan perubahan theaflavin dan thearubigin menjadi kecil. Energi aktivasi dalam teh hitam grade BOP dan grade Dust dapat dilihat pada Tabel 4.

Selama penyimpanan di dalam wadah kedap udara, air yang semula terikat oleh teh hitam dapat terlepas karena pengaruh suhu sehingga a_w -nya meningkat. Pada a_w yang tinggi potensi kimia air lebih besar, sehingga untuk mengaktifkan proses perubahan theaflavin dan thearubigin diperlukan energi yang lebih rendah.

Tabel 4. Energi aktivasi (Ea), faktor frekuensi (A), dan R²

Grade Teh Hitam	Kandungan Kimia	Faktor frekuensi (A, mol/hari)	Energi aktivasi (Ea, kal/mol)	R ²
BOP	Theaflavin	245,83	5041,163	0,93
	Thearubigin	158,95	5510,866	0,89
Dust	Theaflavin	7,31	3012,140	0,84
	Thearubigin	23,87	4526,754	0,81

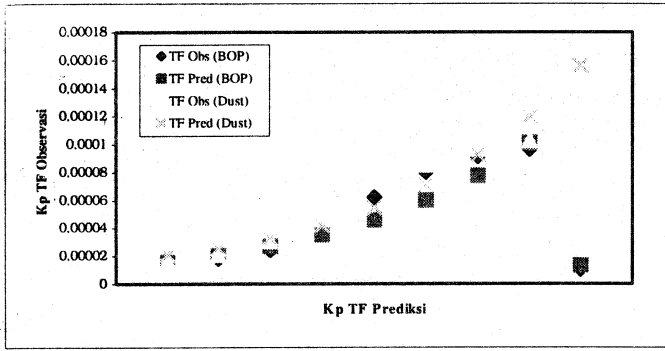
4. Uji validitas model

a. Scatter plot

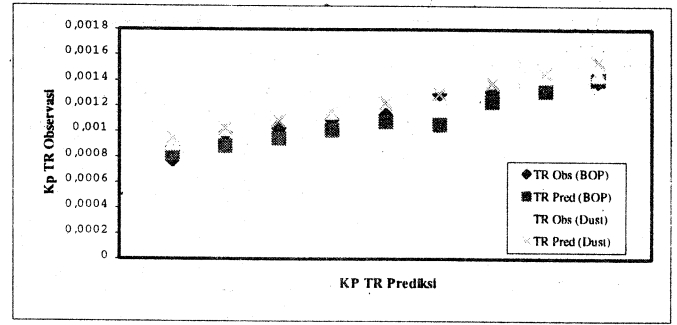
Scatter plot laju perubahan (K_p) hasil prediksi dan observasi menghasilkan grafik sebagaimana dilukiskan dalam Gambar 13 – Gambar 20. Analisis regresi yang dilakukan terhadap *scatter plot* laju perubahan menghasilkan intersep dan koefisien arah pada Tabel 5 berikut ini.

Tabel 5. Analisis regresi *scatter plot* laju perubahan theaflavin dan thearubigin

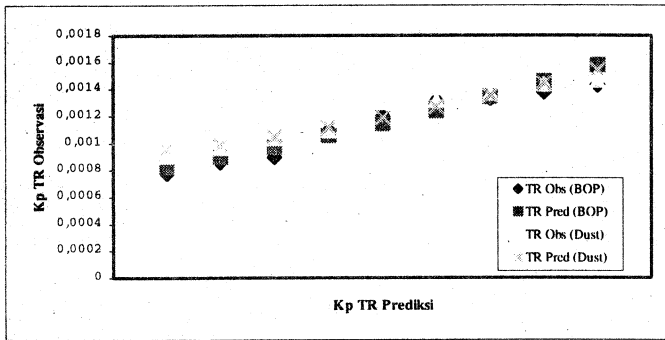
Suhu (°C)	Senyawa kimia	Grade teh hitam	Intersep	Koefisien arah
10	Theaflavin	BOP	1,347 ⁻⁰⁷	1,0955
		Dust	1,412 ⁻⁰⁵	0,7801
	Thearubigin	BOP	6,973 ⁻⁰⁵	0,9171
		Dust	1,364 ⁻⁰⁵	0,9868
22	Theaflavin	BOP	2,461 ⁻⁰⁵	0,6152
		Dust	6,333 ⁻⁰⁶	0,8799
	Thearubigin	BOP	1,115 ⁻⁰⁴	0,9559
		Dust	7,845 ⁻⁰⁵	0,9384
30	Theaflavin	BOP	1,787 ⁻⁰⁶	0,9188
		Dust	6,445 ⁻⁰⁶	0,8773
	Thearubigin	BOP	2,167 ⁻⁰⁵	0,9543
		Dust	-4,033 ⁻⁰⁵	1,0301
40	Theaflavin	BOP	1,376 ⁻⁰⁵	0,8488
		Dust	4,225 ⁻⁰⁵	0,7063
	Thearubigin	BOP	7,285 ⁻⁰⁴	0,6015
		Dust	1,919 ⁻⁰⁴	0,8602



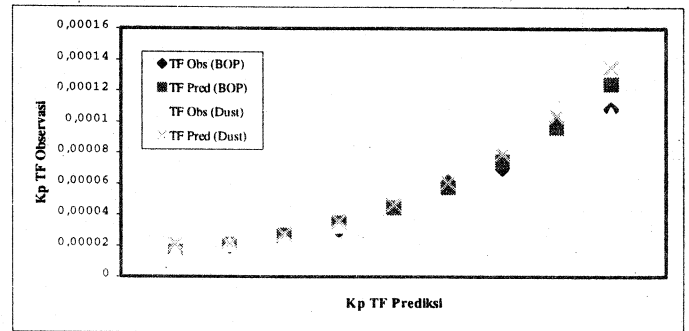
Gambar 13. Scatter plot laju perubahan theaflavin BOP dan Dust pada suhu 10⁰C



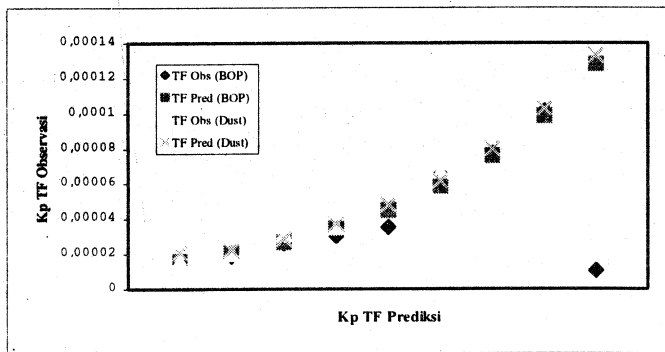
Gambar 16. Scatter plot laju perubahan thearubigin BOP dan Dust pada suhu 22⁰C



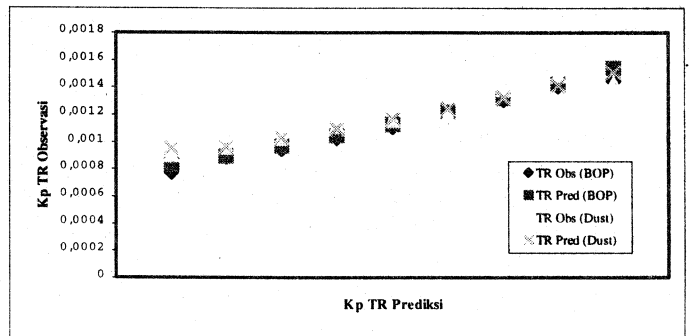
Gambar 14. Scatter plot laju perubahan thearubigin BOP dan Dust pada suhu 10⁰C



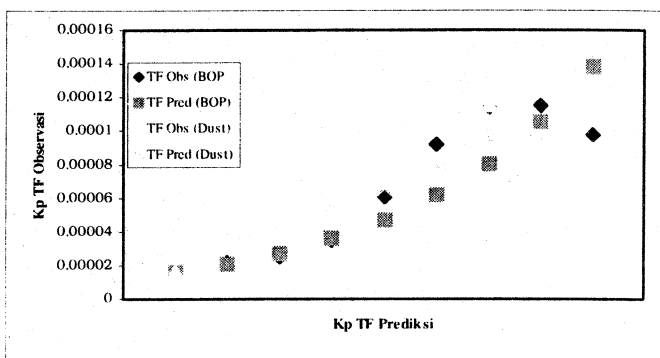
Gambar 17. Scatter plot laju perubahan theaflavin BOP dan Dust pada suhu 30⁰C



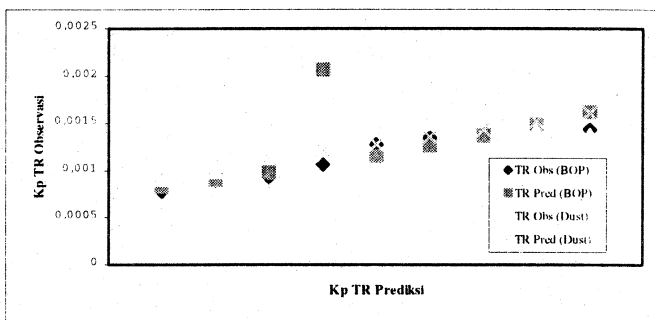
Gambar 15. Scatter plot laju perubahan theaflavin BOP dan Dust pada suhu 22⁰C



Gambar 18. Scatter plot laju perubahan thearubigin BOP dan Dust pada suhu 30⁰C



Gambar 19. Scatter plot laju perubahan theaflavin BOP dan Dust pada suhu 40°C



Gambar 20. Scatter plot laju perubahan thearubigin BOP dan Dust pada 40°C

Kecilnya intersep (mendekati nol) dari gambar-gambar tersebut di atas dan koefisien arah yang mendekati 1 (satu), menunjukkan bahwa laju perubahan hasil prediksi tepat sama dengan laju perubahan hasil observasi, dan model yang dibuat terbukti valid.

b. Koefisien Determinasi

Besarnya koefisien determinasi menunjukkan besarnya pengaruh lama penyimpanan terhadap perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin; semakin mendekati nilai satu berarti maka model prediksi yang terbentuk semakin valid (Tabel 6). Lama penyimpanan mempengaruhi perubahan kandungan kimia teh hitam sebesar koefisien determinasi model prediksi.

Tabel 6. Koefisien determinasi lama penyimpanan terhadap perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin teh hitam dalam beberapa variasi suhu

Bahan kimia teh hitam	Koefisien determinasi, %							
	Suhu							
	40		30		22		10	
	BOP	Dust	BOP	Dust	BOP	Dust	BOP	Dust
Theaflavin	91	88	99	96	97	97	94	92
Thearubigin	92	93	99	96	91	92	93	95

c. Uji sebaran F

Hasil analisis variansi yang dilakukan terhadap nilai sesatan (residu) laju perubahan dari model yang terbentuk pada selang kepercayaan 95%, menghasilkan nilai F hitung lebih kecil dari nilai F tabel terhadap lama penyimpanan, yang berarti hipotesis nol (H_0 : Model cocok pada data) diterima.

Berdasarkan pembahasan di atas ternyata bahwa model yang dipilih dapat digunakan untuk menentukan laju perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin dalam teh hitam selama penyimpanan sebagai fungsi suhu.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data laju perubahan kandungan theaflavin dan thearubigin teh hitam BOP dan Dust pada kondisi $a_w = 0,85$ dan dengan berbagai variasi suhu selama penyimpanan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Konstanta laju perubahan (K_p) kandungan theaflavin dan thearubigin pada BOP lebih kecil daripada Dust, sehingga Dust lebih cepat mengalami kemunduran mutu. Semakin tinggi suhu penyimpanan semakin cepat laju perubahan kandungan theaflavin dan thearubiginnya.
2. Model persamaan kinetika perubahan kandungan theaflavin BOP adalah $K_{p(t)} = 1,587^{-05} \exp(-K_p.t)$ dan Dust adalah $K_{p(t)} = 2,090^{-05} \exp(-K_p.t)$, sedangkan model persamaan kinetika perubahan kandungan thearubigin BOP adalah $K_{p(t)} = 8,272^{-04} \exp(-K_p.t)$ dan Dust adalah $K_{p(t)} = 9,514^{-04} \exp(-K_p.t)$.
3. Energi aktivasi teh hitam grade BOP lebih besar dibandingkan dengan energi aktivasi teh hitam grade Dust, artinya energi yang diperlukan atau dibutuhkan untuk reaksi perubahan theaflavin dan thearubigin dalam teh hitam grade BOP lebih besar sebab aktivitas atau mobilitas airnya lebih rendah.
4. Koefisien korelasi yang tinggi ($r > 0,89$) menunjukkan bahwa suhu berperan terhadap laju perubahan theaflavin dan thearubigin. Kenaikan suhu akan mempercepat laju perubahan theaflavin dan thearubigin dalam teh hitam.
5. Upaya perlindungan mutu melalui penghambatan perubahan kadar theaflavin dan thearubigin pada teh hitam grade Dust harus dilakukan lebih intensif pada periode progresif dari pada teh hitam grade BOP.

DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah, A. N. 1998. *Kinetika Laju Perubahan Kandungan Theaflavin dan Thearubigin Dalam Teh Hitam Selama Penyimpanan*. Skripsi. FTP-UGM. Yogyakarta. (Tidak dipublikasikan).
- Labuza, T. P. 1984. *Moisture Sorption: Practical Aspect of Isotherm Measurement and Use*. Published by American Association of Cereal Chemists. St. Paul. Minnesota.
- Labuza, T. P. and Riboh, D. 1982. *Theory and Application of Arrhenius Kinetics to the Prediction of Nutrient Losses in Foods*. J. Food Technology. October 1982, 66-74.
- Labuza, T. P. 1983. *Reaction Kinetics and Accelerated Test*

Simulation Function of Temperature. Dalam I. Saguy (ed.): *Computer Aided Techniques in Food Technology*. Marcel Dekker, Inc. New York.

Roberts, E. A. H. and Smith, R. P. 1973. *Analysis of Theaflavin and Thearubigin*. Analyst 18 : 498-499.

Suyitno. 1995. *Serat Makan dan Perilaku Aktivitas Air Bubuk Buah*. Disertasi. Program Pasca Sarjana-UGM. Yogyakarta. (Tidak dipublikasikan).

DAFTAR SIMBOL

A : faktor frekuensi (faktor pra-ekponensial), (1/hari)
A₀ : kandungan kimia teh sebelum disimpan, (mol bk)

A_t : kandungan kimia teh setelah disimpan, (mol bk)
E_a : energi aktivasi, (kal/mol)
k_p : konstanta laju perubahan kandungan kimia pada teh, (1/hari, seperwaktu atau t⁻¹)
R : konstanta gas, (1,986 kal/mol.°K)
T : suhu mutlak, (°K)
t : waktu, (hari)
TF : Theaflavin
TR : Thearubigin