

KINETIKA PERUBAHAN KADAR 5-Hydroxymethyl -2-Furfural (HMF) BAHAN MAKANAN BERPATI SELAMA PENGGORENGAN

[Kinetics of Changes of 5-Hydroxymethyl-2-Furfural (HMF) Content
Of Starchy Food during Frying]

Supriyanto¹⁾, Budi Rahardjo²⁾, Y. Marsono³⁾, dan Supranto⁴⁾

- 1). Mahasiswa Program S3 PS Teknik Pertanian UGM, Dosen pada Fakultas Pertanian UNISMA Bekasi
- 2). Guru Besar pada Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian UGM Yogyakarta
- 3). Guru Besar pada Jurusan Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian UGM
- 4). Lektor Kepala pada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UGM

Diterima 28 Agustus 2006 / Disetujui 15 November 2006

ABSTRACT

Cooking of the starchy foods at high temperature can result in formation of 5-Hydroxymethyl-2-Furfural (HMF) compound. The HMF content of starchy foods changes during the heat treatment in the frying process. The rate of change of the HMF content during frying depends on oil temperature, initial water content and the amyloso – amylopectin ratio of the material. The objective of the research was to study the kinetics of HMF change in the starchy foods during frying process. The change of the HMF content was assumed following by the first order kinetic model.

The samples used in the experiment were the dried dough corn powders. The dough was made of a mixture of two varieties of corn with different amyloso – amylopectin content, with variation on the composition of the mixture. Bisma variety was used as the high amyloso (low amylopectin) and Pulut (waxy) was used as the low amyloso (high amylopectin). The samples were fried in palm oil using a deep fat frying method with variation of oil temperature, initial water content and content of amyloso – amylopectin ratio. The HMF of the fried product was extracted with absolute ethanol and the extracts were determined by UV-Vis Spectrophotometer at 281,5 nm. The result indicated that the rate of change of the HMF content in corn increased with the increasing oil temperature and amyloso content and decreased with initial water content.

The model applied to the changing on HMF content showed that the equation : $X_{hmf} = A (1 - B e^{-km t})$ (with X_{hmf} = the HMF content; km = The rate of the HMF changing; t = frying time; A and B = the constants) can be used for estimation the change of the HMF content of the corn fried product during the frying process

Key words : Starchy foods, 5-Hydroxymethyl-2-Furfural (HMF), The first order kinetic model.

PENDAHULUAN

Penggorengan sistem *deep fat frying* (rendam minyak) didefinisikan sebagai proses pemasakan bahan makanan dengan cara merendam bahan makanan tersebut di dalam lemak/minyak panas (Farkas et al., 1996; Yamsaengsung dan Moreira, 2002). Temperatur lemak/minyak yang biasa digunakan dalam penggorengan berkisar 150 – 200°C (Yamsaengsung dan Moreira, 2002). Temperatur lemak/minyak setinggi itu berperan penting dalam mempercepat laju transfer panas, pemasakan, pencoklatan dan perubahan cita rasa bahan (Farkas et al., 1996). Selama proses penggorengan berlangsung, terjadi perubahan-perubahan fisik, kimia dan sensoris pada bahan (Farkas et al., 1996; Moyano, et al., 2002).

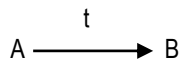
Senyawa alami pada bahan yang mengalami perubahan selama proses penggorengan antara lain pati dan gula (Boskou dan Elmadfa, 1999). Perubahan utama yang dialami oleh komponen gula dalam bahan

makanan selama proses pengolahan dengan pemanasan adalah terjadinya reaksi pencoklatan non-enzymatik (*browning reactions*), yaitu reaksi karamelisasi dan reaksi *maillard* (Boa, 2001; Boskou dan Elmadfa, 1999; Miyano et al., 2002; Tranggono dan Sutardi, 1989; Winarno, 1984). Reaksi karamelisasi adalah reaksi yang terjadi karena pemanasan gula pada temperatur di atas titik cairnya yang akan menghasilkan perubahan warna menjadi warna gelap sampai coklat (Tranggono dan Sutardi, 1989). Reaksi *maillard* adalah reaksi-reaksi antara karbohidrat khususnya gula pereduksi dengan gugus amina primer, hasil reaksi tersebut menghasilkan bahan berwarna coklat yang disebut melanoidin (Winarno, 1984).

Proses pencoklatan bahan makanan selama pemanasan (pengolahan) berkorelasi langsung dengan senyawa 5-hydroxymethyl-2-furfural (HMF) (Mancilla-Margalli dan Lopez, 2002). 5-hydroxymethyl-2-furfural dapat terbentuk baik pada reaksi karamelisasi maupun *maillard*, senyawa tersebut cenderung mengalami

peningkatan selama proses pemasakan. Pada bahan makanan sumber pati, reaksi karamelisasi lebih dominan menentukan terbentuknya pigmen coklat daripada reaksi maillard karena bahan makanan berpati relatif sedikit mengandung asam amino maupun protein (Marsono, 2006).

Perubahan kadar 5-hydroxymethyl-2-furfural (HMF) pada bahan makanan berpati selama penggorengan dapat dipelajari dengan teori kinetika. Kinetika merupakan dasar untuk mengetahui berbagai perubahan bahan makanan termasuk laju dan kecepatan berbagai proses yang terjadi selama pengolahan dan penyimpanan (Heldman dan Singh, 1981). Van Boekel (1996) menyatakan bahwa informasi dasar pengetahuan kinetika yaitu suatu sistem prediksi perubahan yang terjadi pada bahan makanan selama proses pengolahan atau selama penyimpanan. Menurut Labuza dan Riboh (1982), secara umum penurunan nilai gizi atau kualitas bahan makanan dinyatakan sebagai berikut :



dimana : A = kualitas yang diinginkan = A_0 pada $t = 0$
 B = kualitas yang tidak diinginkan
 t = waktu

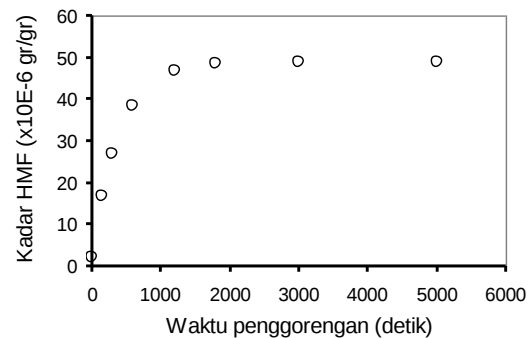
Sebagian besar perubahan mutu bahan makanan termasuk dalam reaksi orde nol dan orde satu (Labuza dan Riboh, 1982). Dogra dan Dogra (1990) mengemukakan bahwa laju reaksi dinyatakan sebagai berikut :

$$\text{- Orde satu} = \frac{d(C)}{Dt} = k (C)^n \dots\dots\dots (1)$$

dimana n adalah orde reaksi, untuk $n = \text{orde nol}$ maka persamaan (1) menjadi :

$$\text{- Orde nol} = \frac{d(C)}{dt} = k \dots\dots\dots (2)$$

Apabila reaksi pembentukan senyawa 5-hydroxymethyl-2-furfural (HMF) pada bahan makanan berpati selama penggorengan dimasukkan dalam kategori reaksi orde satu dan perilaku perubahan senyawa tersebut ditunjukkan seperti pada Gambar 1, maka perilaku perubahan senyawa 5-hydroxymethyl-2-furfural (HMF) dapat didekati dengan persamaan (3) berikut :



Gambar1 Grafik riwayat pembentukan kadar 5-hydroxymethyl-2-furfural (HMF) pada bahan makanan berpati selama penggorengan

$$\frac{X_p(t) - X_m}{X_0 - X_m} = e^{-k_f t} \dots\dots\dots (3)$$

$$X_p(t) = X_m \left[1 - \left(\frac{X_m - X_0}{X_m} \right) e^{-k_f t} \right] \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{Apabila } P = X_m \text{ dan } Q = \left(\frac{X_m - X_0}{X_m} \right) \dots\dots\dots (5)$$

$$X_p(t) = P \left[1 - Q e^{-k_f t} \right] \dots\dots\dots (6)$$

Apabila $X_p(t) = X_{HMF}(t)$ (kadar HMF pada waktu ke t), maka persamaan (6) menjadi :

$$X_{HMF}(t) = P \left[1 - Q e^{-k_f \Delta t} \right] \dots\dots\dots (7)$$

Apabila grafik riwayat perubahan kadar HMF selama penggorengan diduga asymptotis, maka untuk persamaan (7) berlaku kondisi batas sebagai berikut :

$$\text{Pada saat } t = 0 ; X_p(t) \Big|_{t=0} = X_p(0) = \text{kadar HMF awal}$$

persamaan (7) menjadi :

$$X_{HMF}(0) = P (1 - Q) \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{Pada saat } t = \infty ; X_{HMF}(t) \Big|_{t=\infty} \approx \text{asymptotis} = X_{HMF}(t) = \text{kadar HMF asymptotis}$$

persamaan (7) menjadi :

$$X_{HMF}(\infty) = P = \text{kadar HMF asymptotis} \dots\dots\dots (9)$$

Penurunan persamaan (7) menjadi :

$$\frac{dX_{HMF}}{dt} = (-PQ)(-k_f) e^{-k_f t} \dots\dots\dots(10)$$

Untuk mendapatkan nilai konstante perubahan kadar HMF (k_f) dilakukan dengan cara grafik dari persamaan (10). Plot nilai $\ln dX_{HMF} / dt$ dengan waktu penggorengan (t) memberikan kurva garis lurus, nilai k_f adalah besarnya nilai kemiringan kurva.

Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan model matematik kinetika perubahan kadar 5-hydroxymethyl-2-furfural (HMF) bahan makanan berpati selama penggorengan. Pengetahuan tentang hal tersebut bermanfaat untuk menentukan waktu penggorengan yang optimum untuk menghasilkan produk makanan masak goreng yang sesuai selera konsumen. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk memperoleh parameter-parameter kinetika pemasakan yang dinyatakan dengan kinetika perubahan kadar 5-hydroxymetil-2- furfural (HMF) bahan makanan berpati selama penggorengan.

METODOLOGI

Bahan dan alat

Bahan yang digunakan sebagai sampel adalah jagung, terdiri dari varietas Bisma (*non waxy corn*) dan varitas Ketan (*waxy corn*) yang dibeli di Balai Benih Jagung dan Palawija-Wonosari-Gunungkidul. Bahan-bahan pendukung untuk penyiapan sampel adalah air dan minyak goreng kelapa sawit sebagai media untuk menggoreng. Bahan-bahan untuk analisa kadar HMF adalah : 5(Hydroxymethyl)-2-Furancarbanaldehyde / 5(Hydroxymethyl)-2-Furfural (Nomor seri : 820678 S17172 630 – The Merck Index) dan ethanol absolut.

Alat yang digunakan terdiri dari : alat penggoreng (*deep fryer*), oven listrik, *stopwatch*, seperangkat alat ukur suhu *dataloger* lengkap, timbangan analitik, cawan porselin, eksikator, pinset, alumunium foil, Spektrofotometer UV-Visible -1601, blender , tabung reaksi, mikropipet ukur, labu ukur, magnetic stirer.

Eksperimentasi

Penyiapan sampel. (1). Jagung pipil digiling menjadi tepung, (2).Tepung jagung ditimbang secukupnya sesuai dengan jumlah sampel yang dibutuhkan, (3). Tepung jagung dibuat adonan dengan cara mencampur tepung dengan air mendidih, tepung jagung diaduk-aduk dengan air mendidih sampai terbentuk adonan yang plastis. Air mendidih yang diperlukan setiap 1 kg tepung adalah 850 ml sampai 900 ml, (4). Adonan tepung yang telah dihasilkan kemudian dicetak, dalam penelitian ini adonan dicetak berbentuk slab dengan ukuran (20 x 20 x 1) cm.

(5). Adonan yang telah tercetak kemudian dikukus selama 1 jam, (6). Adonan masak diturunkan kadar airnya (dikeringkan) sampai kadar air 40 – 45% w.b., dengan hembusan *blower* tanpa adanya pemanasan untuk menghindari terjadinya proses pengeringan yang terlalu cepat agar sampel tidak pecah-pecah. Lama waktu pengeringan diatur sesuai dengan perlakuan kadar air awal yang telah direncanakan.

Penggorengan. (1). Penyiapan peralatan penggorengan, minyak goreng dituangkan ke dalam tempat penggorengan (wajan), (2). Bahan sampel disiapkan sesuai dengan perlakuan yang telah direncanakan, baik perlakuan komposisi campuran bahan baku maupun perlakuan kadar air awal, (3). Alat penggoreng dinyalakan, tombol kontrol suhu minyak goreng diatur sesuai perlakuan suhu minyak goreng yang direncanakan, suhu minyak ditunggu agar naik sampai mencapai suhu yang diinginkan, (4). Bahan sampel dimasukkan ke dalam alat penggorengan, lama waktu penggorengan disesuaikan dengan waktu optimum untuk mencapai kemasakan bahan makanan yang digoreng. Waktu optimum untuk mencapai kemasakan bagi setiap sampel berbeda-beda untuk perlakuan suhu minyak dan kadar air awal yang berbeda. (5). Bahan makanan sampel yang telah masak diangkat dari tempat penggorengan dan dianalisa lebih lanjut.

Pembuatan kurva standar HMF. (1). Sebanyak 50 μ L 5-Hydroxymethyl-2-Furfural (HMF) dimasukkan ke dalam labu ukur, (2). 50 μ L HMF tersebut diencerkan secara bertahap hingga mencapai 1.250.000 kali, (3). Larutan HMF yang telah diencerkan tersebut *discanning* dengan Spektrofotometer UV-Visible-1601 untuk mendapatkan panjang gelombang (λ) maksimal, dari pengukuran ini didapatkan gelombang (λ) = 181,5 nm, (4). Dari larutan HMF yang telah diencerkan, kemudian diambil masing-masing dengan volume 100 μ L , 200 μ L , 300 μ L , 400 μ L dan 500 μ L masing-masing diencerkan dalam labu takar hingga mencapai volume 5 mL, (5). Masing-masing larutan dimasukkan ke dalam tabung reaksi kemudian *divortex*, selanjutnya masing-masing larutan ditera dengan Spektrofotometer UV-Visible -1601 pada λ = 181,5 nm. (6). Hasil pengukuran dibuat grafik standar 5-Hydroxymethyl-2-Furfural (HMF)

Analisa kadar HMF pada bahan sampel. (1). Bahan makanan berpati (jagung) masak goreng optimum dihancurkan/digiling dengan blender, (2). Tepung jagung goreng ditimbang seberat 1 gr sebagai sampel, sampel dimasukkan dalam tabung reaksi, (3). Ethanol absolut dengan volume 10 mL ditambahkan ke dalam sampel yang terdapat dalam tabung reaksi, kemudian *divortex* selama 15 menit, (4). Sampel kemudian disentrifuge dengan kecepatan 2500 rpm selama 25 menit (5). Supernatan dipindahkan ke dalam erlenmeyer, (6). Padatan yang masih tertinggal dalam tabung rekasi diekstraksi lagi dengan menambah 10 mL, kemudian *divortex* selama 15 menit dan selanjutnya disentrifuge dengan kecepatan 2500 rpm selama 25 menit, (7). Supernatan yang dihasilkan diambil dan

ditambahkan ke dalam erlenmeyer yang diperoleh pada langkah ke-5, (8). Supernatan diambil 1 mL dan diencerkan secara bertahap sampai 1.000.000 kali, (9). Supernatan yang telah diencerkan tersebut kemudian ditera dengan Spektrofotometer UV-Visible-1601 pada $\lambda = 181,5 \text{ nm}$, (10). Langkah (1) sampai (9) diulang untuk sampel-sampel dengan perlakuan yang lainnya. (11). Kadar HMF dari seluruh sampel untuk masing-masing perlakuan dihitung dengan data yang diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan kurva standar yang dihasilkan pada tahap sebelumnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Jagung merupakan salah satu contoh bahan makanan berpati. Varitas jagung yang digunakan sebagai sampel dalam penelitian ini adalah Bisma mewakili jagung dengan kadar amilosa tinggi (*high amylosa*) dan varitas Ketan mewakili jagung dengan kadar amilopektin tinggi (*high amilopectin*). Hasil analisa kadar pati dan kadar amilosa terhadap kedua varitas jagung tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kadar pati dan kadar amilosa jagung sampel

No	Varitas jagung	Kadar pati (%)	Kadar amilosa (%)
1	Bisma (<i>non waxy corn</i>)	72,78	19,58
2	Ketan (<i>waxy corn</i>)	55,20	6,27

Kedua varitas jagung tersebut kemudian dicampur untuk menghasilkan jagung campuran dengan nisbah amilosa dan amilopektin yang berbeda-beda. Hasil analisa kadar pati dan kadar amilosa dari masing-masing nisbah campuran Bisma dengan Ketan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kadar pati dan kadar amilosa jagung campuran varitas Bisma dan varitas ketan

No	Nisbah campuran jagung (Bisma : Ketan)	Kadar pati (%)	Kadar amilosa (%)
1	(100 % : 0 %)	72,78	19,58
2	(75 % : 25 %)	66,54	16,34
3	(50 % : 50 %)	62,84	13,26
4	(25 % : 75 %)	58,45	9,75
5	(0 % : 100 %)	55,20	6,27

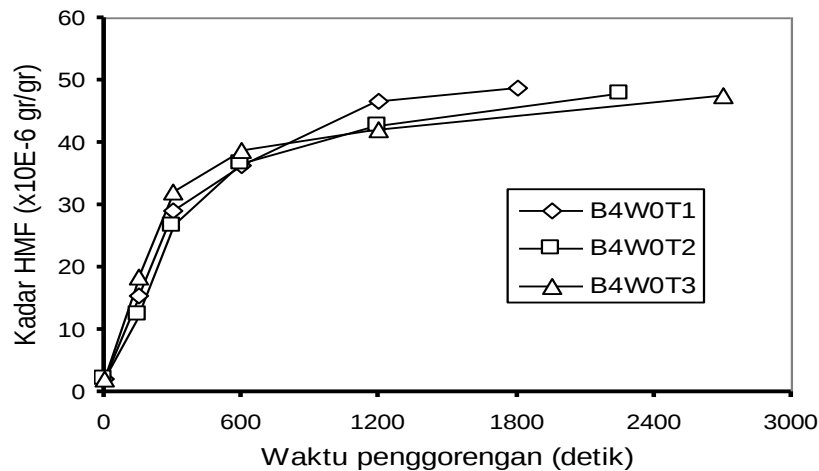
Tabel 1 menunjukkan bahwa jagung Bisma mempunyai kandungan amilosa yang lebih tinggi dibandingkan dengan jagung Ketan. Oleh karena itu jagung Bisma dapat dikategorikan sebagai bahan makanan berpati dengan kadar amilosa tinggi (*high amylosa*) dan jagung Ketan dikategorikan sebagai bahan makanan berpati dengan kadar amilopektin tinggi (*high amilopectin*). Pencampuran kedua jenis jagung tersebut secara

proporsional dapat menaikkan atau menurunkan kadar amilosa – amilopektin pada jagung campuran yang dihasilkan, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2. Perbedaan kadar amilosa – amilopektin pada masing-masing bahan berpati dapat memberikan perbedaan sifat-sifat fisik dan kimianya.

Jagung dikategorikan sebagai bahan makanan sumber pati, sehingga apabila jagung diproses dengan perlakuan panas pada suhu tinggi seperti proses penggorengan akan terjadi reaksi karamelisasi. Reaksi karamelisasi tersebut ditandai dengan adanya proses pencoklatan, yang dikategorikan dengan proses pencoklatan non-enzymatis. Jagung juga memiliki kandungan protein, untuk berbagai varitas jagung memiliki kandungan protein berkisar 5,7 – 9,7 % (International Starch Institute, 2005). Keberadaan protein tersebut memungkinkan bahwa pada saat penggorengan jagung juga terjadi reaksi pencoklatan non enzymatis karena adanya reaksi Maillard, yaitu reaksi-reaksi antara karbohidrat khususnya gula reduksi dengan gugus amino primer. Oleh karena itu warna coklat pada jagung masak goreng ditimbulkan oleh reaksi Karamelisasi dan Maillard yang berlangsung secara simultan selama berlangsungnya proses penggorengan.

Reaksi karamelisasi dan maillard yang terjadi secara simultan pada jagung selama proses penggorengan dapat menghasilkan senyawa 5-(Hydroxymethyl)-2-Furaldehid (5-(Hydroxymethyl)-2-Furfural / HMF / Furfural). Pembentukan HMF adalah hasil akhir karamelisasi heksosa pada kisaran pH 6,0 – 6,7 yang sekaligus sebagai prekursor pigmen coklat (Tranggono & Sutardi, 1990 ; Boa, 2006). Hasil pengukuran perubahan kadar HMF pada jagung selama penggorengan ditunjukkan pada Gambar 2.

Peningkatan kadar HMF dialami oleh bahan makanan berpati (jagung) selama penggorengan (Gambar 2), sebagaimana terjadi pada bahan makanan yang lain seperti yang telah diteliti oleh (Mancilla-Margalli dan Lopez, 2002). Gambar 2 memperlihatkan bahwa kadar HMF mengalami peningkatan yang cukup tajam pada awal proses penggorengan, akan tetapi menjelang akhir proses penggorengan menunjukkan bahwa kadar HMF pada bahan makanan tidak menunjukkan adanya perubahan. Secara keseluruhan menunjukkan bahwa grafik riwayat kadar HMF selama proses penggorengan diawali dengan peningkatan yang cukup tajam pada awal proses penggorengan. akan tetapi mendekati asimtotis pada akhir proses penggorengan.



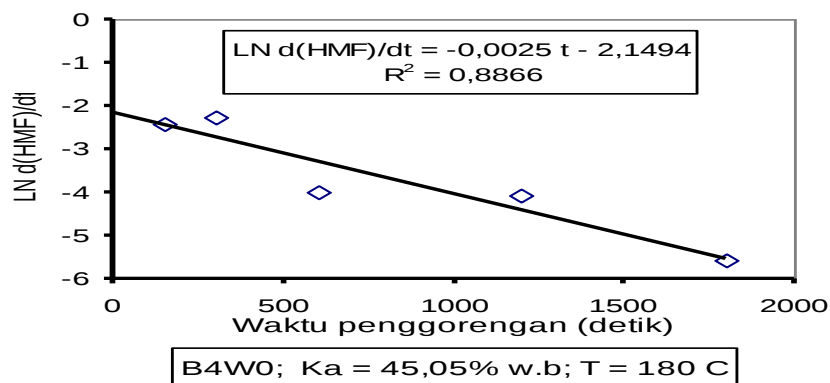
Gambar 2 Grafik riwayat perubahan kadar 5-(Hydroxymethyl)-2-Furfural (HMF) bahan makanan berpati selama penggorengan (B4W0 = komposisi campuran tepung jagung varitas Bisma (100%) dengan varitas Ketan (0%); $T_{1,2,3}$ = variasi suhu minyak goreng : 180°, 160° dan 140°C)

Pada Gambar 2 juga dapat dilihat bahwa perbedaan suhu minyak goreng memberikan kurva riwayat HMF yang berbeda, pada suhu tertinggi (180°C) peningkatan kadar HMF paling cepat dibandingkan dengan dua perlakuan suhu minyak goreng yang lain (160°C dan 140°C). Sehingga dapat dinyatakan bahwa pembentukan senyawa HMF dipercepat dengan peningkatan suhu pemanasan bahan. Pada proses penggorengan bahan makanan berpati (jagung) yang berbentuk adonan basah seperti yang dilakukan pada penelitian ini, perlakuan suhu minyak goreng yang terlalu tinggi tidak menguntungkan karena dapat menghasilkan pemasakan yang tidak merata antara bagian permukaan dan dalam bahan. Akibat yang ditimbulkan adalah bagian permukaan bahan sudah lewat masak (gosong) yang terasa pahit sedangkan bagian dalam bahan belum masak sempurna.

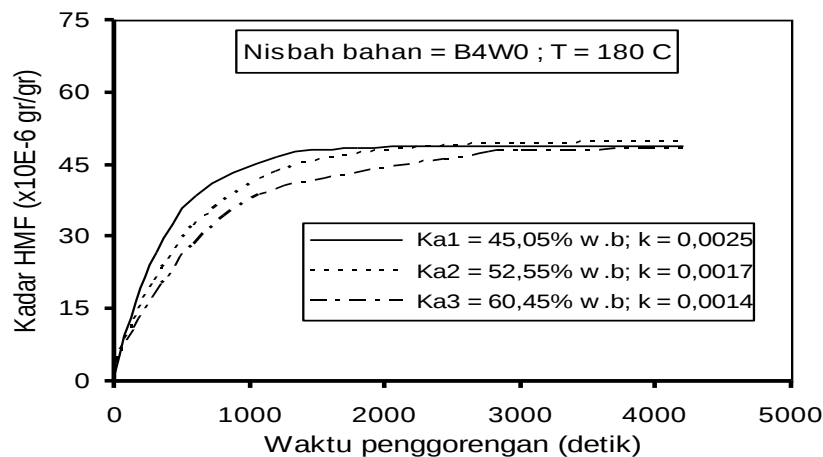
Grafik riwayat kadar HMF bahan makanan berpati (Gambar 2) menunjukkan kecenderungan kurva garis eksponensial yang asimtotis, keadaan tersebut

sesuai dengan persamaan (7). Nilai k_f pada persamaan tersebut adalah konstante laju perubahan kadar HMF selama penggorengan. Nilai k_f diperoleh dengan cara membuat grafik lurus $d(\text{HMF})/dt$ versus t (waktu penggorengan), k_f adalah angka kemiringan kurva. Grafik garis lurus untuk mendapatkan nilai k_f sampel B4W0T1 pada Gambar 2 adalah dilukiskan pada Gambar 3, dari grafik tersebut diperoleh nilai $k_f = 0,0025$.

Grafik riwayat kadar HMF bahan makanan berpati (Gambar 2) menunjukkan kecenderungan kurva garis eksponensial yang asimtotis, keadaan tersebut sesuai dengan persamaan (7). Nilai k_f pada persamaan tersebut adalah konstante laju perubahan kadar HMF selama penggorengan. Nilai k_f diperoleh dengan cara membuat grafik lurus $d(\text{HMF})/dt$ versus t (waktu penggorengan), k_f adalah angka kemiringan kurva. Grafik garis lurus untuk mendapatkan nilai k_f sampel B4W0T1 pada Gambar 2 adalah dilukiskan pada Gambar 3, dari grafik tersebut diperoleh nilai $k_f = 0,0025$.



Gambar 3 Grafik kurva garis lurus LN $d(\text{HMF})/dt$ vs waktu penggorengan, k_f adalah angka kemiringan kurva. Bahan yang digoreng adalah B4W0; kadar air awal (K_a) = 45,05%; Suhu minyak (T) = 180°C.



Gambar 4. Grafik prediksi perubahan kadar HMF bahan makanan sumber pati selama penggorengan. Bahan yang digoreng adalah B4W0; Suhu minyak (T) = 180°C . kadar air awal bahan ($Ka1$) = 45,05%; $Ka2$ = 52,55% dan $Ka3$ = 60,45%.

Dengan cara penggambaran grafik yang sama dapat diperoleh nilai k_f untuk sampel $B_4W_0T_2$ dan $B_4W_0T_3$ berdasarkan data pada Gambar 2 masing-masing adalah 0,0020 dan 0,0015. Berdasarkan pada persamaan (7), maka dapat diturunkan persamaan kinetika perubahan kadar HMF untuk sampel $B_4W_0T_1$, $B_4W_0T_2$ dan $B_4W_0T_3$ sesuai dengan data pada Gambar 2 adalah sebagai berikut :

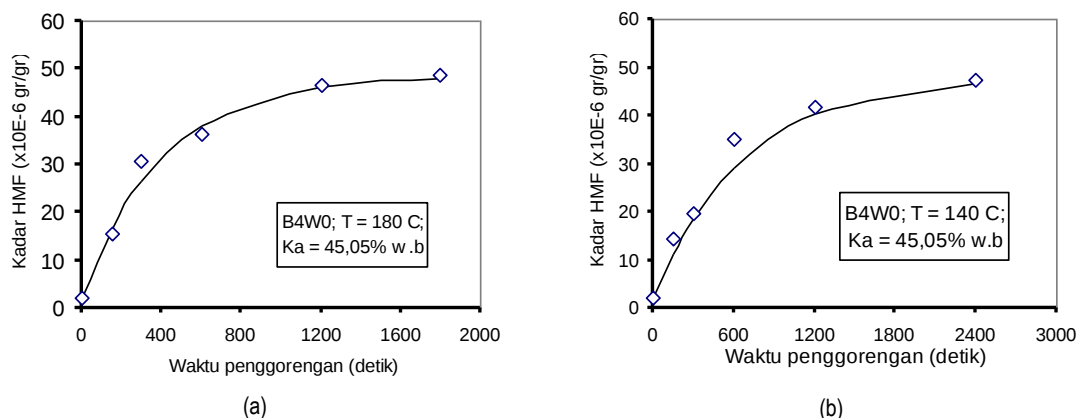
$$C_{HMF} = 48,90773 - 46,89282 e^{-0,0025 t}; (B_4W_0, Ka = 45,05 \%, T = 180^\circ\text{C}) \dots\dots\dots (11)$$

$$C_{HMF} = 47,54031 - 45,42707 e^{-0,0020 t}; (B_4W_0, Ka = 45,05 \%, T = 160^\circ\text{C}) \dots\dots\dots (12)$$

$$C_{HMF} = 47,79855 - 45,59008 e^{-0,0016 t}; (B_4W_0, Ka = 45,05 \%, T = 140^\circ\text{C}) \dots\dots\dots (13)$$

Besarnya nilai A , B dan k_f pada persamaan (7) tergantung pada nisbah campuran amilosa dan amilopektin bahan makanan, kadar air awal bahan dan suhu minyak goreng. Persamaan-persamaan (11 – 13) dapat digunakan untuk memprediksi kadar HMF bahan makanan berpati (jagung) selama penggorengan apabila kondisi-kondisi nisbah campuran amilosa dan amilopektin, kadar air awal dan suhu minyak goreng sama dengan kondisi yang digunakan dalam penelitian ini. Apabila suhu minyak goreng berbeda meskipun

kondisi nisbah campuran bahan makanan dan kadar air awal sama, memberikan kurva kadar HMF prediksi yang berbeda seperti dilukiskan pada Gambar 4. Lebih lanjut dapat dinyatakan bahwa kualitas akhir produk goreng makanan berpati dapat dikendalikan agar tidak menimbulkan rasa pahit yang berlebihan karena terbentuknya senyawa 5-(Hydroxymethyl)-2-Furfural (HMF), yaitu dengan cara mengendalikan nisbah amilosa – amilopektin, kadar air awal dan suhu minyak goreng.



Gambar 5 Kadar HMF observasi (o) dan simulasi (—) bahan makanan berpati selama penggorengan, (a). Nisbah campuran = B_4W_0 , $T = 180^\circ\text{C}$, $Ka = 45,05\%$; (b). Nisbah campuran = B_0W_4 , $T = 140^\circ\text{C}$, $Ka = 45,05\%$.

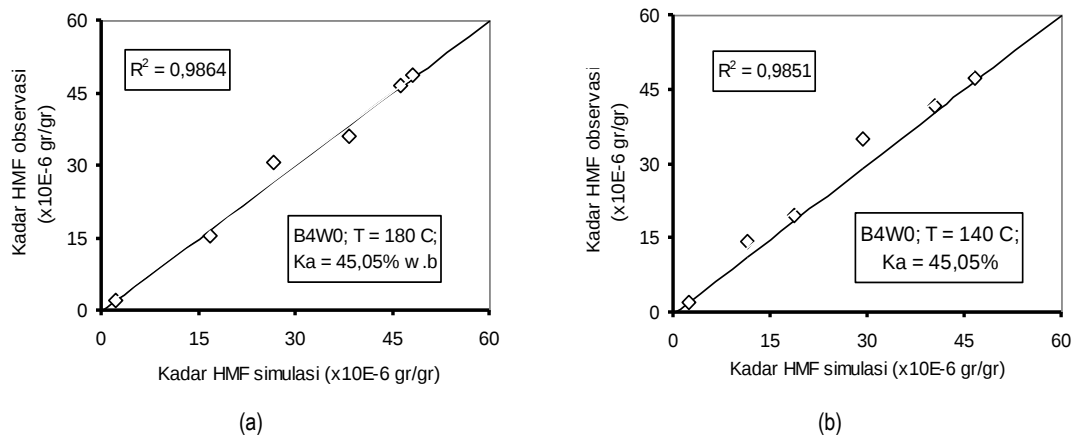
Kesahihan data perubahan kadar HMF prediksi hasil simulasi dengan model matematik dapat dilihat dengan cara grafik maupun statistik. Cara grafik dibuat untuk melihat tingkat penyimpangan data hasil simulasi terhadap data hasil observasi, seperti dicontohkan dengan grafik pada Gambar 5. Pada gambar 5 terlihat bahwa seluruh data hasil observasi berada di dekat/sekitar garis simulasi, hal tersebut menunjukkan bahwa model matematik kinetika perubahan kadar HMF yang diwakili oleh persamaan (11 dan 13) valid untuk memprediksi perubahan kadar HMF bahan makanan berpati (jagung) selama proses penggorengan.

Kesahihan data simulasi terhadap data observasi juga dapat ditunjukkan secara statistik dengan melihat besarnya nilai koefisien determinasi (R^2), model dikatakan valid apabila dapat menghasilkan data simulasi dengan nilai $R^2 > 0,75$ (Edwards, 1976). Sampel dengan nisbah campuran B_4W_0 dengan kadar air awal 45,05% w.b. yang digoreng dengan minyak pada suhu 180°C dapat diprediksi perubahan kadar HMFnya dengan menghasilkan data simulasi yang mempunyai nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,9864$ ($R^2 > 0,75$) dan sampel dengan nisbah campuran B_4W_0 dengan kadar air awal 45,05% w.b. yang digoreng dengan minyak pada suhu 140°C menghasilkan data simulasi yang mempunyai nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,9851$ ($R^2 > 0,75$), kedua contoh tersebut dilukiskan pada Gambar 6.

Riwayat pembentukan senyawa HMF pada bahan makanan berpati (jagung) selama penggorengan juga

dipengaruhi oleh kadar air awal bahan, seperti diperlihatkan pada Gambar 7. Hal tersebut dapat dipahami karena kadar air awal bahan akan mempengaruhi kecepatan proses pemanasan bahan, sedangkan proses karamelisasi sebagai reaksi pembentukan HMF sangat dikendalikan oleh proses pemanasan. Secara visual dapat dilihat bahwa penggorengan bahan dengan kadar air awal yang lebih rendah lebih cepat masak dibandingkan dengan bahan berkadar air awal lebih tinggi. Setiap bahan makanan berpati dengan kadar amilosa – amilopektin tertentu yang digoreng pada suhu yang sama, akan tetapi diberi perlakuan kadar air awal yang berbeda memberikan nilai konstante laju perubahan kadar HMF (k_f) yang berbeda-beda. Pengaruh besarnya kadar air awal bahan terhadap riwayat perubahan kadar HMF secara matematis dinyatakan pada persamaan-persamaan (14 - 16).

Bahan makanan berpati yang diberi perlakuan variasi nisbah campuran amilosa – amilopektin meskipun diberi perlakuan kadar air awal dan digoreng pada suhu yang sama memberikan nilai konstante laju perubahan kadar HMF (k_f) yang berbeda-beda. Bahan makanan berpati (jagung) dengan kadar amilosa lebih tinggi memberikan nilai k_f yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan yang memiliki kadar amilosa lebih rendah, secara grafis keadaan tersebut diuraikan pada Gambar 8 dan secara matematis dinyatakan pada persamaan (17–21).

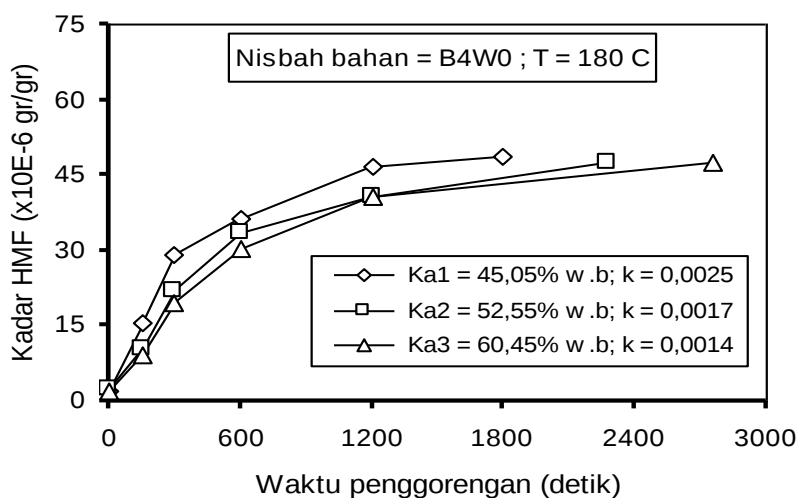


Gambar 6 Grafik observasi dan simulasi kadar HMF bahan makanan sumber pati selama penggorengan, (a). Nisbah campuran = B_4W_0 , $T = 180^\circ\text{C}$, $Ka = 45,05\%$; (b). Nisbah campuran = B_4W_0 , $T = 140^\circ\text{C}$, $Ka = 45,05\%$.

$$C_{\text{HMF}} = 48,90773 - 46,89282 e^{-0,0025 t} ; (B_4W_0, Ka = 45,05 \%, T = 180^\circ\text{C}) \dots\dots\dots (14)$$

$$C_{\text{HMF}} = 48,34778 - 46,23453 e^{-0,0017 t} ; (B_4W_0, Ka = 52,55 \%, T = 180^\circ\text{C}) \dots\dots\dots (15)$$

$$C_{\text{HMF}} = 48,43365 - 46,28801 e^{-0,0014 t} ; (B_4W_0, Ka = 60,45 \%, T = 180^\circ\text{C}) \dots\dots\dots (16)$$



Gambar 7 Grafik riwayat perubahan kadar HMF bahan makanan sumber pati dengan variasi kadar air awal selama penggorengan, (BW = komposisi campuran tepung jagung varitas Bisma dengan Ketan ; B₄W₀ = 100% : 0%, Ka = kadar air, Ka₁ = 45,05, Ka₂ = 52,55% ; Ka₂ = 52,55%; T = suhu minyak goreng = 180°C);

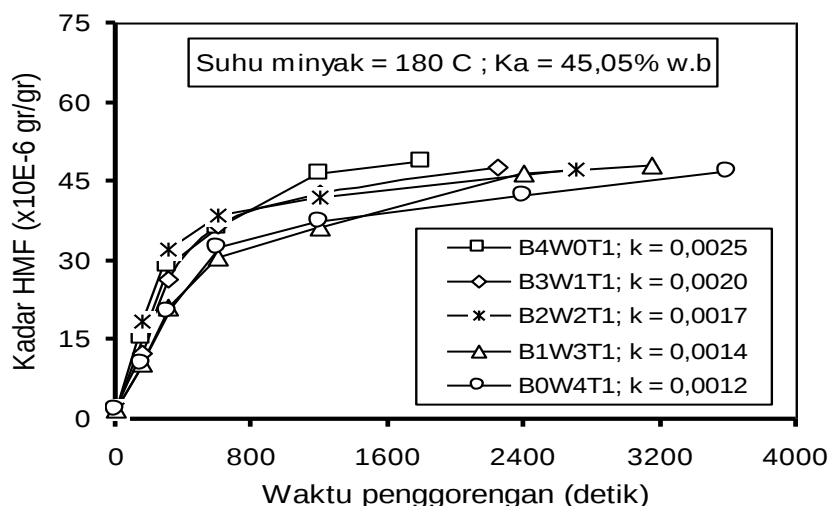
$$C_{HMF} = 48,90773 - 46,89282 e^{-0,0025 t}; (B_4W_0, Ka = 45,05 \%, T = 180^\circ C) \dots\dots\dots (17)$$

$$C_{HMF} = 47,52133 - 45,40890 e^{-0,0020 t}; (B_3W_1, Ka = 45,05 \%, T = 180^\circ C) \dots\dots\dots (18)$$

$$C_{HMF} = 48,59872 - 46,57328 e^{-0,0017 t}; (B_2W_2, Ka = 45,05 \%, T = 180^\circ C) \dots\dots\dots (19)$$

$$C_{HMF} = 48,24839 - 46,37141 e^{-0,0014 t}; (B_1W_3, Ka = 45,05 \%, T = 180^\circ C) \dots\dots\dots (20)$$

$$C_{HMF} = 48,72617 - 46,84919 e^{-0,0012 t}; (B_0W_4, Ka = 45,05 \%, T = 180^\circ C) \dots\dots\dots (21)$$

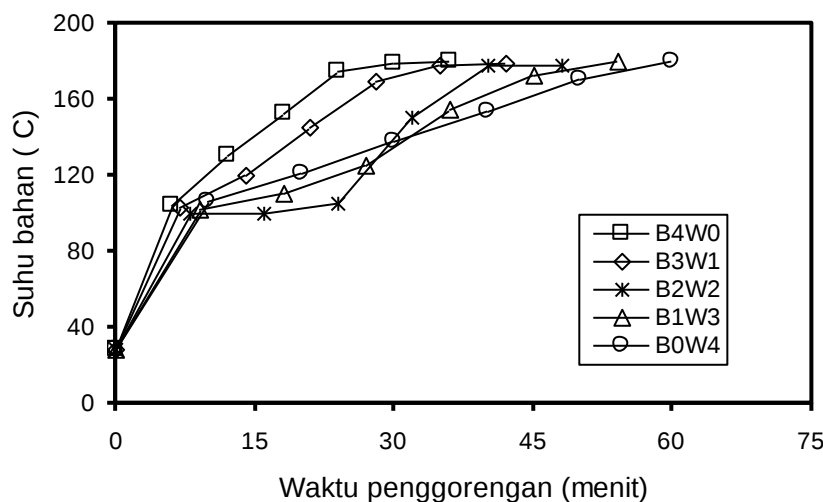


Gambar 8 Grafik riwayat perubahan kadar HMF bahan makanan sumber pati dengan variasi nisbah amilosa : amilopektin selama proses penggorengan. (BW = komposisi campuran tepung jagung varitas Bisma dengan Ketan ; B₄W₀ = 100% : 0%, B₃W₁ = 75% : 25%, B₂W₂ = 50% : 50%, B₁W₃ = 25% : 75%, B₀W₄ = 0% : 100%; Ka = 45,05% (dianggap sama) dan T dijaga konstan pada 180°C.

Perbedaan nilai konstante laju perubahan kadar HMF (k_f) bahan makanan berpati (jagung) yang mendapat perlakuan variasi perbedaan nisbah campuran amilosa – amilopektin tersebut ada hubungannya dengan perilaku kenaikan suhu bahan selama penggorengan. Bahan dengan kadar amilosa tertinggi (amilopektin terendah) (kode sampel : B₄W₀) mengalami kenaikan suhu yang paling cepat dan sebaliknya bahan dengan kadar amilosa terendah (amilopektin tertinggi) (kode sampel : B₀W₄) mengalami kenaikan suhu yang paling lambat, seperti ditunjukkan pada Gambar 9. Perilaku kenaikan suhu bahan selama penggorengan (pemanasan) tergantung pada sifat-sifat termis bahan tersebut yaitu konduktifitas bahan (k) dan panas jenis bahan (C_p), sifat-sifat termis bahan makanan berpati tergantung dari sifat fisik bahan yaitu kandungan fraksi amilosa – amilopektin.

Perbedaan nilai konduktifitas (k) dan panas jenis (C_p) bahan makanan berpati memberikan nilai konstante laju perubahan kadar HMF (k_f) yang berbeda.

Bahan makanan berpati dengan nilai (k_f) yang berbeda membutuhkan waktu yang berbeda untuk mencapai pemasakan bahan yang optimum sesuai penilaian panelis. Bahan dengan kadar amilosa tertinggi (amilopektin terendah) membutuhkan waktu pemasakan tercepat dan sebaliknya bahan dengan kadar amilosa terendah (amilopektin tertinggi) membutuhkan waktu pemasakan yang paling lama, seperti yang tertera pada Tabel 3. Waktu pemasakan optimum bahan makanan berpati (jagung) dalam proses penggorengan berkaitan dengan cita rasa bahan. Proses penggorengan yang tidak terkendali dapat menghasilkan senyawa 5-(Hydroxymethyl)-2-Furfural (HMF) yang berlebihan, kelebihan kadar HMF pada bahan menyebabkan timbulnya cita rasa yang tidak disukai konsumen yaitu rasa pahit.



Gambar 9 Grafik riwayat suhu observasi bahan makanan sumber pati selama penggorengan (BW = komposisi campuran tepung jagung varitas Bisma dengan Ketan ; B₄W₀ = 100% : 0%, B₃W₁ = 75% : 25%, B₂W₂ = 50% : 50%, B₁W₃ = 25% : 75%, B₀W₄ = 0% : 100%), suhu minyak dikendalikan pada 180°C.

Tabel 3. Waktu pemasakan optimum bahan makanan berpati (jagung) pada penggorengan dengan suhu minyak 180°C dan kadar air awal 45,05%.

Variasi nisbah Amilosa – Amilopektin	Waktu pemasakan optimum
B ₄ W ₀ (Bisma 100% : Ketan 0%)	36 menit
B ₃ W ₁ (Bisma 75% : Ketan 25%)	42 menit
B ₂ W ₂ (Bisma 50% : Ketan 50%)	48 menit
B ₁ W ₃ (Bisma 25% : Ketan 75%)	54 menit
B ₀ W ₄ (Bisma 0% : Ketan 100%)	60 menit

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Perubahan kadar 5-(Hydroxymethyl)-2-Furfural (HMF) pada makanan berpati selama penggorengan dapat dimodelkan matematis dengan model kinetika reaksi.

Kadar 5-(Hydroxymethyl)-2-Furfural (HMF) pada makanan berpati selama penggorengan dan waktu pemasakan bahan yang optimum dapat diprediksi dengan model matematis.

Model matematis perubahan kadar 5-(Hydroxymethyl)-2-Furfural (HMF) pada makanan berpati selama penggorengan terbukti hasilnya valid, karena nilai koefisien determinasi (R^2) untuk semua perlakuan dalam penelitian ini lebih besar dari 0,75.

Saran

Penelitian tentang kinetika perubahan senyawa kimia pada bahan makanan berpati (jagung) perlu dilakukan terhadap senyawa-senyawa yang lain selain 5-(Hydroxymethyl)-2-Furfural (HMF), karena masih banyak senyawa-senyawa lain yang terbentuk pada reaksi maillard maupun karamelisasi yang berhubungan dengan kualitas akhir produk hasil penggorengan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada pihak pihak yang membantu membiayai sebagian penelitian ini, yaitu : Dirjen Dikti Depdiknas melalui program BPPS, Departemen Agama melalui Bantuan Biaya Pendidikan bagi tenaga pengajar Perguruan Tinggi Agama Islam Swasta dan Yayasan Pendidikan Islam "45" Bekasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Boa, A.N. (2001). *The Chemistry of Food, Lecture 3, Chemistry in Context*; 0625/06529/06076; [http : //www.hull.ac.uk/php/Chsamb/Food3.pdf](http://www.hull.ac.uk/php/Chsamb/Food3.pdf). diakses pada tanggal 20 Januari 2006.
- Boskau, D dan Elmadfa, I. (1999). *Frying of Food*. Technomic Publishing Company, INC. Lancaster, Pennsylvania, U.S.A.
- Dogra, S.K. dan Dogra, S. (1990). *Kimia Fisik dan Soal Soal*. (terjemah). Penerbit Universitas Indonesia. Jakarta.
- Edwards, A.L., 1976. *an Introduction to Linier regression on Correlation For India*, National Seed Corporation, New delhi.
- Eichner, K and Wolf, W. (1982) *Maillard Reaction Products as Indicator Compounds for Optimizing Drying and Storage Conditions*. In Wallr, G.R and Feather, M.S. (1983). *The Maillard Reaction in Foods and Nutrition*. Acs Symposium Series 215. merican Chemical Society. Washington D.C.
- Farkas, B. E., Singh, R. P. dan Rumsey, T. (1996). *Modelling Heat and Mass Transfer in Immersion Frying. I. Model Development*. Journal of Food Engineering, 29 : 211-226
- Heldman, D.R. and Singh. (1981). *Food Process Engineering*. Second edition. THE AVI Publishing Co. Inc. Westport, C.T.
- International Starch Institute (2005). *Maize (Corn)*. <http://www.starch.dk/isi/starch/maize.htm> , diakses pada 1/12/2005.
- Labuza, T.P. dan Riboh, D. (1982). *Theory and Application of Arrhenius Kinetics to the Prediction of Nutrient Losses in Foods*. Food Technology. Oktober 1982. 66-74.
- Mancilla-Margalli, N.A dan Lopez, M.G. (2002). *Generation of Maillard Compounds from Inulin during the Thermal Processing of Agave tequilana Weber Var. azul*. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 50 : 806 – 812.
- Marques, G. dan Anon, M.C. (1986). *Influence of Reducing Sugars and amino Acids in the Color development of Fried Potatoes*. Journal of Food Science. 51 (1) : 157 - 160
- Marsono, Y. (1998). *Resistant Starch : Pembentukan, Metabolisme dan Aspek Gizinya*. Agritech, 18(4) : 29-35
- Marsono, Y. (2006). *Diskusi lisan, tidak dipublikasikan*. Guru Besar pada Program Studi Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Moyano, P.C., Riosco, V.K. dan Gonzalez, P.A. *Kinetics of Crust Color Changes During Deep-Fat Frying of Impregnated French Fries*. . Journal of Food Engineering, 54, 249 – 255.
- Roe, M.A. dan Faulks, R.M. (1991). *Color Development in a Model system During frying : Role of Individual amino Acids and Sugars*. Journal of Food Science. 56 (60) : 1711 - 1713
- Sajilata, M.G., Singhal, R.S. dan Kulkarni, P.R. (2006). *Resistant Starch – A Review*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. Volume 5 : 1-17.
- Tranggono dan Sutardi. (1989). *Biokimia dan teknologi Pasca Panen*. Pusat Antar Universitas – Pangan dan Gizi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Van Boekel, M.J.S. 1996. *Statistical Aspects of Kinetic Modeling for Food Changes, New Approaches*. Ellins Horwood Ltd., Chrichester, England.

Winarno, F.G. 1992. *Kimia Pangan dan Gizi*. PT Gramedia, Jakarta.

Yamsaengsung, R. and Moreira, R. G. (2002). *Modelling The Transpot Phenomena and Structural Changes during Deep Fat Frying. Part I : Model Development*. Journal of Food Engineering, 53, 1-10

LAMBANG DAN SIMBOL

Lambang dan Simbul	Arti
A	= Kuntitas sebelum proses, satuan sesuai dengan kasus yang dikaji
B	= Kuntitas sebelum proses, satuan sesuai dengan kasus yang dikaji
BW	= Kode tepung jagung campuran varitas Bisma dengan varitas Ketan
B ₄ W ₀	= Nisbah campuran tepung jagung Bisma (100%) dengan Ketan (0%)
B ₃ W ₁	= Nisbah campuran tepung jagung Bisma (75%) dengan Ketan (25%)
B ₂ W ₂	= Nisbah campuran tepung jagung Bisma (50%) dengan Ketan (50%)
B ₁ W ₃	= Nisbah campuran tepung jagung Bisma (25%) dengan Ketan (75%)
B ₀ W ₄	= Nisbah campuran tepung jagung Bisma (0%) dengan Ketan (100%)
k	= konstante reaksi, tak berdimensi
k _f	= Konstante laju perubahan kadar HMF, tak berdimensi
P	= Kongsante kinetika perubahan kadar HMF, tak berdimensi
Q	= Kongsante kinetika perubahan kadar HMF, tak berdimensi
t ₁	= Waktu penggorengan pada saat t detik (detik)
t ₀	= Waktu pada saat awal penggorengan (detik)
X	= Kadar HMF (μ gr/gr)
X _m	= Kadar HMF maksimum pada saat t detik (μ gr/gr)
X ₀	= Kadar HMF pada saat t = 0 (μ gr/gr)
X _p (t)	= Kadar HMF pada detik yang ke t (μ gr/gr)
X _{HMF} (t)	= Kadar HMF pada saat t detik (μ gr/gr)