

Difusivitas Panas dan Umur Simpan Pempek Lenjer

Thermal Diffusivity and Shelf Life of Pempek Lenjer

Railia Karneta, Program Pasca Sarjana Universitas Sriwijaya dan Sekolah Tinggi Ilmu Pertanian
Sriwigama, Jl Demang IV Demang Lebar Daun Palembang 30137,
Email: railiakarneta@yahoo.com

Amin Rejo, Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya,
Jl Raya Palembang-Prabumulih Km 32 Indralaya Palembang 30662
Gatot Priyanto, Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya,
Jl Raya Palembang-Prabumulih Km 32 Indralaya Palembang 30662
Rindit Pambayun, Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya,
Jl Raya Palembang-Prabumulih Km 32 Indralaya Palembang 30662

Abstract

The objectives of this research were to study the effect of fish and flour formulation as well as centre point temperature on the thermal diffusivity and shelf life of pempek lenjer. The parameters observed were the temperature of pempek at several position: i.e. (r_0) = 0 cm, r_1 = 1 cm, r_2 = 2 cm, cooking time, change of textural value, total volatile nitrogen and total microbes of pempek during storage. Data temperature distribution was analyzed by using diffusivity at center point model, and random diffusivity models through computer program of Engineering Equation Solver (EES) Ver 8.91. The shelf life data was analyzed by using linear regression to determine the relationship between storage time and the measured variables which was followed by calculating using Arrhenius method to compare the decrease of pempek lenjer quality. The results showed that thermal diffusivity coefficient of pempek lenjer for formula 1 was in the range of 0.321 to 1.515 . 10⁻⁷ m²/s, for formula 2 was in the range of 0.297 to 1.389. 10⁻⁷ m²/s, for formula 3 was in the range of 0.378 to 1.471 . 10⁻⁷ m²/s and for formula 4 was in the range of 0.2778 to 1.620. 10⁻⁷ m²/s. The research results showed that longer storage time results in lower values of texture, but produced higher value of total volatile nitrogen and total microbes. The lowest E value from the measured variable was total microbes which can be used as the main parameter of deterioration for pempek lenjer during storage. The shelf life of pempek lenjer based on total microbes value was in the range of 27 to 33 hours

Keywords : thermal diffusivity, shelf life, pempek

Abstrak

Tujuan penelitian ini mempelajari pengaruh formula ikan dan tepung, serta suhu terhadap difusivitas panas dan umur simpan pempek lenjer. Variabel yang diukur adalah suhu sampel pempek pada titik pusat (r_0) = 0 cm, r_1 = 1 cm, r_2 = 2 cm, lama pemasakan pempek, perubahan nilai tekstur, total volatil nitrogen dan total mikroba selama penyimpanan. Data distribusi suhu dianalisis menggunakan model difusivitas panas pada titik sebarang, dan model difusivitas panas pada titik pusat dengan program computer *Engineering Equation Solver* (EES) Ver 8.91. Data umur simpan dianalisis menggunakan regresi linier untuk melihat hubungan antara lama penyimpanan dengan tekstur, total volatil nitrogen, dan total mikroba yang diukur, dan dilanjutkan dengan perhitungan cara Arrhenius untuk membandingkan penurunan mutu pempek lenjer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien difusivitas panas pempek lenjer pada formula 1 adalah interval 0,321 - 1,515. 10⁻⁷ m²/s, pada formula 2 adalah 0,297 – 1,389. 10⁻⁷ m²/s, pada formula 3 adalah 0,378 – 1,471. 10⁻⁷ m²/s, dan formula 4 adalah 0,2778 – 1,620. 10⁻⁷ m²/s. Semakin lama penyimpanan, tekstur semakin menurun, tetapi total volatil nitrogen dan total mikroba semakin meningkat. Nilai E_a terendah pada total mikroba, sehingga dapat dijadikan parameter kunci kerusakan pempek lenjer selama penyimpanan. Umur simpan pempek "lenjer" berdasarkan total mikroba selama 27 - 33 jam.

Kata kunci : difusivitas panas, umur simpan, pempek

Diterima: 17 Juni 2013; Disetujui: 26 September 2013

Pendahuluan

Pempek merupakan makanan tradisional khas Sumatera Selatan, yang dibuat dari daging ikan giling, tepung tapioka atau tepung sagu, air, garam, dan bumbu-bumbu sebagai penambah cita rasa. Tahapan pengolahan pempek terdiri dari penggilingan daging ikan, pencampuran bahan, pembentukan pempek, dan pemasakan (Karneta, 2010). Tahap pemasakan (perebusan) merupakan salah satu tahap penting, karena pada tahap ini terjadi difusivitas panas dan massa, juga terjadi reaksi fisikokimia seperti denaturasi protein dan gelatinisasi pati. Koefisien difusivitas panas bahan merupakan salah satu sifat panas yang dibutuhkan untuk menduga laju perubahan suhu bahan sehingga dapat ditentukan kebutuhan energi atau waktu optimum dalam proses pengolahan terutama bahan yang sensitif terhadap panas (Singhal *et al.*, 2008; Tastra *et al.*, 2006). Koefisien difusivitas panas yang tinggi menyebabkan semakin cepat terjadinya difusi panas di dalam bahan (Jain dan Pathare, 2007; Singhal *et al.*, 2008), sehingga semakin singkat waktu pemasakan. Menurut Olivera dan Salvadori (2008), data difusivitas panas selama proses pemasakan digunakan untuk mengetahui spesifikasi kondisi memasak, terutama dapat menemukan waktu dan temperatur yang tepat, yang menjamin keamanan dari sudut pandang mikrobiologi, tanpa kehilangan karakteristik gizi dan organoleptik makanan.

Masalah utama yang dihadapi oleh industri pempek di Sumatera Selatan adalah mutu produk yang tidak konsisten dan umur simpan yang rendah. Mutu pempek sangat tergantung dari formulasi bahan yang digunakan dan, difusivitas panas waktu pemasakan, yang akan mempengaruhi umur simpan pempek. Formulasi pempek yang terdiri dari perbandingan ikan dan tepung sangat mempengaruhi mutu pempek yang dihasilkan terutama warna, rasa, aroma, dan kekenyalannya. Penentuan koefisien dugaan difusivitas panas (α) pada bahan ada dua cara yaitu penentuan langsung nilai α secara numerik setelah diketahui data sebaran suhu T terhadap waktu t dan jarak dari pusat bahan r , dan secara tidak langsung, dimana difusivitas panas sebagai rasio dari nilai konduktivitas bahan terhadap panas jenis dan massa jenis (Abdullah, 1996)

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \tag{1}$$

Keterangan : α = difusivitas panas (m^2 /det), k = konduktivitas panas ($J/m \text{ } ^\circ C \text{ detik}$), ρ = massa jenis (kg/m^3), C_p = panas jenis ($J/kg \text{ } ^\circ C$)

Koefisien difusivitas panas penting diketahui, agar dapat ditentukan laju panas yang didifusikan masuk dalam bahan, sehingga dapat ditentukan suhu dan waktu pemasakan pempek yang optimum agar tidak terlalu banyak menghilangkan zat gizi dan

akhirnya dapat menghemat energi dan biaya. Waktu dan suhu yang tinggi pada perebusan pempek menyebabkan granula pati akan mengembang dan tidak akan mampu lagi menampung air, akibatnya granula pati akan pecah dan molekul amilosa dan amilopektin akan menyatu dengan fase air, dan pada proses pendinginan, air akan terpisah dari struktur gel pempek atau sinersis, sebaliknya waktu pemasakan yang singkat memungkinkan granula pati tidak tergelatinisasi secara sempurna. Terjadinya sinersis atau gelatinisasi tidak sempurna mempengaruhi umur simpan pempek. Tujuan penelitian adalah mempelajari pengaruh formula dan suhu terhadap difusivitas panas dan umur simpan pempek lenjer.

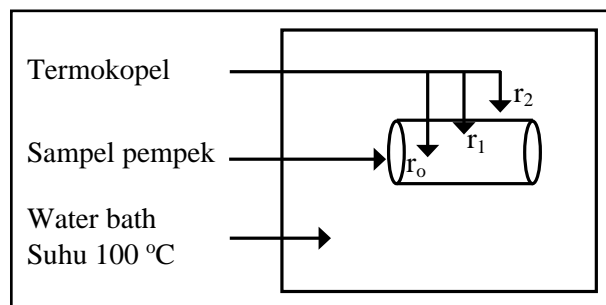
Bahan dan Metode

1. Penentuan koefisien difusivitas panas

Bahan yang digunakan adalah tepung tapioka, ikan gabus (*Ophicephallus striatus* Blkr), garam dapur, dan air es. Penelitian tahap pertama dilakukan penentuan koefisien difusivitas panas pada saat perebusan pempek dengan perlakuan 4 macam formula ikan dan tepung (F) dengan perbandingan : $F_1 = 1 : 0,5$; $F_2 = 1 : 1,0$; $F_3 = 1 : 1,5$; $F_4 = 1 : 2,0$ dan 5 macam perlakuan suhu pada titik pusat pempek (T) yaitu : $T_1 = 75 \text{ } ^\circ C$; $T_2 = 80 \text{ } ^\circ C$; $T_3 = 85 \text{ } ^\circ C$; $T_4 = 90 \text{ } ^\circ C$; $T_5 = 95 \text{ } ^\circ C$.

Cara kerja penelitian tahap pertama adalah sebagai berikut :

- a. Garam dapur dilarutkan dalam air es, lalu dicampurkan pada daging ikan, dan selanjutnya diuleni dengan tepung tapioka sampai kalis. Jumlah air yang digunakan mengikuti rumus : 75% total berat ikan dan tepung – (kadar air ikan x berat ikan) – (kadar air tepung x berat tepung), dan jumlah garam yang ditambahkan $2,5\%$ dari total berat ikan dan tepung.
- b. Adonan pempek dicetak berbentuk silinder (lenjer), selanjutnya direbus dalam water bath pada suhu $100 \text{ } ^\circ C$. Pengukuran suhu pada pempek dibuat jaringan termokopel type K yang dipasang pada wadah sampel di tiga titik pengukuran selama perebusan. Penggunaan jaringan tersebut untuk menjamin kedudukan



Gambar 1. Desain percobaan pengukuran distribusi suhu pada perebusan pempek.

pengukuran suhu sampel pada titik pusat (r_0) = 0 cm, titik tengah (r_1) = 1 cm, dan titik permukaan (r_2) = 2 cm. Desain percobaan dapat dilihat pada Gambar 1.

- c. Sampel yang telah mencapai suhu 75°C, 80°C, 85°C, 90°C, dan 95°C pada titik pusat, diangkat dan ditiriskan
- d. Model untuk menduga koefisien difusivitas panas pada titik sembarang (Crank, 1998) :

$$\alpha = \frac{(\Delta r)^2}{(\Delta t)} \left[\frac{r(T^t - T^i)}{(\Delta r + r)T_{r+1}^t - (\Delta r + 2r)T_r^t + r(T_{-1}^t)} \right] \quad (2)$$

Prediksi temperatur di titik sembarang adalah :

$$T_r^{t+1} = \alpha \cdot \Delta t \{ (\Delta r + r) \cdot T_{r+1}^t + r \cdot T_{r-1}^t - (\Delta r + 2r) T_r^t \} + T_r^t \quad (3)$$

Model untuk menduga koefisien difusivitas panas pada titik pusat (Crank, 1998)

$$\alpha = \frac{(\Delta r)^2}{(4\Delta t)} \left[\frac{(T_r^{t+1} - T_r^t)}{(T_r^{t+1} - T_r^t)} \right] \quad (4)$$

Prediksi temperatur di titik pusat pempek lenjer adalah :

$$T_r^{t+1} = T_r^t + \frac{(4 \cdot \alpha \cdot \Delta t)}{(\Delta r)^2} (T_{r+1}^t - T_r^t) \quad (5)$$

Keterangan : Δr = jarak antar titik pengukuran (cm), Δt = jarak waktu pengukuran (menit); T = temperatur (°C); r = indek jarak antar titik pengukuran atau jari-jari (cm) t = indek jarak antar waktu pengukuran suhu (menit); T_r^t = temperatur pada jari-jari r dan waktu t . Analisis data difusivitas dan prediksi temperatur menggunakan program computer *Engineering Equation Solver* (EES) Ver 8.91.

2. Penentuan umur simpan

Penelitian tahap kedua adalah pendugaan umur simpan pempek dengan metode konvensional atau ESS (*Extended Storage Studies*). Cara kerja penelitian tahap kedua adalah sebagai berikut :

- a. Pempek yang telah matang berdasarkan suhu perlakuan (75°C, 80°C, 85°C, 90°C, dan 95°C) disimpan pada suhu ruang (25 °C) dan kelembaban udara 75-80%.
- b. Pengamatan kerusakan pempek setiap 6 jam selama 48 jam melalui perubahan tekstur (kekenyalan), total volatil nitrogen, dan total mikroba.
- c. Pengukuran tekstur menggunakan *texture analyzer*, dengan carabrook tipe *blade* dipasang tepat diatas sampel, dan mengatur *speed* pada alat. *Brook* tipe *blade* akan menekan tepat di tengah sampel, dan angka *peak load* dan *final*

load (dalam satuan gram force) yang tertera pada display dicatat.

- d. Pengukuran total volatil nitrogen dengan metode titrasi (AOAC,1990), dengan cara sampel pempek sebanyak 100 g diblender dan ditambahkan 300ml TCA 5%. Ekstrak sampel sebanyak 5 ml didestilasi dan ditambahkan 5 ml NaOH 2M. Destilat yang didapat ditambah 15 ml HCl 0,01 M dan indikator merah fenol dan dititrasi dengan NaOH 0,01 M. Kadar total volatil nitrogen dihitung dengan rumus

$$\text{Total volatil nitrogen (mg/100g)} = \frac{14 (300 + W) (15 - V) \times 0,01}{5} \times \frac{100}{M} \quad (6)$$

Keterangan :

W = jumlah air yang ada dalam bahan

V = volume titran

M = berat bahan

- e. Pengukuran total mikroba dengan teknik agar tuang (Fardiaz, 1987), dengan cara sampel pempek sebanyak 10 g dihaluskan dalam *stomacher* dan dilarutkan dalam 90 ml larutan garam fisiologis steril, sehingga didapatkan pengenceran 10^{-1} . Larutan contoh dilakukan pengenceran 10^{-2} hingga 10^{-7} . Dari masing masing pengenceran dipipet 1 ml dimasukkan dalam cawan petri steril, setiap pengenceran dipindahkan dalam 2 cawan petri. Setiap cawan petri ditambahkan 15 ml media PCA dan cawan petri ditutup, lalu digoyang searah jarum jam agar media merata. Media yang telah ditanam dimasukkan dalam inkubator pada suhu 35 °C selama 48 jam. Jumlah mikroba hidup dihitung dengan mengalikan faktor pengenceran dengan jumlah koloni.
- f. Analisis umur simpan dengan metode *Extended Shelf Life Testing* (ESLT). Data hasil analisis produk (tekstur, total volatil nitrogen dan total mikroba) terhadap waktu, diplotkan dan dihitung persamaan regresi $Y = Y_0 + k_u$ Nilai k yang diperoleh diterapkan pada persamaan Arrhenius yaitu $k = k_0 \cdot e^{-E_a/RT}$ atau dalam bentuk logaritma $\ln k = \ln k_0 - \{E_a/R\} 1/T$. k merupakan konstanta penurunan mutu, k_0 merupakan konstanta (tidak tergantung pada suhu), E_a adalah energi aktivasi, T suhu mutlak (C+273), dan R adalah konstanta gas (1,986 kal/mol).
- g. Umur simpan dapat ditentukan langsung dengan persamaan ordo nol yaitu : $t = \frac{A - A_0}{k}$ atau persamaan ordo satu yaitu $t = \frac{\ln A - \ln A_0}{k}$.

A adalah konsentrasi pada titik batas kadaluarsa, A_0 adalah konsentrasi mula-mula (nilai awal) dari kriteria kadaluarsa, dan k adalah kecepatan perubahan kriteria tersebut selama penyimpanan. Parameter yang mempunyai nilai E_a terendah, merupakan parameter kunci kerusakan, dan dapat

mewakili parameter lain untuk memprediksi umur simpan. Untuk melihat pengaruh formula dan suhu terhadap umur simpan pempek menggunakan uji Tukey pada taraf 5% dan 1%.

Hasil dan Pembahasan

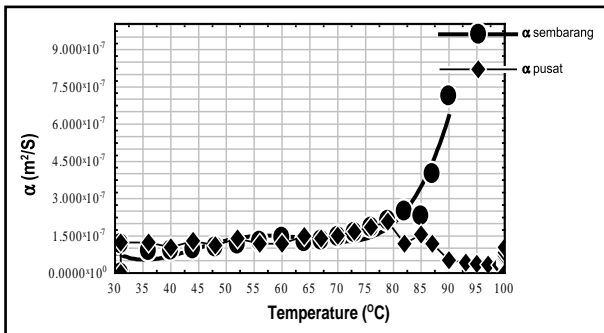
1. Difusivitas Panas Pempek Lenjer

Distribusi koefisien difusivitas panas formula 1 di titik pusat pempek lenjer cenderung naik pada tahap awal proses dan kemudian turun pada pertengahan hingga akhir proses, pada formula 2, 3 dan 4, cenderung turun dari awal hingga akhir proses. Grafik distribusi koefisien difusivitas panas pada titik pusat dan titik sembarang pada Gambar 2 [Grafik distribusi koefisien difusivitas panas]

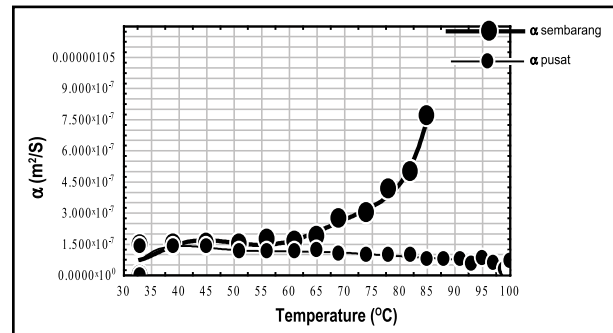
Semakin tinggi suhu, maka laju difusivitas panas semakin tinggi pada titik sembarang, tetapi semakin rendah pada titik pusat. Semakin tinggi formula ikan, menyebabkan laju difusivitas panas semakin rendah, demikian sebaliknya. Jumlah ikan yang tinggi pada formula 1, membutuhkan waktu pemasakan yang lebih lama karena suhu denaturasi pada ikan (> 70 °C) lebih tinggi dari suhu gelatinisasi tepung tapioka (64.5 °C), juga karena adanya lemak dan protein membentuk kompleks dengan amilosa, sehingga membentuk lapisan atau endapan pada permukaan yang dapat menghambat pengeluaran amilosa dari granula karena menghambat penyerapan air, sehingga diperlukan energi yang lebih besar untuk melepas amilosa dari kompleks protein dan

lemak. Formula 1, 2,3, dan 4, membutuhkan waktu perebusan berturut-turut 30, 27, 24 dan 23 menit, karena semakin besar koefisien difusivitas panas, maka semakin cepat energi panas yang didifusikan ke dalam bahan, sehingga pempek semakin cepat matang.

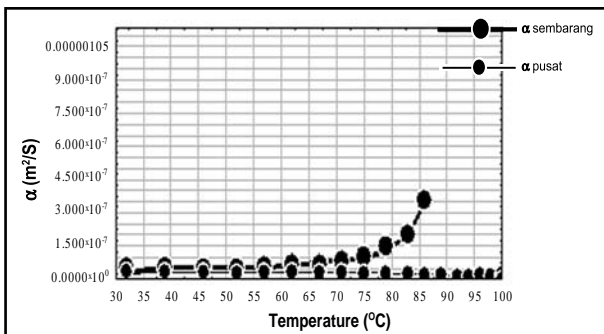
Koefisien difusivitas panas pempek lenjer pada awal perebusan lebih tinggi, karena tepung tapioka masih dalam bentuk granula pati, yang ketika dipanaskan dengan cepat air melakukan penetrasi ke dalam granula sehingga terjadi pengembangan. Pada fase ini koefisien konduktivitas panas masih tinggi sehingga pempek dengan cepat mampu menyerap panas yang berasal dari media air. Fase selanjutnya ketika terjadi gelatinisasi dan terbentuk gel pada lapisan paling luar dari pempek, menyebabkan panas jenis menurun. Saat terjadi gelatinisasi atau saat granula pecah, strukturnya menjadi rapat, sehingga koefisien difusivitas panas menjadi lebih kecil. Koefisien difusivitas panas di titik pusat pempek pada formula 1 adalah interval $0,321 - 1,215 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, pada formula 2 adalah $0,357 - 1,389 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, pada formula 3 adalah $0,378 - 1,471 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, dan formula 4 adalah $0,2778 - 1,620 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$. Penelitian Huang dan Mittal (1995), koefisien difusivitas selama perebusan bakso adalah $1,6 \text{ E}-07 \text{ m}^2/\text{s}$, koefisien difusivitas panas sosis type Lyoner interval $1,35 - 1,52 \text{ E}-07 \text{ m}^2/\text{s}$ (Markowski *et al.*,2004). Koefisien difusivitas beberapa makanan diatas serupa dengan koefisien difusivitas pada perebusan pempek, karena serupa komposisinya yaitu berupa protein dan pati.



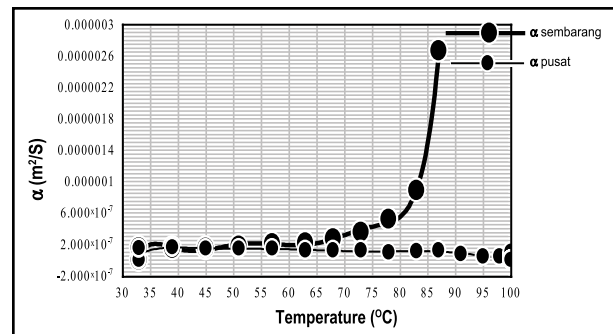
Formula 1



Formula 2



Formula 3



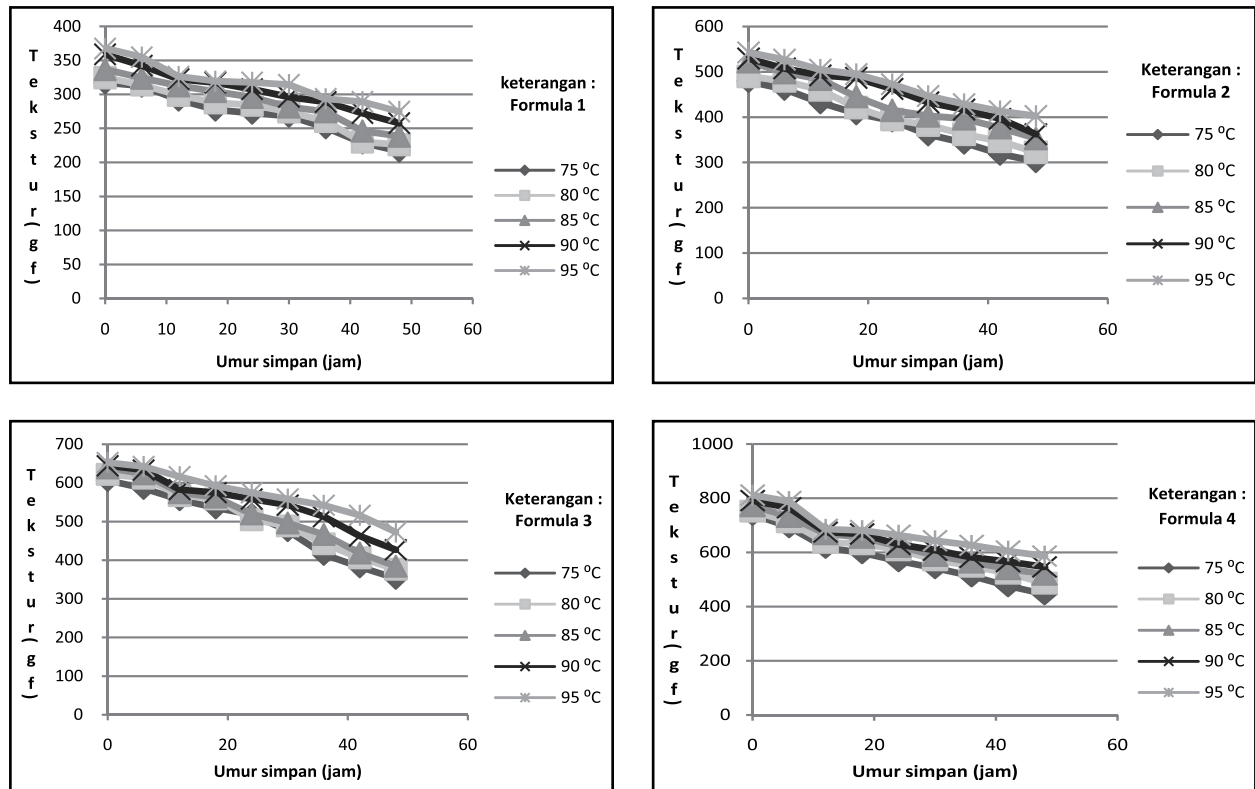
Formula 4

Gambar 2. Distribusi koefisien difusivitas panas pada titik pusat dan titik sembarang

Tabel 1. Model kinetika tekstur (kekenyalan) pempek lenjer mengikuti ordo nol

Perlakuan formula dan suhu	Model kinetika (ordo nol)	r ²	k	
Formula 1	75 °C	$T = -2,063 u + 320,2$	0,975	2,063
	80 °C	$T = -2,041 u + 326,8$	0,965	2,041
	85 °C	$T = -2,012 u + 338,7$	0,976	2,012
	90 °C	$T = -1,951 u + 353,8$	0,984	1,951
	95 °C	$T = -1,776 u + 360,0$	0,945	1,776
Formula 2	75 °C	$T = -3,785 u + 479,4$	0,996	3,785
	80 °C	$T = -3,620 u + 493,4$	0,985	3,620
	85 °C	$T = -3,506 u + 516,6$	0,974	3,506
	90 °C	$T = -3,355 u + 594,5$	0,982	3,355
	95 °C	$T = -3,064 u + 543,5$	0,993	3,064
Formula 3	75 °C	$T = -5,458 u + 623,0$	0,950	5,458
	80 °C	$T = -5,333 u + 636,8$	0,974	5,333
	85 °C	$T = -5,321 u + 648,2$	0,986	5,321
	90 °C	$T = -4,318 u + 652,2$	0,990	4,318
	95 °C	$T = -3,556 u + 659,5$	0,962	3,556
Formula 4	75 °C	$T = -5,822 u + 717,3$	0,981	5,822
	80 °C	$T = -5,417 u + 735,9$	0,974	5,190
	85 °C	$T = -5,097 u + 748,0$	0,970	5,181
	90 °C	$T = -5,056 u + 769,4$	0,977	5,056
	95 °C	$T = -4,467 u + 783,8$	0,943	4,467

Keterangan : T = Tekstur (kekenyalan)
 u = umur simpan (jam)
 r² = koefisien determinasi



Gambar 3. Perubahan tekstur pempek lenjer selama penyimpanan

2. Parameter untuk Menduga Penurunan Mutu

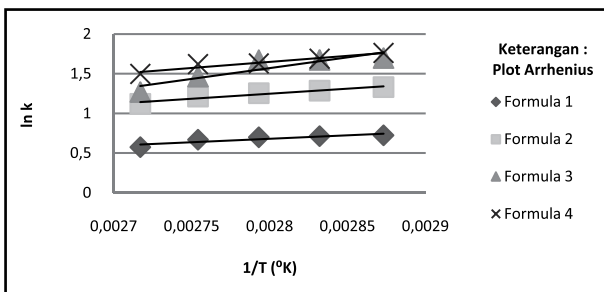
a. Tekstur (kekenyalan)

Tekstur pempek lenjer semakin meningkat dengan semakin tinggi suhu dan tingginya formula tepung, dan akan menurun dengan semakin lama penyimpanan (Gambar 3).

Penurunan tekstur pempek lenjer mengikuti model kinetika ordo nol, dengan persamaan $T = T_0 - k(u)$, dapat dilihat pada Tabel 1.

Konstanta laju penurunan tekstur selama penyimpanan berubah tergantung suhu proses dan formula, yang dinyatakan dengan pendekatan model Arrhenius dengan persamaan berikut :

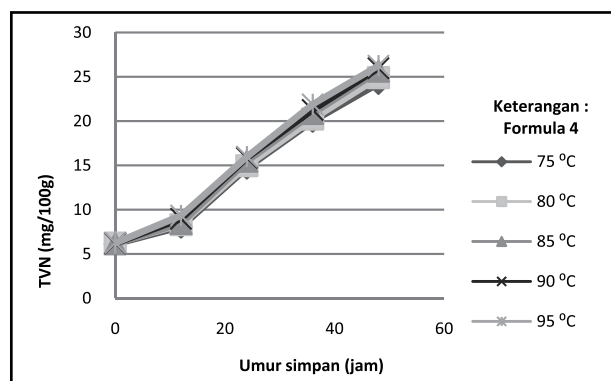
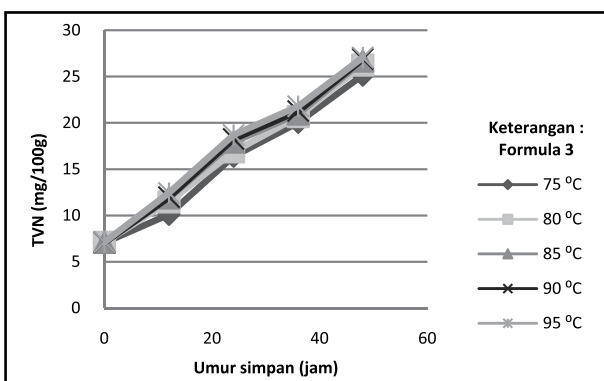
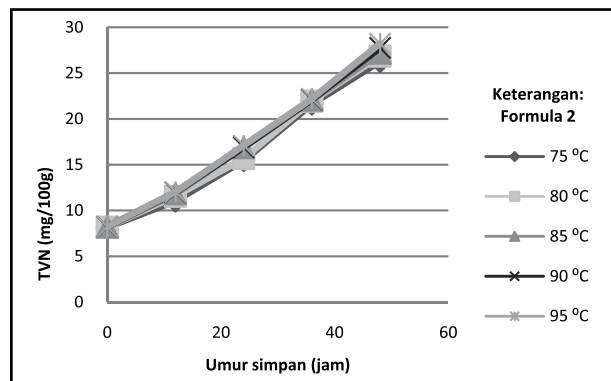
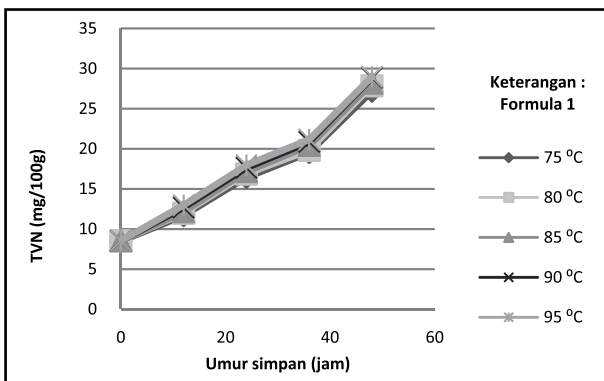
Ln k formula 1 = $- 1,773 + 876,5 (T^{-1})$ ($r^2 = 0,80$)
 Ln k formula 2 = $- 2,319 + 1274 (T^{-1})$ ($r^2 = 0,95$)
 Ln k formula 3 = $- 6,042 + 2719 (T^{-1})$ ($r^2 = 0,82$)
 Ln k formula 4 = $- 2,641 + 1532 (T^{-1})$ ($r^2 = 0,93$)



Gambar 4. Plot Arrhenius hubungan antara 1/T dan ln k terhadap tekstur (kekenyalan)

Plot Arrhenius hubungan antara 1/T dan ln k terhadap tekstur dapat dilihat pada Gambar 4.

Energi aktivasi (E_a) perubahan tekstur pada setiap formula pempek yang dihitung berdasarkan persamaan tersebut, pada formula 1 sebesar 1,74 Kkal/mol, pada formula 2 sebesar 2,53 Kkal/mol, pada formula 3 sebesar 5,39 Kkal/mol, dan formula 4 sebesar 3,04 Kkal/mol. Nilai energi aktivasi termasuk rendah, dimana menurut Sadler dalam Arpah (2007) reaksi dibawah kontrol difusi berkisar antara 0-12 Kkal/mol. Energi aktivasi menggambarkan energi yang diperlukan agar suatu reaksi dapat terjadi, atau energi terendah untuk memulai suatu reaksi. Tepung tapioka akan meningkatkan daya gelatinisasi pati dengan adanya air dan panas, sehingga akan terbentuk tekstur yang kenyal. Kandungan protein pada daging ikan yang berperan dalam kekenyalan adalah aktomyosin. Salah satu cara pencegahan denaturasi aktomyosin adalah dengan menggunakan bahan baku ikan dengan kesegaran yang tinggi (Wang, 2011), serta mempertahankan suhu tetap rendah selama penanganan (Astawan *et al.* 1996). Penurunan nilai tekstur selama penyimpanan disebabkan karena berubahnya kandungan air, lemak dan protein pada pempek. Kandungan air terdifusi masuk kedalam partikel protein, atau terjadi interaksi antara protein dengan protein lain seperti terbentuknya ikatan disulfida antar aktin-myosin atau myosin-myosin yang akan mempengaruhi tekstur (Labuza *et al.*, 2007; Subagio *et al.* 2004).



Gambar 5. Perubahan total volatil nitrogen pempek lenjer selama penyimpanan

Tabel 2. Model kinetika total volatil nitrogen pempek lenjer mengikuti ordo nol

Perlakuan formula dan suhu	Model kinetika (ordo nol)	r ²	k	
Formula 1	75 °C	N = 0,401 u + 7,829	0,98	0,401
	80 °C	N = 0,414 u + 7,896	0,98	0,414
	85 °C	N = 0,421 u + 8,014	0,98	0,421
	90 °C	N = 0,433 u + 8,186	0,98	0,433
	95 °C	N = 0,434 u + 8,363	0,98	0,434
Formula 2	75 °C	N = 0,398 u + 7,732	0,92	0,398
	80 °C	N = 0,407 u + 7,868	0,92	0,407
	85 °C	N = 0,414 u + 8,114	0,94	0,414
	90 °C	N = 0,424 u + 8,052	0,95	0,424
	95 °C	N = 0,434 u + 8,013	0,95	0,434
Formula 3	75 °C	N = 0,398 u + 6,976	0,95	0,398
	80 °C	N = 0,412 u + 7,380	0,96	0,412
	85 °C	N = 0,420 u + 7,650	0,97	0,420
	90 °C	N = 0,425 u + 7,732	0,96	0,425
	95 °C	N = 0,427 u + 7,997	0,96	0,427
Formula 4	75 °C	N = 0,410 u + 5,591	0,91	0,410
	80 °C	N = 0,421 u + 5,665	0,92	0,421
	85 °C	N = 0,438 u + 5,671	0,92	0,438
	90 °C	N = 0,442 u + 5,932	0,93	0,442
	95 °C	N = 0,446 u + 6,123	0,92	0,446

Keterangan : N = Total volatile nitrogen
 u = umur simpan (jam)
 r² = koefisien determinasi

b. Total Volatil Nitrogen (TVN)

Total volatil nitrogen pempek lenjer semakin meningkat dengan semakin tinggi suhu, tingginya formula ikan, dan semakin lama penyimpanan (Gambar 5).

Peningkatan TVN pempek lenjer mengikuti model kinetika ordo nol, dengan persamaan $N = N_0 + k(u)$, dapat dilihat pada Tabel 2.

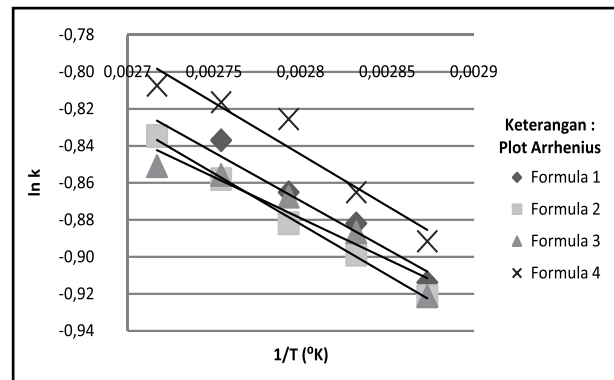
Konstanta laju peningkatan TVN selama penyimpanan berubah tergantung suhu proses dan formula, yang dinyatakan dengan pendekatan model Arrhenius dengan persamaan berikut :

- Ln k formula 1 = 1,593 – 522,6 (T⁻¹) (r² = 0,95)
- Ln k formula 2 = 0,653 – 548,5 (T⁻¹) (r² = 0,99)
- Ln k formula 3 = 0,351 – 442,9 (T⁻¹) (r² = 0,93)
- Ln k formula 4 = 0,719 – 558,6 (T⁻¹) (r² = 0,93)

Plot Arrhenius hubungan antara 1/T dan ln k terhadap total volatilnitrogen dapat dilihat pada Gambar 6.

Energi aktivasi (E_a) perubahan TVN pada setiap formula pempek yang dihitung berdasarkan persamaan tersebut, pada formula 1 sebesar 1,04 Kkal/mol, pada formula 2 sebesar 1,09 Kkal/mol, pada formula 3 sebesar 0,88 Kkal/mol, dan formula 4 sebesar 1,11 Kkal/mol.

TVN merupakan parameter untuk menentukan kemunduran mutu ikan atau produk olahan ikan. Pengukuran TVN sebagai petunjuk adanya kebusukan makanan yang mengandung protein. Peningkatan kadar TVN pempek selama penyimpanan disebabkan karena terjadi degradasi protein dan derivat-derivatnya yang disebabkan oleh aktivitas bakteri proteolitik dalam menguraikan protein menjadi senyawa protein yang lebih sederhana yaitu basa-basa yang mudah menguap seperti amoniak, trimetilamin, histamin, indol,

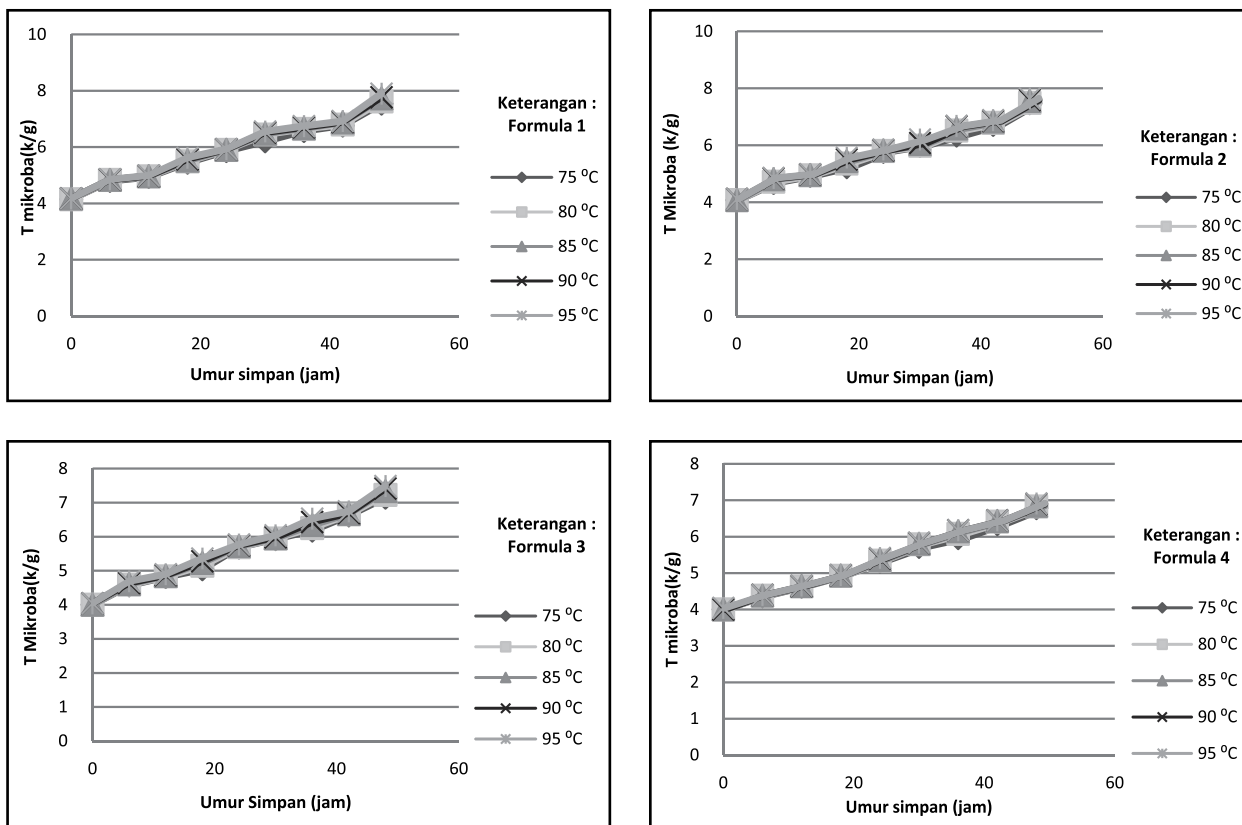


Gambar 6. Plot Arrhenius hubungan antara 1/T dan ln k terhadap total volatil nitrogen

Tabel 3. Model kinetika total mikroba pempek lenjer mengikuti ordo satu

Perlakuan formula dan suhu	Model kinetika (ordo nol)	r ²	k	
Formula 1	75 °C	Log M = 4,241 + 0,065 u	0,98	0,065
	80 °C	Log M = 4,262 + 0,067 u	0,98	0,067
	85 °C	Log M = 4,260 + 0,068 u	0,98	0,068
	90 °C	Log M = 4,268 + 0,069 u	0,98	0,069
	95 °C	Log M = 4,280 + 0,070 u	0,98	0,070
Formula 2	75 °C	Log M = 4,138 + 0,064 u	0,98	0,064
	80 °C	Log M = 4,170 + 0,065 u	0,99	0,065
	85 °C	Log M = 4,230 + 0,066 u	0,99	0,066
	90 °C	Log M = 4,231 + 0,067 u	0,99	0,067
	95 °C	Log M = 4,248 + 0,068 u	0,99	0,068
Formula 3	75 °C	Log M = 4,062 + 0,062 u	0,99	0,062
	80 °C	Log M = 4,076 + 0,063 u	0,99	0,063
	85 °C	Log M = 4,080 + 0,064 u	0,99	0,064
	90 °C	Log M = 4,113 + 0,065 u	0,99	0,065
	95 °C	Log M = 4,182 + 0,066 u	0,99	0,066
Formula 4	75 °C	Log M = 3,967 + 0,057 u	0,99	0,057
	80 °C	Log M = 3,964 + 0,058 u	0,99	0,058
	85 °C	Log M = 3,965 + 0,059 u	0,99	0,059
	90 °C	Log M = 3,968 + 0,060 u	0,99	0,060
	95 °C	Log M = 3,986 + 0,061 u	0,99	0,061

Keterangan : M = Total mikroba
 u = umur simpan (jam)
 r² = koefisien determinasi



Gambar 7. Perubahan total mikroba pempek lenjer selama penyimpanan

H₂S dan skatol, dan menguraikan TMAO (trimetil amin oksida) menjadi TMA (trimetil amin). Kadar TVN maksimal pada produk makanan yang dapat diterima adalah sebesar 20 mg/100 gram (Castro *et al*, 2012), tidak boleh lebih 30 - 35 mg/100 gram dalam daging ikan (Huss, 1988 dalam Kaba, 2006., Amegovu *et al*, 2012). Pempek yang telah disimpan 24 jam, masih layak untuk dikonsumsi, karena maksimal kandungan TVN mencapai 18 mg/100 gram, penyimpanan 36 jam berkisar antara 20 - 24 mg/100 gram bahan, pada penyimpanan 48 jam berkisar antara 25 - 29 mg/100 gram bahan. Hal ini berarti pada penyimpanan 36 - 48 jam pempek sudah mulai membusuk dan tidak layak lagi dikonsumsi

c. Total Mikroba

Total mikroba pempek lenjer semakin meningkat dengan semakin tinggi suhu, tinggi formula ikan dan semakin lamanya penyimpanan (Gambar 7).

Peningkatan total mikroba pempek lenjer mengikuti model kinetika ordo pertama dengan persamaan: $\log M = \log M_0 + k(u)$, dapat dilihat pada Tabel 3.

Konstanta laju peningkatan total mikroba selama penyimpanan berubah tergantung suhu proses dan formula, yang dinyatakan dengan pendekatan model Arrhenius dengan persamaan berikut :

- Ln k formula 1 = - 0,607 – 446,5(T⁻¹) (r² = 0,95)
- Ln k formula 2 = - 1,082 – 287,8 (T⁻¹) (r² = 0,99)
- Ln k formula 3 = - 0,702 – 433,3 (T⁻¹) (r² = 0,99)
- Ln k formula 4 = -1,087 – 325,5 (T⁻¹) (r² = 0,84)

Plot Arrhenius hubungan antara 1/T dan ln k terhadap total mikroba dapat dilihat pada Gambar 8.

Energi aktivasi (E_a) perubahan total mikroba pada setiap formula pempek yang dihitung berdasarkan persamaan tersebut, pada formula 1 sebesar 0,89 Kkal/mol, pada formula 2 sebesar 0,57 Kkal/mol, pada formula 3 sebesar 0,86 Kkal/mol, dan formula 4 sebesar 0,64 Kkal/mol.

Banyaknya mikroorganisme aerob suatu bahan pangan dapat dilihat dari kandungan total mikroba yang dihasilkan, baik bakteri, kapang, dan jamur. Pertumbuhan mikroba selama penyimpanan disebabkan karena tersedianya komponen-komponen organik yang ada pada pempek, terutama protein, karbohidrat dan air. Pertumbuhan mikroba dalam makanan akan menghasilkan beragam metabolit atau produk samping yang berasosiasi dengan karakteristik kerusakan. Berdasarkan standar dari Dirjen POM no 03726/B/SK/VII/1989 bahwa batas maksimal mikroba dalam makanan, untuk ikan dan hasil olahannya adalah 10⁶ koloni/gram (Dirjen POM, 1989). Batas maksimum jumlah mikroba pada produk yang terbuat dari ikan segar adalah 10⁶ koloni per gram, dan secara organoleptik masih dapat diterima hingga 10⁸ koloni per gram

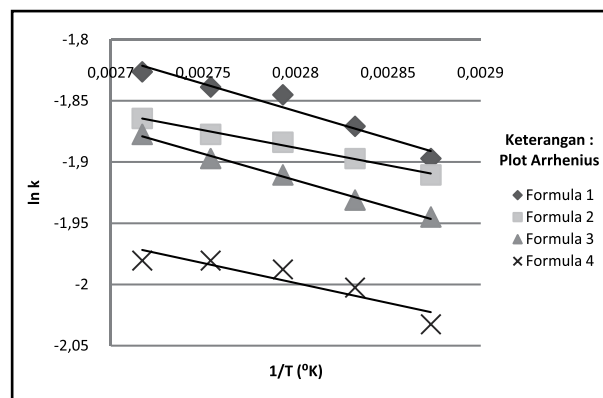
produk, tetapi sudah terjadi pembentukan lendir (Kaba, 2006 ; Amegovu *et al*, 2012).

3. Penentuan Umur Simpan Pempek Lenjer

Pendugaan umur simpan dihitung menggunakan pendekatan Arrhenius (Labuza 1982 dalam Arpah, 2001). Penentuan laju reaksi penurunan mutu, ditentukan berdasarkan pada energi aktivasinya. Energi aktivasi adalah energi minimum yang diperlukan untuk memulai suatu reaksi. Parameter yang mempunyai energi aktivasi terendah merupakan parameter kunci kerusakan bahan. Nilai umur simpan dapat diketahui dengan memasukkan nilai perhitungan ke dalam persamaan reaksi ordo nol atau satu. Pada penelitian ini parameter total mikroba merupakan parameter kunci penentuan umur simpan, karena mempunyai energi aktivasi terendah, sehingga dapat mewakili parameter lain untuk perhitungan umur simpan. Umur simpan total mikroba dihitung langsung dengan persamaan ordo satu dengan rumus (Labuza 1982 dalam Arpah, 2001., Rahayu dan Arpah, 2003):

$$\text{Umur Simpan} = \frac{\ln(\text{nilai kritis total mikroba}) - \ln(\text{nilai total mikroba awal})}{\text{Laju peningkatan nilai total mikroba}}$$

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh formula dan suhu berbeda sangat nyata terhadap umur simpan pempek. Perlakuan jumlah ikan yang tinggi pada adonan, menyebabkan umur simpan pempek semakin singkat. Formula 1 (dominan ikan) mempunyai umur simpan rerata 27,05 jam, sedangkan formula 4 (dominan tepung) mempunyai umur simpan rerata 33,71 jam. Perlakuan suhu tinggi pada titik pusat pempek selama perebusan, menyebabkan umur simpan pempek semakin singkat. Suhu 75 °C mempunyai umur simpan rerata 31,43 jam, sedangkan suhu 95 °C mempunyai umur simpan rerata 29,07 jam. Umur simpan pempek lenjer berdasarkan nilai total mikroba ordo satu disajikan pada Tabel 4.



Gambar 8. Plot Arrhenius hubungan antara 1/T dan ln k terhadap total mikroba

Tabel 4. Umur simpan pempek lenjer berdasarkan nilai total mikroba ordo satu

Perlakuan Formula dan Suhu	Umur Simpan (Jam)
Formula 1 75 °C	28,46 ± 0,21 aA
	80 °C 27,72 ± 0,20 bB
	85 °C 26,58 ± 0,25 bB
	90 °C 26,41 ± 0,24 cC
	95 °C 26,09 ± 0,25 dD
Formula 2 75 °C	29,88 ± 0,13 eE
	80 °C 29,20 ± 0,10 fF
	85 °C 29,10 ± 0,18 gG
	90 °C 28,38 ± 0,18 hH
	95 °C 28,02 ± 0,20 iI
Formula 3 75 °C	32,20 ± 0,13 iHI
	80 °C 31,54 ± 0,13 jJ
	85 °C 30,81 ± 0,14 jJ
	90 °C 30,07 ± 0,18 kK
	95 °C 29,48 ± 0,24 lL
Formula 4 75 °C	35,15 ± 0,11 kKL
	80 °C 33,86 ± 0,14 mM
	85 °C 33,61 ± 0,12 nN
	90 °C 33,13 ± 0,19 oN
	95 °C 32,68 ± 0,21 pO

Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama berbeda tidak nyata pada taraf uji 5% dan 1%.

Pempek dengan kadar air tinggi dapat ditumbuhi oleh semua jenis mikroorganisme, yaitu kapang, khamir, dan bakteri. Tanda-tanda kerusakannya diawali dengan perubahan tekstur, terbentuknya lendir pada permukaan, terjadi perubahan warna, adanya bau busuk karena gas ammonia, sulfida, atau senyawa busuk lainnya. Pempek dominan ikan lebih cepat rusak, karena lebih banyak mengandung protein, lemak dan air, yang merupakan substrat yang baik untuk pertumbuhan mikroba. Perlakuan panas pada pempek selama pengolahan, dapat menyebabkan kerusakan fisik, antara lain komponen protein mengalami denaturasi dan komponen pati mengalami gelatinisasi, yang dapat mengakibatkan perubahan sifat fungsional dan organoleptik pempek. Pemasakan pada suhu tinggi menyebabkan gelatinisasi, yang akan merenggangkan misela, dan air lebih banyak terperangkap dalam granula, sehingga granula membesar (Kusnandar, 2010). Pemasakan lebih lanjut menyebabkan granula pecah, sehingga molekul amilosa keluar dari granula. Pada saat pendinginan, amilosa dapat bergabung dengan cepat membentuk kristal tidak larut disertai merembesnya air dari granula. Keadaan ini digunakan oleh mikroba untuk pertumbuhannya.

Simpulan

1. Semakin tinggi suhu, koefisien difusivitas panas semakin tinggi pada titik sembarang tetapi semakin rendah pada titik pusat pempek. Pada formula dominan ikan, koefisien difusivitas semakin rendah, tetapi semakin tinggi pada formula dominan tepung. Koefisien difusivitas panas pempek lenjer pada formula 1 adalah interval 0,321 - 1,515. 10⁻⁷ m²/s, pada formula 2 adalah 0,297 - 1,389. 10⁻⁷ m²/s, pada formula 3 adalah 0,378 - 1,471. 10⁻⁷ m²/s, dan formula 4 adalah 0,2778 - 1,620. 10⁻⁷ m²/s.
2. Formula dan suhu berpengaruh nyata terhadap umur simpan pempek. Umur simpan terendah pada formula pempek dominan ikan pada suhu 95 °C. Umur simpan pempek lenjer berdasarkan nilai total mikroba selama 27 -33 jam

Saran

1. Perlu penelitian lebih lanjut pengukuran difusivitas panas pempek dengan langkah waktu lebih kecil, sehingga penyimpangan rata-rata suhu perhitungan terhadap suhu pengukuran lebih kecil.
2. Perlu penelitian lebih lanjut usaha memperpanjang umur simpan pempek dengan kemasan.

Daftar Pustaka

- Abdullah, K. 1996. Penerapan energi surya dalam proses termal pengolahan hasil pertanian. Orasi ilmiah guru besar tetap ilmu Teknik Pengolahan Hasil Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Amegovu, A. K., M.L. Sserunjogi., P.Ogwok., V. Makokha. 2012. Nucleotide degradation products, total volatile basic nitrogen, sensory and microbiological quality of Nile perch (*Lates niloticus*) fillets under chilled storage. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2(2) : 653-666.
- AOAC. 1990. Official methods of analysis association of official analytical chemist. Inc Virginia. USA.
- Arpah. 2001. Penentuan kadaluarsa produk pangan. Program Studi Ilmu Pangan Program Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Arpah. 2007. Penetapan kadaluarsa pangan. Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Astawan, M., M. Wahyuni., J. Santoso, S. Sarifah. (1996). The utilization of gouramy fish (*Osphronemus goramy* Lac) in making fish gel. *Bul Tek dan Industri pangan*. VII(1) : 9-15.

- Castro, P., R. Millan., J.C. Penedo., E. Sanjuan. (2012). Effect of storage conditioning on total volatile base nitrogen determinations in fish muscle extracts. *Journal Aquatic Food Product Technology*.21(5) : 519-523
- Crank, J. 1998. *The mathematics of diffusion*. Published in The United States by Oxford University Press Inc. New York.
- Dirjen POM. (1989). Lampiran surat keputusan Dirjen POM No 03726/B/SK/VII/1989 tentang batas maksimum mikroba dalam makanan. Dalam *Komunikasi Singkat. Bul Teknol dan Ind Pangan* 6(2) : 106-110.
- Fardiaz, S. 1987. *Penuntun Praktek Mikrobiologi Pangan*. Lembaga Sumberdaya Informasi. IPB. Bogor.
- Huang, E dan G.S. Mittal. 1995. Meatball cooking-modeling and simulation. *Journal of Food Engineering* 24 (1): 87-100
- Jaczynski, J., dan J.W. Park. 2002. Temperature predicting during thermal processing of surimi seafood. *Journal Food Engineering and Physical Properties* 34(1).
- Jain, D., and P.B Pathare. 2007. Determination of thermal diffusivity of freshwater fish during ice storage by using a one dimensional fourier cylindrical equation. *Central Institute of Post Harvest Engineering and Technology, PAU Campus Ludhiana. India*.
- Kaba, N. (2006). The determination of technology and storage period of surimi production from anchovy (*Engraulis encrasicolus* L). *Turkish Journal of Fisheris and Aquatic Sciences* 6: 29-35.
- Karneta, R. 2010. Analisis kelayakan ekonomi dan optimasi formulasi pempek lenjer skala industri. *Jurnal Pembangunan Manusia*. 4(3): 264-274.
- Kusnandar, F., D.R. Adawiyah, dan M. Fitria.(2010). Pendugaan umur simpan produk biskuit dengan metode akselerasi berdasarkan pendekatan kadar air kritis. *Jurnal.Teknologi dan Industri Pangan*. XXI (2) : 117-122.
- Labuza.T.P. dan Z.Peng. (2007). Effect of moisture content on the glass transition and protein aggregation of solid-state whey proteins and theirhydrolisates. *Journal of. Food Biophysics* 2: 108-116.
- Markowski, M., B. Ireneusz., C.Marek dan P. Agnieszka. 2004. Determination of thermal diffusivity of lyoner type sausages during water bath cooking and cooling. *Journal of Food Engineering* .65 : 591-598
- Olivera, D.F., and Salvodari. 2008. Finite element modeling of food cooking. *Latin American Applied Research* 38: 377-383
- Rahayu, W.P dan Arpah. 2003. Penetapan kadaluarsa produk industry kecil. Departemen Teknologi pangan dan gizi Fakultas Teknologi Pertanian.Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Singhal, D.K., U. Singh dan A.K. Singh. 2008. Effective thermal diffusivity of persishable produce as a function of temperature by transient method. *Indian Journal of Pure & Applied Physics*. 46. : 862-865.
- Subagio, A., W.S.Windrati., M. Fauzi, dan Y. Witono. (2004). Characterization of myofibrillar protein from goldband goat fish (*Upeneus moluccensis*) andbigeye scad fish (*Selar crumenophthalmus*). *Jurnal. Teknol dan Industri Pangan*.XV (1). : 70-77.
- Tastra, I,K., E. Ginting dan Ratnaningsih. 2006. Thermal diffusivity of sweetpotato flour measured using dickerson method. *Jurnal Keteknikan Pertanian*. 20 (2) : 149-156.
- Wang, P.A., B. Vang., A.M. Pedersen., I. Martinez., R.L. Olsen. (2011). Post-mortem degradation of myosin heavy chain in intact fish muscle : effects of pH and enzyme inhibitors. *Journal of Food Chemistry* 124(3); 1090-1095