

PENGARUH SORPSI AIR DAN SUHU TRANSISI GELAS TERHADAP LAJU PENCOKALATAN NON-ENZIMATIS PADA PANGAN MODEL

[The Effect of Water Sorption and Glass Transition Temperature on Non-Enzymatic Browning Reaction of Food Models]

Dede R Adawiyah¹⁾, S T Soekarto¹⁾, P Hariyadi¹⁾ dan Suyitno²⁾

¹⁾Staf pengajar Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, FATETA, IPB

²⁾Staf pengajar Jurusan Teknologi Pengolahan Hasil Pertanian, FATETA, UGM

Diterima 20 November 2005 / Disetujui 6 Februari 2006

ABSTRACT

This research was aimed to study the extend of non enzymatic browning reaction in food models containing the mixture of tapioca starch, casein, sucrose and oil at different moisture contents (2.55%, 5.26%, 7.54%, 15.20%, 16.93% and 23.99%) and storage temperatures (30, 55 and 70°C). The non-enzymatic browning reaction was detected from brown color intensity measured by spectrophotometer and colorimetric methods. The non-enzymatic browning reaction of food model followed pseudo-zero order reaction, suggesting that browning reaction occurred at moisture content above monolayer zone. $T-T_g'$ (T storage – T_g prediction) and reaction rate constant (k) plots showed that browning reaction occurred at temperature around glass transition and increased significantly at 15° above T_g' of casein. Tapioca starch in the food model was under glassy condition. The mobility of substrate increased and diffused at amorphous matrix.

Key words : glass transition, non-enzymatic browning, glassy, amorphous

PENDAHULUAN

Transisi gelas merupakan fenomena perubahan fase diantara fase liquid dan solid atau seringkali dinyatakan sebagai perubahan fase dari fase gelas (solid) menjadi fase *rubbery* (karet). Suhu terjadinya transisi dari fase gelas ke *rubbery* tersebut dinamakan suhu transisi gelas (T_g). Di dalam sistem pangan nilai T_g sangat dipengaruhi oleh jumlah air yang berperan sebagai *plasticizer*.

Slade dan Levine (1991) menyatakan bahwa sistem yang berada dalam keadaan gelas memiliki mobilitas molekuler dan difusi yang sangat lambat bahkan tidak ada dan suhu transisi gelas dapat dijadikan sebagai indikator perubahan mobilitas molekuler dan mempengaruhi laju reaksi kimia dan enzimatis maupun mikrobiologis.

Reaksi pencoklatan non-enzimatis (reaksi *mailard*) adalah jenis reaksi yang banyak dihubungkan dengan kandungan air dan suhu transisi gelas. Studi yang berkaitan dengan pengaruh kandungan air dan suhu transisi gelas terhadap reaksi pencoklatan non enzimatis telah dilakukan oleh beberapa peneliti diantaranya Karmas et al., (1992), Buera dan Karel (1994), Ross dan Himberg (1994) pada model PVP (*polivinilpirolidon*), Lievonen et al., (1998), Schebor et al., (1998) pada bubuk skim, Lievonen et al., (2000) pada sistem padat dan cair, Burin et al., (2000) pada bubuk

whey, Craig et al., (2001), Miao dan Ross (2004) pada sistem karbohidrat.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh kandungan air dan suhu transisi gelas terhadap laju reaksi pencoklatan non enzimatis pada model pangan yang merupakan campuran dari komponen penyusun bahan pangan pada umumnya yaitu pati, protein, gula dan minyak.

METODOLOGI

Model pangan yang digunakan merupakan campuran dari pati tapioka, kasein, gula dan minyak proporsi berat masing-masing adalah 58:14:16:12.

Penentuan kadar air keseimbangan (sopsis air) dilakukan dengan menyeimbangkan bahan-bahan pada RH 7 sampai 97% menggunakan larutan garam jenuh sampai mencapai kondisi *steady state*. Kriteria *steady state* yaitu jika perubahan kadar air tidak lebih dari 2 mg/g pada 3 kali penimbangan berturut-turut, dan pada RH tertinggi perubahan kadar air tidak lebih dari 10 mg/g pada 3 kali penimbangan (Lievonen dan Ross, 2002). Setelah kesetimbangan tercapai, bahan dikeringkan untuk mengetahui kadar airnya menggunakan oven.

Penentuan suhu transisi gelas dilakukan menggunakan menggunakan DSC (*Differential Scanning Calorimeter*) seri 7 Perkin Elmer. Instrumen ini sebelumnya pengukuran dikalibrasi menggunakan indium (titik leleh 156.78°C). Sebanyak kurang lebih 10

mg sampel dimasukkan kedalam pan aluminium dan dilakukan penutupan hermetis. Pengukuran dilakukan pada kisaran suhu: 20 – 200°C (es batu sebagai cooler) dengan heating rate: 10°C/menit.

Untuk mengukur tingkat pencoklatan non-enzimatis, digunakan sampel dengan enam tingkat kadar air yang dicapai dengan menyeimbangkan sampel pada RH 11%, 33%, 52%, 75%, 84% dan 91%. Sebanyak 2 gram dari masing-masing tingkat kadar air tersebut dimasukkan kedalam vial tertutup dan disimpan pada inkubator dengan 3 suhu yang berbeda yaitu suhu 30°C; 55°C dan 70°C. Pengambilan sampel dilakukan setiap 24 jam (kecuali untuk suhu 70°C setiap 6 jam) untuk dianalisa pola perubahan warna yang terjadi. Pengukuran warna coklat dilakukan menggunakan prinsip colorimetri (chromameter CR 230) dengan system notasi warna Tristimulus CIE : x, y, z. Indeks pencoklatan dihitung dengan rumus: $BR = 100(x - 0.31)/0.172$ (Schebor et al., (1998).

Selain itu pengamatan dilakukan menggunakan metode spektrofotometri pada panjang gelombang 420 nm. Persiapan bahan yang dilakukan adalah sebanyak 2 gram bahan dilarutkan dalam 20 ml buffer fosfat pH 7 dan 2 ml larutan tripsin 10%. Setelah diinkubasi 2 jam pada suhu 40°C (80 rpm), ditambahkan 2.5 ml larutan TCA 50% untuk menginaktifkan enzim. Setelah dilakukan penyaringan, filtrat diukur nilai OD (densitas optis) pada 420 nm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Laju pencoklatan non-enzimatis berdasarkan densitas optik

Pola perubahan nilai densitas optik (OD) pada panjang gelombang 420 nm selama waktu pengamatan

pada berbagai tingkat kadar air dan suhu dapat dilihat pada Gambar 1 dan hasil rekapitulasi perhitungan nilai konstanta reaksi dapat dilihat pada Tabel 1.

Secara umum dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya kadar air awal bahan dan semakin tingginya suhu penyimpanan menyebabkan peningkatan laju reaksi pembentukan warna coklat. Proses pencoklatan dapat dihambat dengan penyimpanan bahan pada suhu 30°C dengan kadar air kurang atau sama dengan dari 15.20%. Hal tersebut ditunjukkan oleh tidak adanya kenaikan nilai OD atau waktu lag melebihi periode penyimpanan yang dilakukan (t lag lebih dari 60 hari pada Tabel 1). Reaksi Pencoklatan pada suhu 30°C mulai terjadi pada kadar air 16.93% setelah 20 hari penyimpanan (waktu lag atau t lag= 20.64 hari pada Tabel 1), sedangkan pada kadar air 23.99% pencoklatan terdeteksi setelah 3 hari penyimpanan (t lag = 3.24 hari).

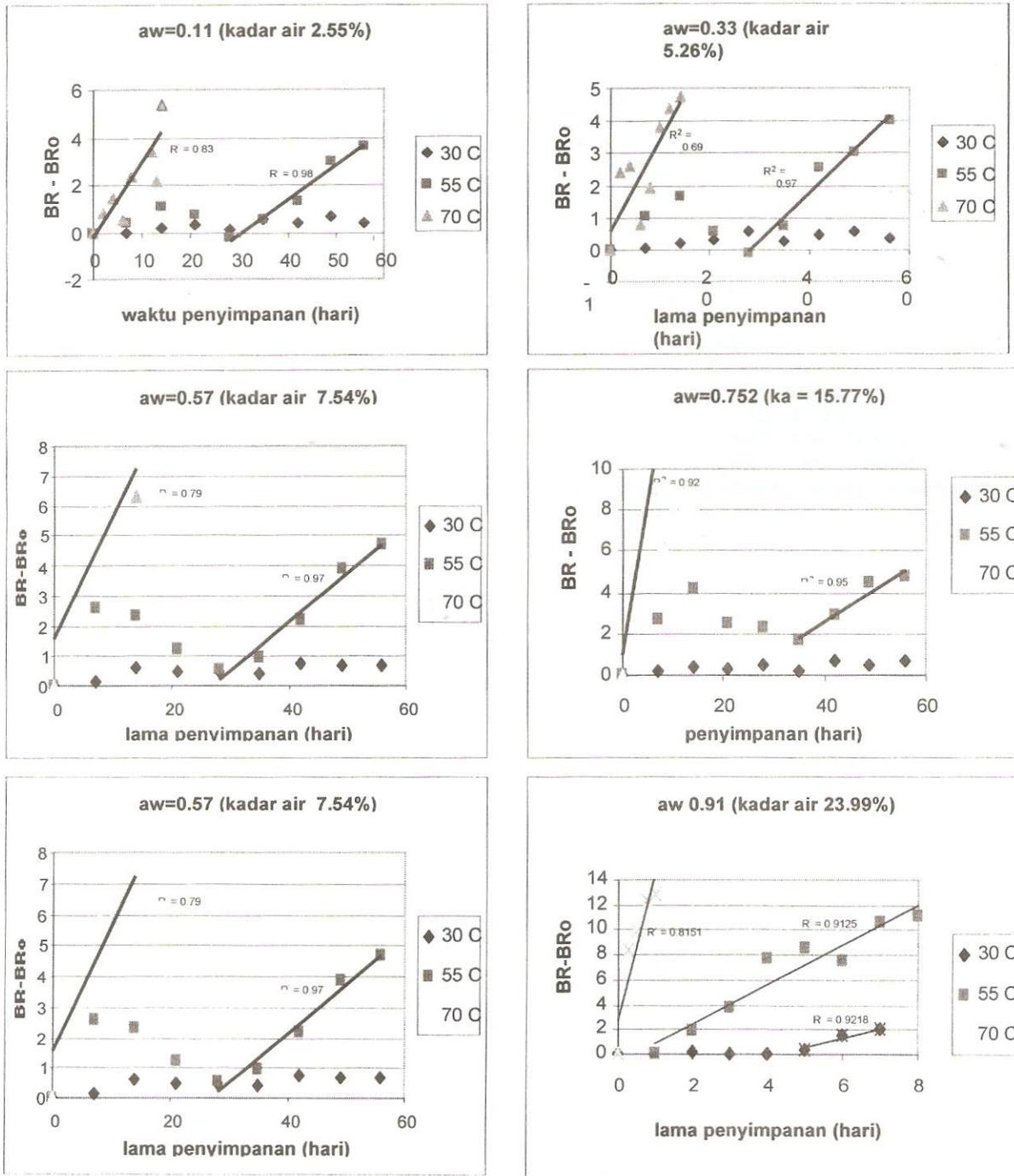
Reaksi pencoklatan yang terjadi pada bahan dengan suhu penyimpanan 55 dan 70°C langsung mengalami peningkatan. Penyimpanan pada suhu 55°C dengan kadar air awal dari 2% sampai 15.20% memperlihatkan pola kenaikan yang diikuti pola menurun setelah penyimpanan hari ke-30 (data tidak ditampilkan).

Ketergantungan reaksi pencoklatan non-enzimatis terhadap suhu dianalisa menggunakan persamaan Arrhenius, akan tetapi hanya dapat dilakukan pada perlakuan dengan kadar air 16.93 dan 23.49% karena nilai k untuk kadar air 2.55 – 15.20% pada suhu 30°C tidak diperoleh. Nilai konstanta laju reaksi (k) sebagai ln k kemudian diplot terhadap 1/T dari tiga suhu penyimpanan yang dilakukan untuk mendapatkan nilai energi aktivasi. Energi aktivasi reaksi pencoklatan berdasarkan pengukuran nilai OD pada kadar air 16.93 dan 23.49% masing-masing adalah 65.49 sampai 75.75 kJ/mol.

Tabel 1. Parameter reaksi pembentukan warna coklat berdasarkan nilai densitas optik pada berbagai tingkat kadar air

Kadar air awal (% bk)	aw	Suhu penyimpanan	t lag ^a (hari)	k (OD/hari)	R ²	Ea (kJ/mol)
2.55	0.11	30	> 60	0	-	-
		55	2	0.0023	0.94	
		70	0	0.0045	0.85	
5.26	0.33	30	>60	0	-	-
		55	0	0.0019	0.86	
		70	0	0.0043	0.70	
7.54	0.57	30	>60	0	-	-
		55	0	0.0015	0.90	
		70	0	0.0058	0.72	
15.20	0.75	30	>60	0	-	-
		55	0	0.0023	0.93	
		70	0	0.0254	0.82	
16.93	0.84	30	20.7	0.0016	0.79	65.49
		55	0	0.0062	0.93	
		70	0	0.0383	0.93	
23.99	0.91	30	3.3	0.0356	0.86	75.75
		55	0	0.0783	0.86	
		70	0	1.6732	0.95	

^awaktu dimulainya fase logaritmik (meningkat linier)



Gambar 1. Pola pencoklatan berdasarkan nilai optical density (OD) model campuran pada 6 tingkat kadar air selama penyimpanan pada suhu 30, 55 dan 70°C

Kedua nilai tersebut menyimpang dari perkiraan karena diprediksi pertambahan kadar air bahan akan menurunkan nilai energi aktivasi. Penyimpangan dari model ketergantungan suhu terhadap nilai k tersebut diduga berhubungan dengan perubahan keadaan fisik dari matriks bahan yang digunakan. Slade dan Levine (1991) menyatakan bahwa proses difusi dalam bahan pangan amorf berhubungan dengan viskositas dan suhu transisi gelas. Pada suhu di atas T_g , difusivitas meningkat ketika viskositas menurun dan ketergantungan laju reaksi terhadap suhu mengikuti model WLF (William-Landel-Ferry). Lievonon et al., (2002) menyatakan bahwa jika ditemui adanya patahan pada plot kurva $1/T$ terhadap $\ln(K)$ maka hal tersebut mengindikasikan terjadinya perubahan mekanisme reaksi akibat penurunan viskositas dan peningkatan mobilitas molekuler.

Laju pencoklatan non-enzimatis berdasarkan kolorimetri

Parameter lain yang digunakan untuk mengukur perubahan warna akibat terjadinya pencoklatan non enzimatis adalah menggunakan parameter index pencoklatan (browning index = BR) yang dihasilkan dari pengukuran menggunakan sistem colorimetri dengan alat Chromameter CR210. Gambar 2 menunjukkan pembentukan warna coklat berdasarkan nilai BR pada beberapa tingkat a_w dan kadar air selama penyimpanan pada suhu 30, 55 dan 70°C. Dari gambar tersebut secara umum dapat dilihat terjadinya kenaikan indeks pencoklatan dengan semakin tingginya suhu penyimpanan. Penyimpanan pada suhu 30°C dengan kadar air sampai 15.20% tidak menunjukkan adanya kenaikan nilai OD atau reaksi pencoklatan masih berada pada fase lag (nilai t_{lag} lebih dari 60 hari pada Tabel 2). Sedangkan pada kadar air 16.93% t_{lag} terdeteksi selama 28 hari dan pada kadar air yang lebih tinggi yaitu 23.99% memiliki t_{lag} yang lebih pendek yaitu 4 hari (Tabel 2).

Pada suhu penyimpanan 55°C terjadi suatu fenomena yang unik terutama pada kadar air awal 2.55% ($a_w=0.11$), 5.26% ($a_w=0.33$), 7.54% ($a_w=0.56$) dan 15.20% ($a_w=0.75$) karena pada awal penyimpanan terjadi penurunan indeks pencoklatan dan selanjutnya terjadi peningkatan indeks pencoklatan secara signifikan setelah disimpan selama 23 sampai 31 hari yang dapat dilihat dari nilai t_{lag} pada Tabel 2. Hasil yang diperoleh pada suhu perlakuan suhu 55°C ini berbeda dengan data spektrofotometer, akan tetapi pengamatan secara visual lebih mendekati pengukuran menggunakan colorimetri karena terdeteksi adanya pemucatan bahan pada awal penyimpanan yang sejalan dengan penurunan nilai indeks pencoklatan.

Penyimpanan pada suhu 70°C menunjukkan peningkatan nilai indeks pencoklatan secara linear tanpa melalui tahap pemucatan dan fase lag tidak dapat dideteksi.

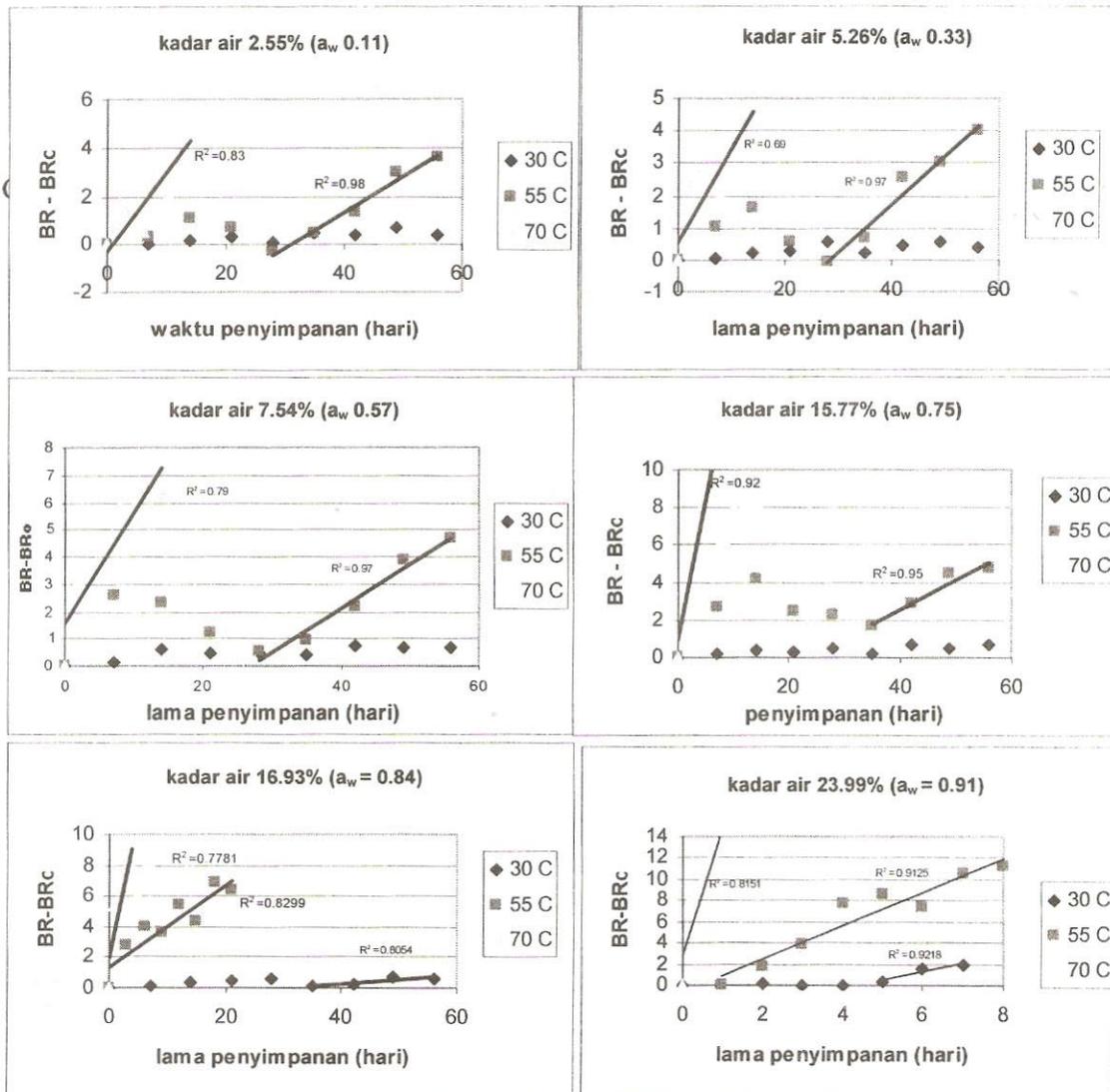
Perbedaan mekanisme pembentukan warna coklat terutama antara perlakuan suhu 55 dan 70°C disebabkan oleh mekanisme reaksi mailard yang cukup kompleks dan melibatkan beberapa tahap reaksi. Ciri-ciri yang diperlihatkan dari hasil percobaan pada suhu 55°C (kadar air 2 – 15%) yang ditandai dengan terihatnya efek pemucatan kemudian timbulnya bau yang menyimpang kemudian setelah itu mulai terbentuk warna coklat menandakan bahwa reaksi mailard yang terjadi melalui tahapan yang lebih panjang yaitu melewati tahapan amadori rearrangement kemudian pembentukan warna coklat. Selain itu juga melewati strecker degradasi yang ditandai dengan pembentukan aroma dan flavor tertentu dari produk. Pola yang *multi step* ini tidak ditemui pada percobaan menggunakan suhu 70°C. Suhu yang tinggi menyebabkan pencoklatan hanya terjadi melalui satu step reaksi yaitu langsung menuju pembentukan pigmen coklat. Pola satu step reaksi kemungkinan juga terjadi pada perlakuan suhu 55°C dengan kadar air lebih dari 16%. Adanya air dalam jumlah yang berlebih menyebabkan peningkatan mobilitas reaktan sehingga reaksi pencoklatan dapat segera dideteksi pada awal penyimpanan.

Nilai energi aktivasi untuk reaksi pencoklatan diperoleh pada bahan dengan kadar air 16.93 dan 23.99% dengan nilai masing-masing 90.71 dan 52.96 kJ/mol. Dengan bertambahnya air dalam bahan menyebabkan penurunan nilai energi aktivasi dan mempermudah terjadinya reaksi pencoklatan.

Pengaruh sorpsi air dan suhu transisi gelas terhadap reaksi pencoklatan non-enzimatis

Kurva perubahan aktivitas air dan suhu transisi gelas pada berbagai tingkat kadar air dapat dilihat pada Gambar 3. Kadar air monolayer untuk model campuran ini berdasarkan persamaan BET adalah 3.42%, sedangkan menurut persamaan GAB adalah 4.09% berat kering. Kadar air monolayer dapat dijadikan sebagai acuan solubilisasi reaktan pencoklatan non enzimatis dimana reaksi mulai terjadi pada kadar air di atas lapisan monolayer dari sorpsi isothermis (Maltini et al., 2003).

Analisis suhu transisi gelas dilakukan terhadap komponen penyusun model, karena analisis termal terhadap model campuran menghasilkan multi peak sehingga digunakan pendekatan dengan mendeteksi T_g dari masing-masing penyusun bahan. Pati cenderung memiliki nilai T_g yang lebih tinggi dibandingkan kasein (Gambar 3). Hal tersebut didukung dengan pengamatan secara visual dimana pada RH yang sama (sebagai contoh RH 93% suhu 30°C), kasein sudah menunjukkan adanya kerusakan fisik berupa pengempalan atau caking atau collapse. Sedangkan pati, pada RH yang sama, masih memiliki karakter bubuk '*free flowing*' dan tidak menunjukkan kerusakan fisik.



Gambar 2. Pola Pencoklatan model pangan berdasarkan model pangan berdasarkan nilai index pencoklatan (BR) pada 6 tingkat kadar air selama penyimpanan pada suhu 30,55 dan 70 C

Tabel 2. Parameter reaksi pembentukan warna coklat berdasarkan nilai indeks pencoklatan pada berbagai tingkat kadar air

Kadar air awal (% bk)	aw	Suhu penyimpanan	t lag ^a (hari)	k (BR/hari)	R ²	Ea (kJ/mol)
2.55	0.11	30	> 60	0	-	-
		55	30.8	0.15	0.98	
		70	1	0.33	0.83	
5.26	0.33	30	> 60	0	-	-
		55	28.4	0.15	0.97	
		70	0	0.29	0.69	
7.54	0.57	30	> 60	0	-	-
		55	26.8	0.16	0.97	
		70	0	0.41	0.79	
15.20	0.75	30	> 60	0	-	-
		55	23.2	0.16	0.95	
		70	0	1.51	0.92	
16.93	0.84	30	28.4	0.025	0.80	90.71
		55	0	0.27	0.82	
		70	0	1.80	0.78	
23.99	0.91	30	4.41	0.82	0.68	52.96
		55	0	1.58	0.91	
		70	0	11.83	0.82	

^awaktu dimulainya fase logaritmik (meningkat linier)

Penyimpanan bahan pada suhu diatas T_g menyebabkan viskositas matriks menurun mencapai satu titik dimana bahan menjadi sangat lemah untuk mendukung beratnya sendiri yang menyebabkan kerusakan fisik seperti *collapse* (kehilangan bentuk, pengerutan/shrinkage), *caking* atau pengempalan, lengket dan kehilangan flavor.

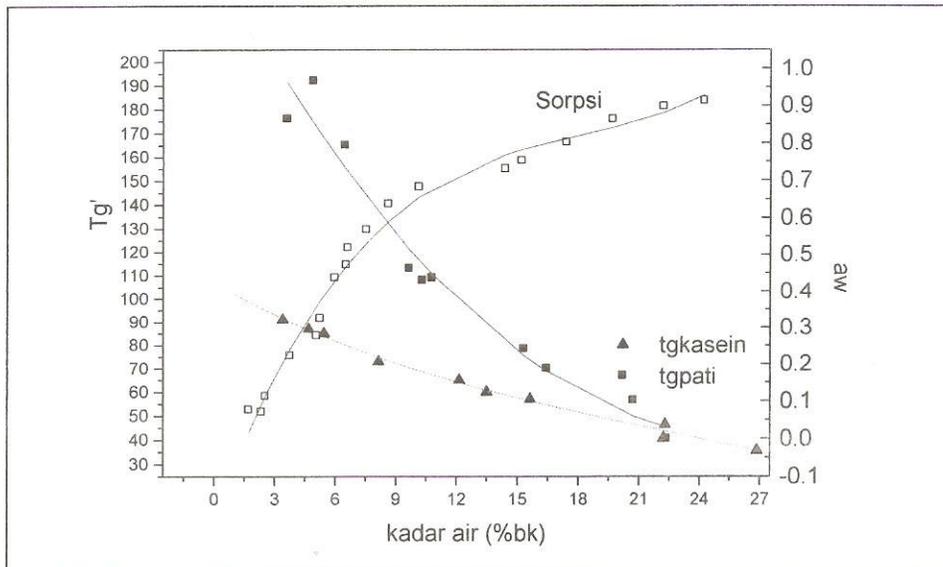
Gambar 4 memperlihatkan pengaruh kadar air terhadap laju reaksi pencoklatan (berdasarkan indeks pencoklatan). Secara umum dapat dilihat bahwa peningkatan suhu menyebabkan peningkatan laju pembentukan warna coklat. Pada suhu tinggi (70°C) pembentukan warna coklat secara signifikan terjadi pada kadar air diatas 7%.

Sedangkan pada suhu 30°C, pencoklatan dapat dihindari bahkan sampai kadar air 24%. Pada suhu 55°C, ternyata pangan model yang didominasi oleh pati mampu melindungi bahan dari proses pencoklatan sampai kadar air 15% karena pembentukan warna coklat yang signifikan baru terjadi pada kadar air awal 17%. Dengan demikian proses pencoklatan pada model pangan yang merupakan campuran dari pati, kasein, sukrosa dan minyak ini terjadi jauh diatas kadar air monolayer.

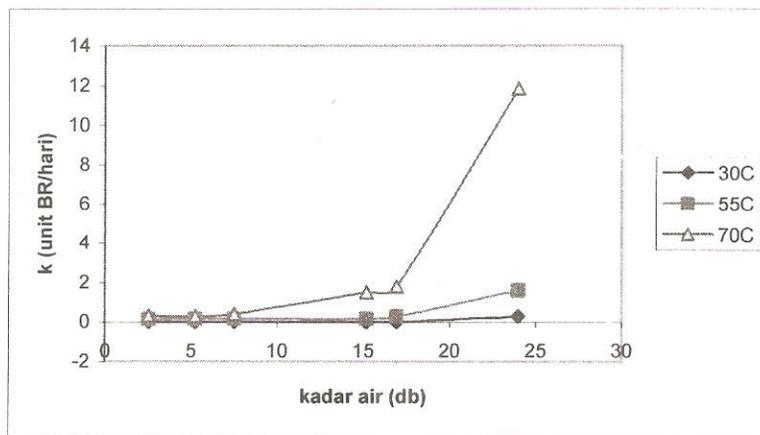
Pola laju reaksi pencoklatan pada pangan model yang merupakan campuran dari pati, kasein, minyak dan gula belum dapat menunjukkan titik maksimum. Ini berarti efek pengenceran reaktan belum terjadi pada kisaran kadar air yang digunakan akibat tingginya kandungan reaktan pencoklatan dalam bahan.

Gambar 5 memperlihatkan hubungan antara konstanta laju reaksi dengan T-T_g pati dan kasein. Dari gambar tersebut tampak bahwa reaksi pencoklatan berlangsung walaupun pati tapioka yang merupakan komposisi dominan (58%) dari campuran masih berada dalam keadaan gelas atau 10°C dibawah suhu transisi gelas, dan selanjutnya terjadi peningkatan laju reaksi yang sangat signifikan ketika melewati suhu transisi gelas. Schebor et al., (1999) mendapatkan hasil yang sama dimana pencoklatan pada susu skim terjadi pada penyimpanan suhu 60°C dan bahan masih berada dalam keadaan gelas. Craig et al., (2001) menyatakan bahwa pada bahan dalam keadaan gelas masih ditemui adanya mobilitas yang cukup untuk terbentuknya reaksi kerusakan tetapi dengan laju reaksi yang rendah.

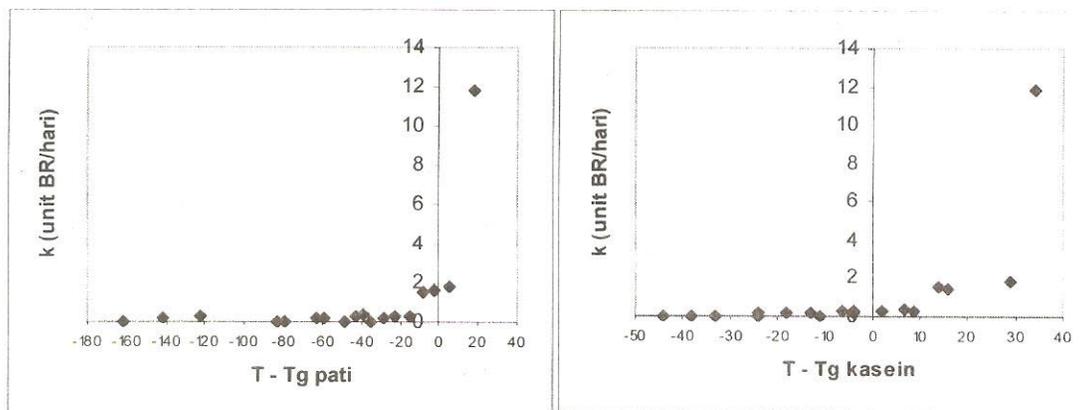
Penjelasan lain adalah menggunakan data T_g dari kasein (Gambar 5b). Reaksi pencoklatan mulai meningkat dengan signifikan sekitar 15 derajat diatas T_g kasein. Hal ini selaras dengan percobaan Miao dan Ross (2004) yang mendapatkan bahwa laju pencoklatan non-enzimatis pada sistem karbohidrat meningkat signifikan pada 15 - 35°C diatas T_g. Karmas et al (1992) menyatakan bahwa peningkatan laju reaksi teramati tidak tepat pada suhu transisi gelas tetapi 10 - 40°C diatas suhu transisi gelas. Lievonen et al., (1998) dan Lievonen et al., (2002) juga mendapatkan hasil yang serupa dimana laju reaksi pencoklatan dalam matriks polivinilpirolidon dan maltodekstrin mengalami peningkatan pada 10 - 20°C diatas suhu transisi gelas.



Gambar 3 Pola perubahan Tg dan aw pada berbagai tingkat kadar air



Gambar 4. Hubungan nilai konstanta laju pembentukan warna coklat dari model pangan dengan kadar air pada berbagai tingkat suhu



Gambar 5. Hubungan T – Tg pati dan kasein dengan laju reaksi pencoklatan non enzimatis pangan model

Penelitian-penelitian sebelumnya yaitu Karmas et al (1992), Lievonen et al (1998), Lievonen et al (2002) dan Miao dan Ross (2004) tersebut lebih mengarah pada pendekatan fisik dari matriks penyangga yang digunakan. Dalam penelitian ini reaksi pencoklatan mulai terjadi ketika kondisi matriks penyangga, dalam hal ini adalah pati, masih dalam keadaan gelas. Akan tetapi sumber reaktan pencoklatan, dalam hal ini kasein, sudah melewati suhu transisi gelasnya dan dalam kondisi tersebut reaktan memiliki mobilitas cukup tinggi untuk memulai reaksi pencoklatan.

KESIMPULAN

Reaksi pencoklatan non enzimatis pada model campuran (terdiri dari pati, kasein, gula dan minyak) sangat dipengaruhi oleh kadar air dan suhu penyimpanan. Pada kadar air bahan dibawah 15.3% dengan suhu penyimpanan pada 30°C, reaksi pencoklatan tidak terjadi dan waktu lag lebih dari 60 hari. Penyimpanan pada suhu 55°C dengan kadar air awal 2.55-15.20%, reaksi pencoklatan terjadi melalui mekanisme yang lebih kompleks yaitu melalui tahap pemucatan/peningkatan kecerahan, munculnya bau menyimpang kemudian diikuti dengan pembentukan warna coklat dan waktu lag terdeteksi selama 23-30 hari. Sedangkan pada kadar air lebih dari 16.93% dan 23.99% (suhu penyimpanan 55°C) dan penyimpanan suhu 70°C (pada semua tingkat kadar air) pencoklatan terdeteksi pada awal penyimpanan tanpa melalui fase lag. Pengukuran menggunakan parameter indeks pencoklatan lebih mewakili kondisi yang sebenarnya terlihat secara visual.

Dilihat dari kondisi bahan, reaksi pencoklatan mulai meningkat dengan signifikan sekitar 15 derajat diatas T_g kasein dan 10°C dibawah suhu transisi gelas dari pati. Mobilitas substrat yang merupakan reaktan proses pencoklatan mengalami peningkatan dan mampu berdifusi pada matriks yang porous.

DAFTAR PUSTAKA

- Buera MP, Karel M. 1994.** Effect of physical changes on the rated of nonenzymic browning and related reactions. *Food chemistry* 52: 167-173
- Burin L, Jouppila K, Ross Y, Kansikas J, Buera MP. 2000.** Color formation in dehydrated modified whey powder system as affected by compression and T_g. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 48: 5263-5268
- Craig I D, Parker R, Rigby N M, Cairns P, Ring S G. 2001.** Mailard reaction kinetics in model preservation system in the vicinity of the glass transition: Experiment and Theory. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 49, 4706-4712
- Hutchings JB. 1999.** Food color and appearance. Aspen Publ, Maryland.
- Karmas R, Buera MP, Karel M. 1992.** Effect of glass transition on rates of nonenzymatic browning in food system. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 40: 873-879
- Labuza TP, Salmarch M. 1981.** The nonenzymatic browning reaction as affected by water in foods di dalam Water Activity: Influence on Food Quality. Academic press New York
- Lievonen SM, T.J. Laaksonen and Y H Ross. 1998.** Glass transition and reaction rates: Nonenzymatic browning in glassy and liquid systems. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 46: 2778-2784
- Lievonen SM, Laaksonen TJ, Ross YH. 2002.** Non enzymatic browning in the vicinity of glass transition: Effects of fructosa, glucose and xylose as reducing sugar. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 50: 7034-7041
- Maltini E, Torreggiani D, Venir E, Bertolo G. 2003.** Water activity and the preservation of plant foods. *Food chemistry* 82: 79-86
- Miao S, Ross YH. 2004.** Comparison of nonenzymatic browning kinetics in spray dried and freeze dried carbohydrate based food model system. *Journal of Food Science*, 69 (7): 322-331
- Olano A, Castro IM. 1996.** Non enzymatic browning di dalam Nolllet LML (ed). Handbook of food analysis. Marcel Dekker Inc, New York
- Ross YH, Himberg MJ. 1994.** Nonenzymatic browning behavior, as related to glass transition, of a food model at chilling temperatures. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 42: 893-898
- Schebor C, Buera MP, Karel M, Chirife J. 1998.** Color formation due to non-enzymatic browning in amorphous, glassy, anhydrous, model system. *Food chemistry* 65: 427-432
- Slade L, Levine H. 1991.** Beyond water activity: recent advances based on alternative approach to the assessment of food quality and safety. *Critical Review in Food Science and Nutrition*, Volume 30, issues 2,3: (115-360).