

PERPINDAHAN PANAS DAN MASSA PADA PROSES PEMASAKAN KACANG METE DENGAN MANIPULASI TEKANAN¹

S. Mariyah², S. Rahayu³ dan B. Rahardjo³

ABSTRAK

Puffing adalah pemberian tekanan yang berupa gas dan suhu tertentu selama waktu tertentu pada bahan kemudian tekanan dilepaskan dengan tiba-tiba. Hal ini menyebabkan terjadinya eksplosi gas dan menyebabkan struktur bahan (kacang mete) menjadi porous. Pemasakan dengan manipulasi tekanan (*puffing*) digunakan untuk memperbaiki kualitas tekstur kacang mete. Berdasarkan itu maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa perpindahan panas dan massa selama proses pemasakan bertekanan (*puffing*) kacang mete. Untuk itu penelitian dilakukan dengan perpindahan panas dan massa pada variasi tekanan ruang pemasakan 4 – 6 atm, kadar air awal kacang mete 5 - 16 %, dan pada suhu ruang pemasakan 120 - 150°C. Selama pemasakan bertekanan terjadi perpindahan panas dan massa secara serempak. Pada tahap awal, panas digunakan untuk penguapan dan menaikkan suhu bahan, selanjutnya panas digunakan untuk pemasakan bahan. Penurunan kadar air bahan selama pemasakan bertekanan mengikuti hukum pendinginan Newton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air awal bahan, tekanan dan suhu pemasakan berpengaruh terhadap perubahan suhu dan kadar air bahan. Suhu dan tekanan *puffing* yang tinggi serta kadar air awal kacang mete yang rendah mengakibatkan perubahan suhu dan kadar air bahan lebih cepat.

Kata kunci : *puffing*, tekanan, suhu, kadar air, kacang mete

¹ Ditampilkan poster dalam Gelar Teknologi dan Seminar Nasional Teknik Pertanian 2008 di Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian UGM, Yogyakarta 18-19 November 2008

² Alumni Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Bulaksumur, Yogyakarta 55281

³ Dosen Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Bulaksumur, Yogyakarta 55281

A. PENDAHULUAN

Seperti halnya kacang-kacangan pada umumnya, kacang mete juga merupakan sumber protein yang baik. Kacang mete dapat dikonsumsi langsung maupun digunakan sebagai bahan baku dalam industri makanan. Kacang mete yang telah melalui proses pengolahan mempunyai nilai ekonomis yang lebih tinggi dibandingkan dengan kacang mete gelondongan. Kacang mete goreng merupakan produk dengan harga jual yang cukup tinggi dan sangat diminati konsumen. Di beberapa kawasan di Indonesia, kacang mete goreng mulai menggantikan kacang tanah. Penyerapan minyak pada proses penggorengan akan menaikkan kandungan energi. Untuk tujuan diet rendah kalori, sebaiknya dipilih kacang mete yang diolah dengan cara disangrai, dioven, atau *dimicrowave*.

Selain mempunyai kelemahan produk menjadi lebih cepat tengik, pengolahan kacang mete dengan cara penggorengan juga mempunyai kelemahan pada usaha diet rendah kalori bila dibandingkan dengan pengolahan kacang mete yang tidak menggunakan penambahan minyak. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan pemasakan camilan kacang mete dengan manipulasi tekanan tanpa penambahan media air maupun minyak seperti halnya dalam penggorengan. Dengan adanya perlakuan *puffing* atau tekanan kejut dalam operasi pemasakan bertekanan, maka akan dihasilkan produk dengan struktur bahan yang lebih porus. Semakin tinggi tingkat keporusan bahan maka tingkat kekerasan akan menurun, atau dengan kata lain bahan menjadi semakin renyah.

Untuk menghasilkan produk kacang mete *puff* (kacang mete hasil *puffing*) dengan mutu, kualitas dan cita rasa yang baik, perlu diperhatikan proses pengolahannya. Dimana dalam proses pemasakan bertekanan akan terjadi perpindahan panas dan massa sehingga perlu dikaji karakteristik perpindahan panas dan massa selama pemasakan bertekanan (pada mete) agar dapat diketahui pemodelan yang sesuai. *Puffing* adalah suatu proses pemasukan suatu gas ke dalam produk dan terjadi ekspansi gas kemudian dilepaskan untuk menjadikan struktur seluler produk mengembang atau memutuskan struktur luar (Tabeidie et al, 1992). Adapun urutan prosesnya adalah sebagai berikut : pertama gas dimasukkan ke dalam produk dengan tekanan tertentu selama waktu tertentu, kemudian tekanan gas dilepas dalam sekejap sehingga akan terbentuk saluran atau celah-celah dalam bahan serta struktur bahan menjadi lebih porus. Dengan semakin porus suatu bahan berarti ruang pori-pori bahan akan semakin besar, ikatan air dengan senyawa atau komponen lainnya pada bahan tersebut

makin lemah. Apabila bahan tersebut diletakkan pada udara panas, maka lengas bahan akan semakin cepat kering. Di lain hal, semakin tinggi tingkat keporusan bahan maka tingkat kekerasan akan menurun (Mohsenin, 1960).

Puffing merupakan sebuah rekayasa yang dilakukan terhadap bahan dengan tujuan untuk menghasilkan produk yang lebih *porous* sehingga mampu meningkatkan kemampuan bahan tersebut untuk melepas kadar airnya ke lingkungan. Perlakuan *puffing* dengan udara akan mengakibatkan porositas bahan menjadi lebih besar. Hal ini dikarenakan pada proses *puffing* dengan udara dapat menyebabkan pemutusan struktur seluler luar (*pericarp*) sehingga bahan menjadi lebih porus. Dengan membesarnya porositas bahan akan mempermudah uap air dari dalam bahan untuk berdifusi keluar (Tabeidie, 1992). Menurut Perry (1999), proses difusi dalam bahan padatan berpori (*porous solids*) merupakan sebuah faktor yang paling penting dalam analisis transfer massa antara lain pada proses pengeringan. Menurut Waanen dan Okos (1996), laju pengeringan bahan pertanian akan dipengaruhi oleh porositas bahan. Semakin besar pori-pori bahan, semakin besar pula konstanta laju pengeringannya.

Ada beberapa macam gas yang telah digunakan dalam *puffing* antara lain adalah gas karbondioksida (CO_2), udara dan uap panas (steam). Wartono (1999) dalam penelitiannya menggunakan gas karbondioksida (CO_2) dan udara sebagai gas yang digunakan untuk perlakuan *puffing*. Udara terdiri dari beberapa komponen gas, yang dominan adalah gas nitrogen (N_2) diikuti gas oksigen (O_2) dan gas argon (Ar). Besarnya tekanan ekspansi gas yang digunakan dalam *puffing* akan mempengaruhi tingkat pengembangan struktur seluler bahan. Semakin tinggi tingkat penekanan *puffing* yang dikenakan pada suatu bahan maka struktur seluler bahan akan semakin mengembang yang berarti juga bahan menjadi lebih porus. Kenaikan tekanan udara sebanding dengan kenaikan suhu pada volume yang tetap. Sesuai dengan teori gas ideal ($p.V=n.R.T$), semakin besar tekanan udara *puffing* pada volume yang tetap maka suhu dalam tabung dan bahan akan semakin tinggi. Suhu yang tinggi akan mempercepat waktu pematangan bahan.

Dengan demikian tujuan utama penelitian ini adalah mengembangkan model perpindahan panas dan massa selama pemasakan dengan manipulasi tekanan pada kacang mete serta menentukan riwayat suhu dan kadar air selama pemasakan bertekanan pada berbagai variasi suhu dan tekanan. Untuk itu tujuan penelitian meliputi menentukan nilai

koefisien perpindahan panas konveksi dan nilai konstanta laju perubahan kadar air selama pemasakan bertekanan pada berbagai variasi kadar air awal bahan, suhu dan tekanan pemasakan.

B. METODE DAN BAHAN PENELITIAN

1. Pendekatan Teori

Pemasakan dengan manipulasi tekanan merupakan proses yang melibatkan perpindahan panas dan massa yang terjadi secara bersamaan. Pada pemasakan dengan manipulasi tekanan yang dilakukan dalam penelitian ini, bahan dimasak dalam suatu ruang pemasakan dengan tekanan dan suhu ruang yang bisa diatur. Proses pemasakan dilakukan dengan cukup waktu sampai bahan masak. Pemasakan dilakukan tanpa media seperti air, minyak dan sebagainya. Dengan demikian bahan akan mengalami pemasakan dengan memanfaatkan air dalam bahan itu sendiri.

Perpindahan panas secara konveksi bersamaan dengan konduksi, setelah adanya kontak langsung antara bahan dengan aliran cairan suhu dalam bahan dapat dianggap merata. Analisa perpindahan panas dan massa dalam biji mete selama pemasakan dengan anggapan mete sebagai benda kecil sehingga suhu dianggap merata. Berdasarkan itu pindah panas dapat mengikuti model “*lumped system*” atau dikemukakan sebagai berikut:

$$m C_p \frac{dT}{dt} = -h A (T - T_\infty)$$

Penyelesaian persamaan diatas merupakan riwayat suhu dalam partikel atau sebagai berikut:

$$\frac{T(t) - T_\infty}{T_0 - T_\infty} = e^{-\left(\frac{hA}{\rho C_p V}\right)t}$$

Pemasakan bertekanan melibatkan proses pengeringan, maka dalam analisa kadar air dapat digunakan analogi hukum pendinginan Newton dengan analisa pengering. Dengan asumsi bahwa laju kehilangan lengas dari sebutir bijian yang dikelilingi udara pengering sebanding dengan perbedaan antara kadar air bijian dan kadar air setimbang, maka dapat dinyatakan :

$$\frac{dM}{dt} = K_x (M - M_e)$$

Persamaan diatas dapat diselesaikan sehingga didapatkan model atau persamaan untuk penguapan air :

$$\frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = e^{-k \cdot t}$$

Kadar air setimbang merupakan kadar air bahan pada kondisi tekanan uap air bahan sama dengan tekanan uap air pada lingkungan sekitarnya pada suhu dan kelembaban yang konstan.

C. EKSPERIMENTASI

1. Tempat penelitian.

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Pangan dan Pascapanen serta di Laboratorium Teknik Lingkungan dan Bangunan Pertanian Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

2. Sampel dan bahan penelitian.

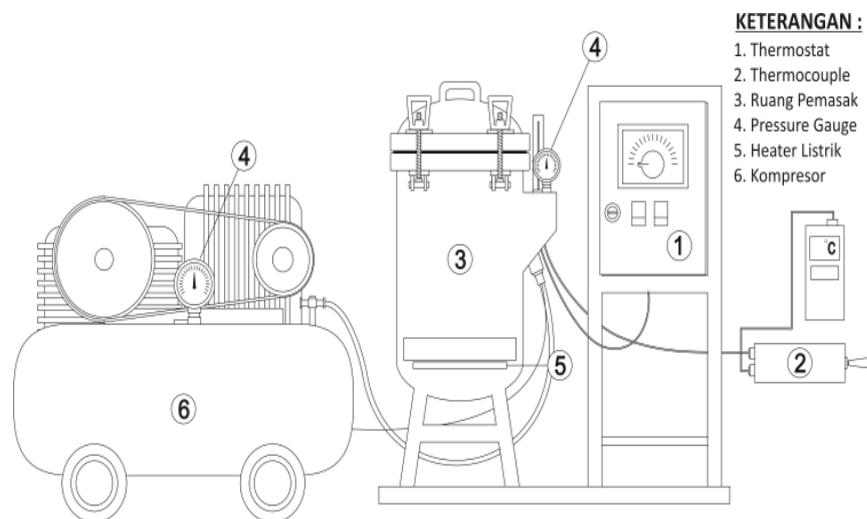
Sampel yang digunakan dalam penelitian ini berupa kacang mete. Kacang mete didapatkan di daerah sekitar Yogyakarta. Kadar air awal divariasikan dengan secara memberi air pada mete kering sehingga didapatkan kisaran kadar air awal sebesar 4, 11 dan 16%. Dengan hasil kadar air awal tersebut dapat ditentukan sifat fisik dari bahan, antara lain panas jenis (C_p), konduktivitas bahan (k) dan berat jenis bahan (ρ) yaitu seperti pada **Table 1** berikut:

Tabel 1. Sifat fisik kacang mete

No	Kadar air awal (M_0 , %)	Densitas (ρ , kg/m^3)	Panas jenis (C_p , $\text{J/kg}^\circ\text{C}$)	Konduktivitas (k , $\text{W/m}^\circ\text{C}$)
1.	4,56	1077,4	989	0,1977
2.	11,17	1100,2	1211	0,2360
3.	16,29	1176,0	1382	0,2657

3. Peralatan penelitian.

Peralatan yang dipergunakan antara lain alat pemasak bertekanan untuk melakukan pemasakan sekaligus *puffing*, kompresor sebagai pemberi tekanan pada saat pemasakan, oven listrik digunakan untuk menghitung kadar air setimbang dengan cara mengeringkan sampel sampai kering mutlak serta timbangan analit yang berfungsi untuk menentukan massa sampel pada saat pengukuran kadar air. Selain peralatan di atas, terdapat pula beberapa alat lainnya seperti stopwatch, *thermocouple*, cawan sampel, pinset, eksikator, plastik sampel, dan kertas label.



Gambar 1. Peralatan masak dengan *puffing* tekanan udara.

4. Pelaksanaan Penelitian.

Dalam penelitian ini, tekanan yang dipergunakan adalah 3,72 atm, 5,08 atm, dan 6,44 atm. Suhu yang dipakai selama pemasakan bertekanan ini adalah 120°C, 135°C, dan 150°C. Pemakaian suhu di bawah 120°C tidak digunakan karena memakan waktu yang lama, sedangkan pemakaian suhu di atas 150°C dinilai akan membuat bahan cepat gosong atau rusak. Kisaran waktu pemasakan disajikan dalam **Tabel 2** sebagai berikut :

Tabel 2. Waktu pemasakan pada berbagai suhu dan tekanan

P (atm)	M ₀ (%)	t masak (menit) pada suhu		
		120°C	135°C	150°C
3,72	5	35	28	10
	11	38	30	12
	16	42	33	14
5,08	5	28	20	8
	11	30	22	10
	16	33	24	12
6,44	5	20	14	6
	11	27	18	8
	16	30	20	10

Berdasarkan waktu matangnya, ditentukan selang waktu pengukuran selama pemasakan. Penentuan selang waktu pengukuran dilakukan dengan mengambil 6 titik waktu antara bahan mentah hingga bahan mengalami kematangan. Interval waktu pengamatan penurunan kadar air bahan tercantum dalam **Tabel 3**.

Tabel 3. Waktu pengamatan penurunan kadar air bahan pada berbagai suhu, kadar air awal dan tekanan

P (atm)	M ₀ (%)	Interval waktu pengamatan penurunan kadar air bahan		
		120°C	135°C	150°C
3,72	5	0,7,14,21,28,35	0,5,10,16,22,28	0,2,4,6,8,10
	11	0,6,12,18,24,31,38	0,5,10,15,20,25,30	0,2,4,6,8,10,12
	16	0,7,14,21,28,35,42	0,5,10,15,21,27,33	0,2,4,6,8,11,14
5,08	5	0,4,8,12,16,20,24,28	0,4,8,12,16,20	0,2,3,4,6,7,8
	11	0,5,10,15,20,25,30	0,3,6,10,14,18,22	0,2,4,6,8,10
	16	0,5,10,15,21,27,33	0,4,8,12,16,20,24	0,2,4,6,8,10,12
6,44	5	0,4,8,12,16,20	0,2,4,6,8,10,12,14	0,1,2,3,4,5,6
	11	0,4,8,12,17,22,27	0,3,6,9,12,15,18	0,2,3,4,6,7,8
	16	0,5,10,15,20,25,30	0,3,6,9,12,16,20	0,2,4,6,8,10

Interval pengamatan penurunan kadar air bahan tidak sama untuk setiap suhu dan tekanan. Karena setiap suhu dan tekanan pada pemasakan mengakibatkan waktu kematangan yang berbeda, waktu pengamatan juga dibedakan.

5. Pengambilan Data.

Pada pengambilan data suhu, *thermocouple* dipasang pada bagian tengah bahan, lalu diukur suhu awal bahan. Bahan kemudian dimasukkan dalam ruang pemasakan dengan suhu udara ruang pemasakan sebesar 120°C. Setelah itu, ruang pemasakan diberikan tekanan sebesar 3,7 atm kemudian dicatat perubahan suhu tiap menit hingga bahan matang. Perlakuan ini diulang untuk suhu ruang 135°C dan 150°C, juga untuk tekanan 5, atm dan 6 atm. Pengaturan suhu ruang dilakukan dengan mengatur *thermostat control* sesuai dengan suhu yang diinginkan.

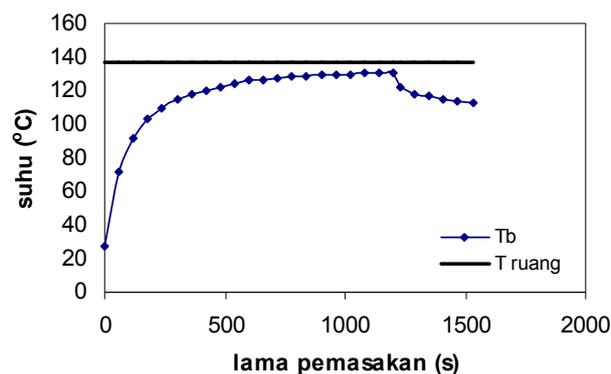
6. Analisa data.

Konstanta laju pindah panas laju pengeringan ditentukan berdasarkan persamaan laju penguapan dan dicari dengan menggunakan regresi linier. Regresi dilakukan dengan program komputer yang ada.

D. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

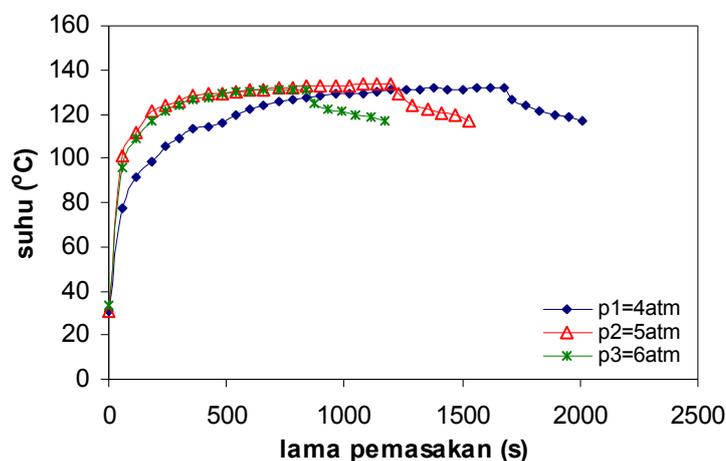
1. Perpindahan Panas

Perubahan suhu pusat bahan selama proses pemasakan diperlihatkan pada **Gambar 2** berikut :



Gambar 2. Perubahan suhu bahan selama pemasakan dengan kadar air awal 16%, suhu ruang pemasakan 135°C dan tekanan 6 atm

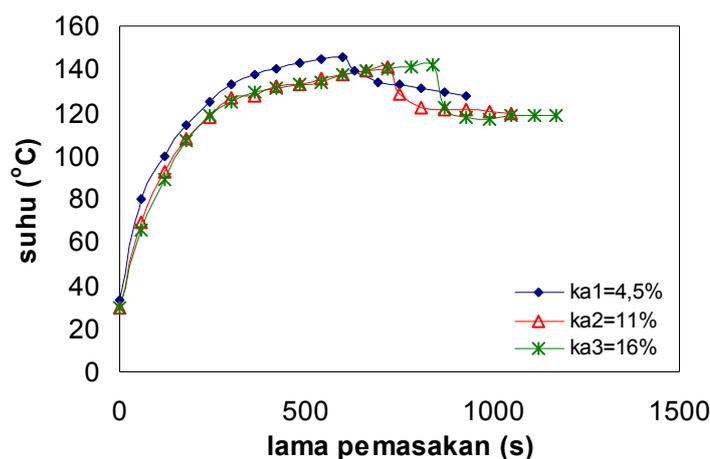
Dari **Gambar 2** dapat dilihat bahwa pada awal pemasakan suhu bahan akan naik. Setelah beberapa saat, suhu bahan cenderung konstan dan kemudian naik lagi. Kenaikan suhu bahan saat awal pemasakan mengindikasikan adanya perpindahan panas dari udara sebagai media ke dalam bahan. Panas ini menyebabkan adanya kenaikan suhu dan penguapan air. Pada tahap selanjutnya, panas lebih banyak digunakan untuk proses pemasakan dan penguapan lebih lanjut, maka pada masa ini suhu bahan cenderung konstan dan mendekati suhu ruang pemasakan. Setelah itu panas digunakan lagi untuk menaikkan suhu bahan sehingga pada gambar dapat dilihat bahwa grafik naik lagi. Proses perpindahan panas dalam bahan terjadi secara konduksi. Proses pemasakan *puffing* ini dilakukan dengan menurunkan tekanan secara tiba-tiba atau biasa disebut dengan istilah tekanan kejut hingga mencapai tekanan 1 atm, juga mematikan pemanas (*heater*). Pada kondisi di atas, penurunan tekanan dilakukan pada waktu (t) =1200s. Penurunan tekanan memakan waktu 30 detik sehingga dapat dilihat bahwa pada waktu (t) =1230s, suhu bahan turun sangat mencolok. Hal ini disebabkan karena udara panas dari dalam tabung (ruang) pemasakan terdorong keluar. Kondisi setelah pemasakan *puffing* ini selanjutnya disebut sebagai kondisi pendinginan. Semakin lama waktu pendinginan, suhu bahan akan mengalami penurunan. Grafik perubahan suhu bahan dengan variasi tekanan dan kadar air awal bahan :



Gambar 3. Perubahan suhu bahan selama pemasakan dengan kadar air awal 4,5% dan suhu ruang pemasakan 135°C pada berbagai variasi tekanan pemasakan

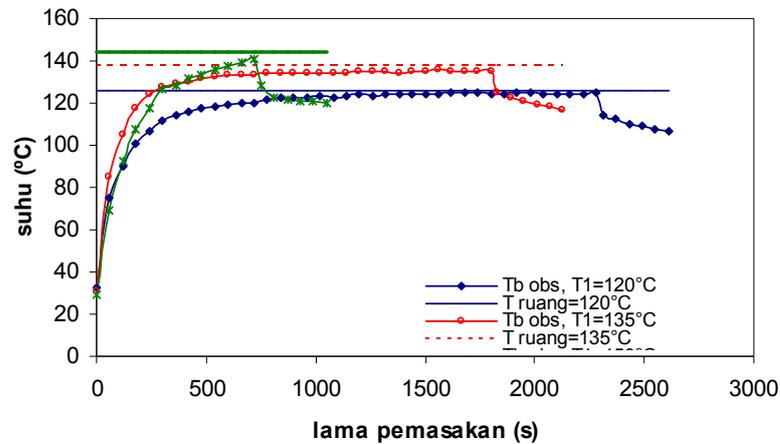
Dari **Gambar 3** dapat kita lihat bahwa pada awal pemasakan, kenaikan suhu bahan semakin cepat tercapai dengan semakin tingginya tekanan pada ruang pemasakan. Pada

tekanan 4 atm pada saat $t=300$ detik, suhu bahan $113,67^{\circ}\text{C}$ sedangkan pada tekanan 6 atm, suhu bahan sebesar $113,67^{\circ}\text{C}$ dapat dicapai pada waktu $t=120$ detik. Pada kadar air awal dan suhu pemasakan yang sama, semakin tinggi tekanan ruang pemasakan yang digunakan, kenaikan suhu bahan terjadi lebih cepat dibandingkan dengan pemasakan pada tekanan yang lebih rendah. Setelah pemanas dimatikan dan tekanan diturunkan secara tiba-tiba, suhu bahan yang semula mendekati suhu ruang pemasakan akan turun cukup drastis. Penurunan suhu bahan akan semakin besar pada bahan yang dimasak dengan tekanan yang juga semakin besar. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa semakin tinggi tekanan pemasakan akan menyebabkan penurunan suhu yang juga semakin besar setelah tekanan diturunkan hingga mencapai tekanan atmosfer. Setelah bahan didiamkan selama 5 menit (300 detik), ternyata suhu bahan hampir sama. Pada tekanan 4 atm dan tekanan 5 atm, suhu bahan $117,33^{\circ}\text{C}$. Sedangkan pada tekanan 6 atm suhu bahan setelah didiamkan selama 5 menit adalah sebesar 117°C .



Gambar 4. Perubahan suhu bahan selama pemasakan pada tekanan 4 atm dan suhu ruang pemasakan 150°C pada berbagai variasi kadar air awal

Dari **Gambar 4** di atas dapat diketahui bahwa semakin tinggi kadar air awal bahan, untuk mencapai suhu bahan yang sama diperlukan waktu yang lebih lama. Sebaliknya dengan semakin rendahnya kadar air bahan, kenaikan suhu bahan semakin cepat. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa pada suhu dan tekanan yang sama, kenaikan suhu bahan berbanding terbalik dengan kadar air awal bahan. Penurunan suhu bahan setelah dilakukan puffing akan berbanding lurus dengan kadar air awal bahan.



Gambar 5. Perubahan suhu bahan selama pemasakan pada tekanan ruang pemasakan 5 atm dengan kadar air awal 11% pada berbagai variasi suhu ruang pemasakan

Dari **Gambar 5** di atas dapat dilihat bahwa semakin tinggi suhu ruang pemasakan, untuk mencapai suhu bahan yang sama diperlukan waktu yang lebih cepat. Sebaliknya dengan semakin rendahnya suhu ruang pemasakan, kenaikan suhu bahan semakin lambat. Suhu bahan cenderung mendekati suhu ruang pemasakan. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa pada kadar air awal bahan dan tekanan ruang pemasakan yang sama, kenaikan suhu bahan berbanding lurus dengan suhu ruang pemasakannya. Penurunan suhu bahan setelah dilakukan puffing akan berbanding terbalik dengan suhu ruang pemasakan.

Berdasarkan riwayat suhu pemasakan maka dapat dicari koefisien pindah panas saat h_1 saat pemasakan dan koefisien pindah panas h_2 saat pendinginan. Hasil perhitungan disajikan pada **Tabel 4** berikut ini.

Tabel 4. Nilai koefisien perpindahan panas konveksi pemanasan dan pendinginan pada berbagai variasi tekanan, kadar air awal bahan, dan suhu pemasakan

p (atm)	Mo (%)	T (°C)	h_1 , pemanasan	h_2 pendinginan
4	4,5	120	5,74	2,62
		135	6,07	2,79
		150	8,69	525
	11	120	10,87	3,28
		135	11,48	3,49
		150	12,10	5,54

5	16	120	11,50	3,25	
		135	12,51	4,00	
		150	12,76	5,50	
	4,5	11	120	9,18	2,62
			135	9,51	3,44
			150	9,84	7,05
		16	120	10,05	2,67
			135	10,25	3,08
			150	11,07	4,92
6	4,5	120	11,75	3,00	
		135	12,26	4,00	
		150	13,76	7,00	
	11	16	120	8,85	3,77
			135	11,15	5,58
			150	15,09	9,02
		4,5	120	9,02	3,69
			135	12,30	4,72
			150	12,51	5,13
16	120	13,01	3,75		
	135	13,76	4,50		
	150	17,76	8,00		

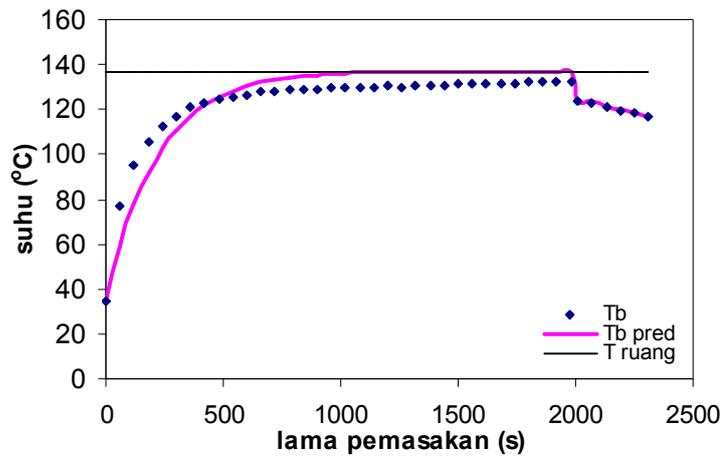
Analisa hubungan nilai koefisien pindah panas konveksi (h) sebagai fungsi tekanan (P) , kadar air awal (M₀) dan suhu (T) dilakukan dengan menggunakan analisa statistik multiple regression dengan hasil berikut dengan masing masing untuk pemanasan dan pendinginan:

$$h_1 = 1 \begin{pmatrix} -1 \\ 7 \\ 6 \\ 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 4 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} M_0 \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \\ 8 \\ 4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 5 \\ 1 \end{pmatrix} T$$

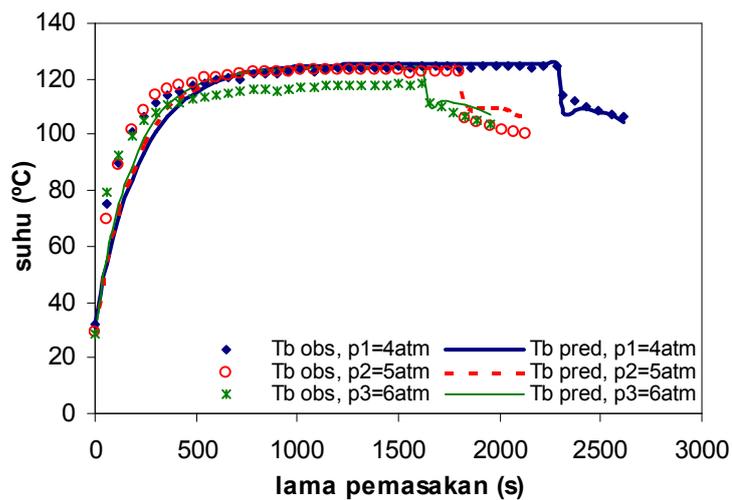
dan

$$h_2 = 1 \begin{pmatrix} -6 \\ 2 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 4 \\ 9 \end{pmatrix} M_0 \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 3 \\ 0 \\ 3 \end{pmatrix} T$$

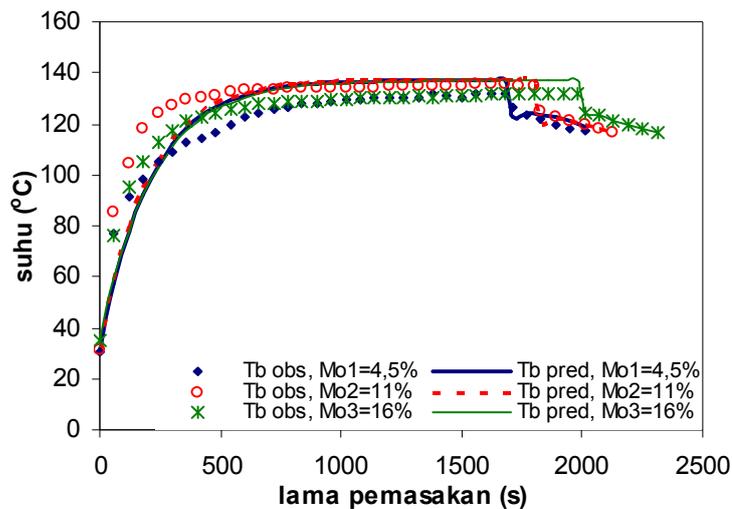
Keterdekatan antara suhu observasi dan suhu prediksi dengan persamaan diatas secara berturut disajikan pada **Gambar 6** sampai **8**.



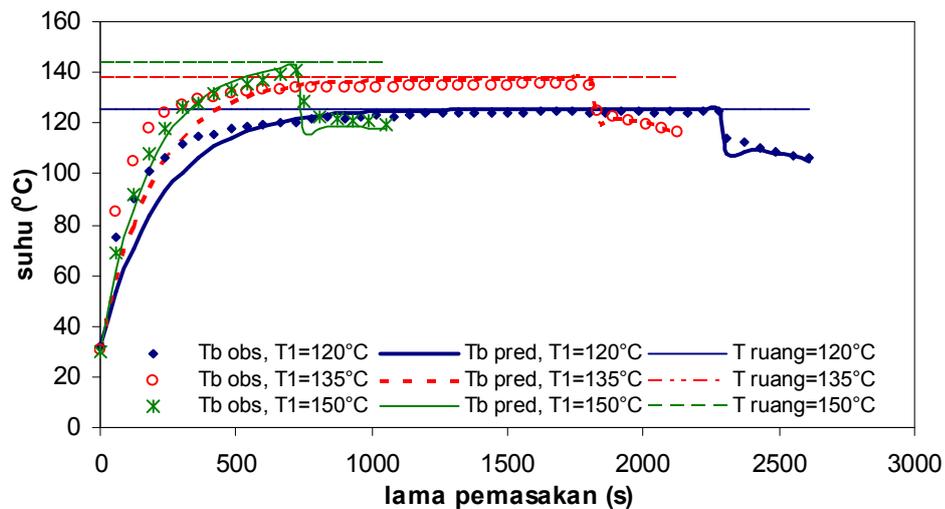
Gambar 6. Perubahan suhu bahan selama pemasakan dengan kadar air awal 16% pada suhu ruang pemasakan 135°C dan tekanan 4 atm



Gambar 7. Perubahan suhu bahan selama pemasakan dengan kadar air awal 11% dan suhu ruang pemasakan 120°C pada berbagai variasi tekanan pemasakan



Gambar 8. Perubahan suhu bahan selama pemasakan pada tekanan 4 atm dan suhu pemasakan 135°C pada berbagai variasi kadar air awal

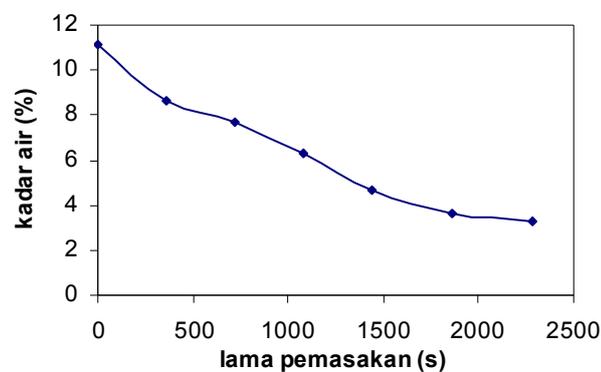


Gambar 9. Perubahan suhu bahan selama pemasakan pada tekanan 4 atm dengan kadar air awal 11% pada berbagai variasi suhu ruang pemasakan

Dari **Gambar 6** hingga **9** dapat dilihat bahwa antara suhu observasi dan suhu prediksi selama proses pemasakan cenderung sama dan pada akhir pemasakan suhu observasi dan prediksi sama-sama mendekati suhu ruang pemasakan. Setelah pemasakan dan dilanjutkan proses puffing suhu bahan observasi dan prediksi mengalami penurunan yang sangat besar.

2. Penguapan Air Bahan selama Pemasakan

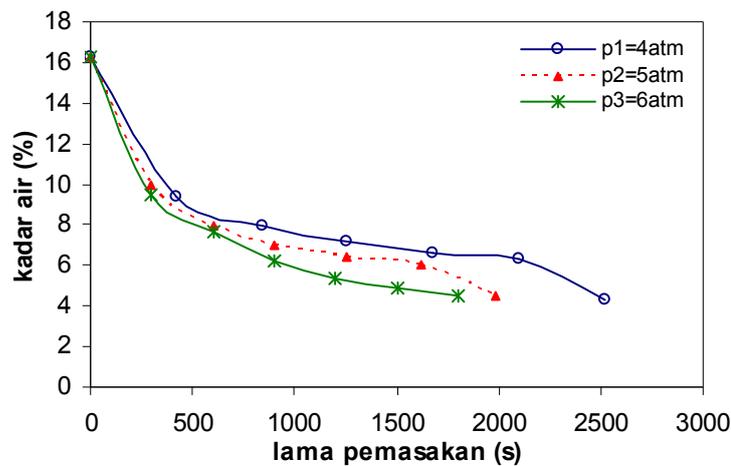
Kacang mengalami penurunan kadar air selama proses pemasakan dengan manipulasi tekanan (**Gambar 10**). Pada awal pemasakan, kadar air turun cukup tajam dan selanjutnya turun secara bertahap. Fenomena tersebut menunjukkan bahwa pada awal pemasakan, air yang diuapkan cukup banyak dimana pada tahap ini panas digunakan untuk penguapan, selanjutnya panas digunakan untuk menaikkan suhu bahan.



Gambar 10. Perubahan kadar air kacang mete dengan kadar air awal 11% selama pemasakan dengan suhu 120°C dan tekanan 4 atm

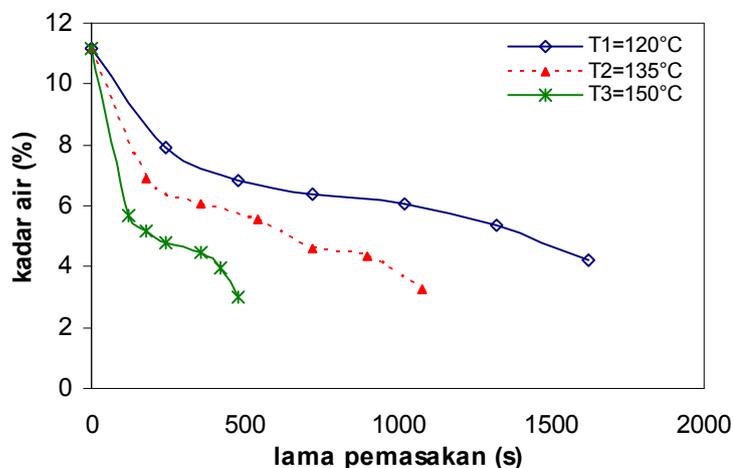
Setelah tertahan selama pemasakan dengan tekanan tinggi, air dalam bahan menguap pada saat tekanan diturunkan secara tiba-tiba. Penurunan kadar air bahan tersebut mengikuti kurva eksponensial, dimana semakin lama waktu pemasakan semakin banyak pula jumlah air yang diuapkan.

Selama pemasakan dalam berbagai variasi tekanan pemasakan pada kadar air awal 16% dan suhu pemasakan sebesar 120°C menunjukkan penurunan kadar air bahan (**Gambar 11**). Dari gambar tersebut terlihat bahwa pemasakan dengan menggunakan tekanan yang lebih kecil akan membentuk kurva yang lebih panjang. Hal ini dapat terjadi karena pada pemasakan dengan tekanan yang lebih tinggi, jumlah air yang menguap juga lebih besar.



Gambar 11. Perubahan kadar air bahan selama pemasakan untuk kadar air awal 16% dan suhu pemasakan 120°C pada berbagai variasi tekanan ruang pemasakan

Penurunan kadar air mete pada saat pemasakan dengan kadar air awal 11% dan tekanan sebesar 6 atm diperlihatkan pada **Gambar 12**.. Dari gambar tersebut terlihat bahwa semakin tinggi suhu pemasakan, penurunan kadar air bahan juga semakin besar.

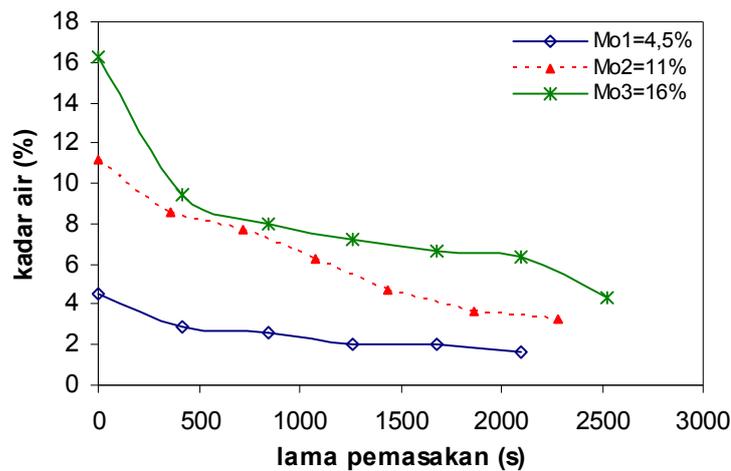


Gambar 12. Perubahan kadar air bahan selama pemasakan pada tekanan 6atm dan kadar air awal 11% pada berbagai variasi suhu pemasakan

Pada suhu pemasakan 150°C jumlah air yang diuapkan lebih banyak dan dalam waktu yang lebih singkat dibandingkan pada suhu pemasakan 135°C maupun 120°C. Hal ini dapat terjadi karena pada suhu pemasakan yang lebih tinggi, panas yang diterima bahan pun lebih banyak sehingga lebih banyak pula jumlah air yang dapat diuapkan. Fenomena

tersebut dapat terlihat pada gambar bahwa kurva penurunan kadar air bahan pada suhu rendah lebih panjang daripada kurva penurunan kadar air bahan pada suhu yang lebih tinggi.

Penurunan kadar air mete pada saat pemasakan dengan tekanan sebesar 4 atm dan suhu pemasakan 120°C disajikan pada **Gambar 13**. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa pada awal pemasakan, kadar air akan turun dengan drastis.



Gambar 13. Perubahan kadar air bahan selama pemasakan pada tekanan 4 atm dan suhu ruang pemasakan 120°C pada berbagai variasi kadar air awal

Semakin tinggi kadar air awal bahan, maka semakin besar pula penurunan kadar air bahan di awal pemasakan. Namun demikian pada kadar air awal yang tinggi, untuk mencapai nilai kadar air akhir bahan yang sama diperlukan waktu yang lebih lama. Hal ini dapat dilihat pada panjang kurva pada kadar air awal yang rendah lebih pendek bila dibandingkan dengan panjang kurva pada kadar air awal bahan yang lebih tinggi.

Dari data hasil pengamatan, dalam pemasakan dengan manipulasi tekanan terjadi perpindahan panas dan massa secara serempak seperti pengeringan. Maka dari itu dapat digunakan analogi persamaan pengeringan yang dijabarkan dalam hukum pendinginan Newton. Dari persamaan tersebut diperoleh nilai K_x untuk tiap suhu pemasakan dan kadar air awal seperti disajikan pada **Tabel 5** :

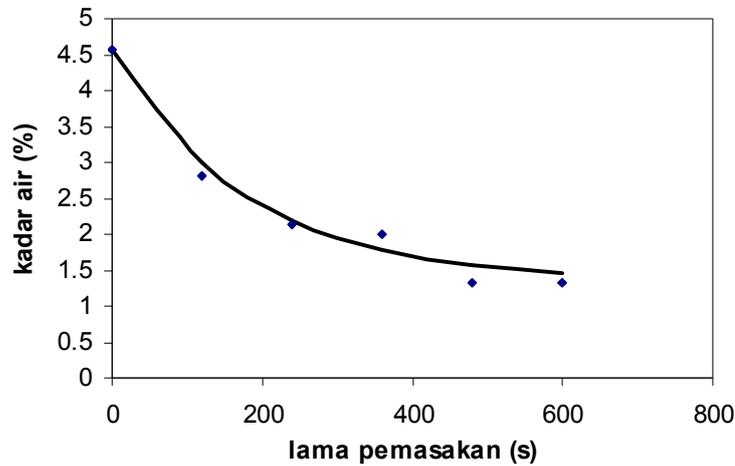
Tabel 5. Konstanta laju penurunan kadar air (Kx) kacang mete pada berbagai tekanan, kadar air awal dan suhu pemasakan

p (atm)	ka awal (%)	T (°C)	Kx observasi
4	4,5	120	0,0019
		135	0,0022
		150	0,0049
	11	120	0,0008
		135	0,0027
		150	0,0033
	16	120	0,0014
		135	0,0030
		150	0,0074
5	4,5	120	0,0021
		135	0,0055
		150	0,0097
	11	120	0,0013
		135	0,0024
		150	0,0046
	16	120	0,0021
		135	0,0035
		150	0,0067
6	4,5	120	0,0046
		135	0,0056
		150	0,0143
	11	120	0,0021
		135	0,0034
		150	0,0059
	16	120	0,0026
		135	0,0055
		150	0,0068

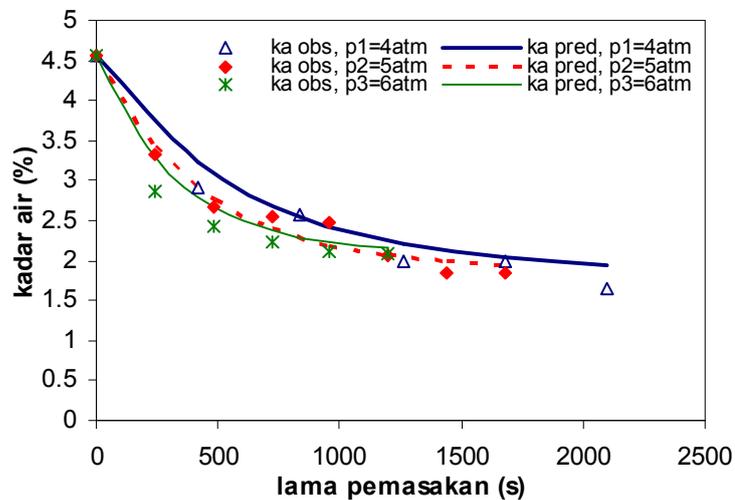
Dari hasil observasi, dapat dilihat bahwa nilai Kx akan semakin tinggi dengan meningkatnya suhu ruang pemasakan. Analisa hubungan laju penurunan kadar air (Kx) sebagai fungsi tekanan, kadar air awal dan suhu pemasakan dapat dilakukan dengan menggunakan analisis statistik multiple regression sebagai berikut :

$$K_x = 1 \begin{pmatrix} -1 \\ 4 \end{pmatrix} \cdot p + 0 \begin{pmatrix} 7 \\ 9 \\ 8 \end{pmatrix} \cdot M + 0 \begin{pmatrix} -0 \\ 2 \\ 4 \\ 3 \end{pmatrix} \cdot T + \begin{pmatrix} 5 \\ 2 \\ 9 \end{pmatrix}$$

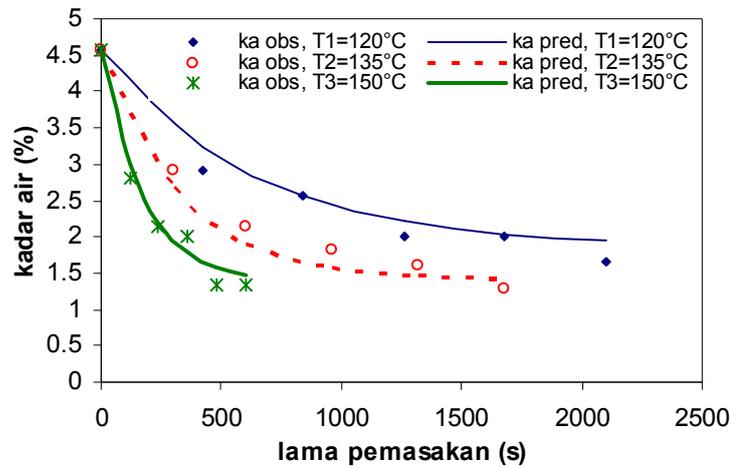
Keterdekatan antara kadar air hasil observasi dengan kadar hasil perhitungan persamaan diatas diperlihatkan dengan mengplotkan kadar air observasi dan kadar air perhitungan pada **Gambar 14** sampai **19** berikut ini.



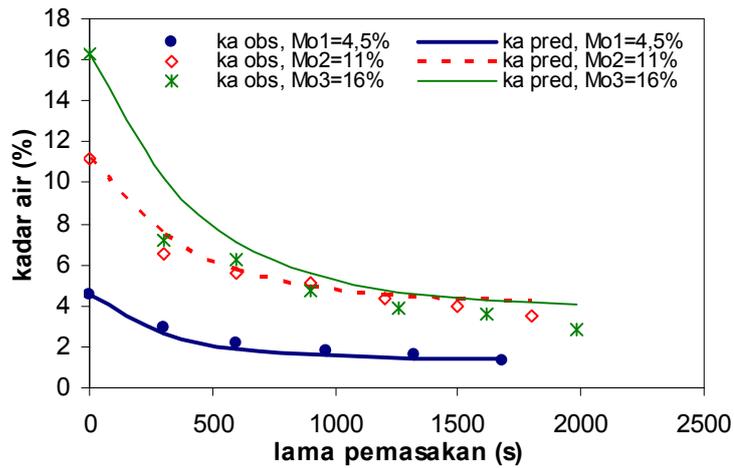
Gambar 14. Perubahan kadar air bahan observasi dan prediksi selama pemasakan mete dengan tekanan 4 atm, kadar air awal 4,5% dan suhu pemasakan 150°C



Gambar 15. Perubahan kadar air bahan observasi dan prediksi selama pemasakan mete dengan kadar air awal 4,5% dengan suhu pemasakan 120°C pada berbagai variasi tekanan pemasakan



Gambar 16. Perubahan kadar air bahan observasi dan prediksi selama pemasakan mete dengan kadar air awal 4,5% dan tekanan 4 atm pada berbagai variasi suhu pemasakan



Gambar 17. Perubahan kadar air bahan observasi dan prediksi selama pemasakan mete dengan tekanan 4 atm dan suhu pemasakan 135°C pada berbagai variasi kadar air awal bahan

Dari **Gambar 14** hingga **19** dapat dilihat bahwa antara kadar air hasil observasi dan kadar air dihitung dengan persamaan diatas cenderung sama.

E. KESIMPULAN

Model matematik koefisien perpindahan panas konveksi dan laju perubahan kadar air yang dihasilkan dapat diaplikasikan pada pemasakan kacang mete dengan manipulasi tekanan. Kadar air awal bahan, tekanan dan suhu pemasakan berpengaruh terhadap perubahan suhu dan kadar air bahan. Suhu dan tekanan ruang *puffing* yang tinggi serta kadar air awal kacang mete yang rendah mengakibatkan perubahan suhu dan kadar air bahan yang lebih cepat.

DAFTAR NOTASI

A	= luas permukaan	m^2
C _p	= panas jenis	$\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$
h	= koefisien perpindahan panas konveksi	$\text{W/m}^2^\circ\text{C}$
h ₁	= koefisien perpindahan panas konveksi, pemasakan	$\text{W/m}^2^\circ\text{C}$
h ₂	= koefisien perpindahan panas konveksi, pendinginan	$\text{W/m}^2^\circ\text{C}$
k	= koefisien perpindahan panas konduksi	$\text{W/m}^\circ\text{C}$
K _x	= konstanta laju penurunan kadar air (pengeringan)	/s
m	= massa bahan	kg
M	= kadar air bahan	%
M _e	= kadar air setimbang	%
M ₀	= kadar air awal	%
p	= tekanan ruang pemasakan	atm
T, T _b	= suhu bahan	$^\circ\text{C}$
T ₀	= suhu bahan awal	$^\circ\text{C}$
T _∞	= suhu ruang pemasakan	$^\circ\text{C}$
T	= waktu	s
V	= volume bahan	m^3
α	= difusivitas panas	m^2/s
ρ	= densitas bahan	kg/m^3

DAFTAR PUSTAKA

- Aflikhah, A.N., 2005, *Perpindahan Panas dan Massa pada Penggorengan Vakum Keripik Pepaya*, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Anonim¹, 1967, *Daftar Komposisi Bahan Makanan*, Direktorat Gizi Departemen Kesehatan RI, Jakarta
- Bakker, A, et all, 1982, *Drying Cereal Grains*, The AVI Publishing Company, Inc Westport Connecticut
- Heldman, D.R. & Lund, 1992, *Handbook of Food Engineering*, Marcell Dekker, New York
- Heldman, D.R, & R.P. Singh, 2001, *Introduction to Food Engineering*, Third Edition, Academic Press, London
- Incropera, Frank and Dewitt, P. David, 1980, *Fundamentals of Heat Transfer*
- Kreith, Frank, 1973, *Principle of Heat Transfer*, Harper and Row Publisher, Inc. New York
- Krokida, M.K., 2000, *Water Loss and Oil Uptake as a Function of Frying Time*, Journal of Food Engineering vol 44 (200) : 39-46
- Labuza, T.P, & Riboh, D, 1982, *Theory and Application of Arrhenius Kinetics of Nutrient Losses in Foods*, Journal of Food Technology, October, 1982 : 66-74
- Mohsenin, N.N., 1970, *Physical Properties of Plant and Animal Materials*, Vol I, Gordon and Breach Science Publisher, New York-London-Paris
- Morreira, R.G, M.E, Castell – Perez dan M.A. Barrufet, 1999, *Deep Fat Frying : Fundamentals and Applications*, Aspen Publishers, Inc. Maryland
- Muljohardjo, Muchdi., 1990, *Jambu Mete dan Teknologi Pengolahannya*, Liberty, Yogyakarta
- Myers, E.G, 1971, *Analytical Methods in Conduction Heat Transfer*. Mc Graw-Hill Book Company, University of Wisconsin Madison
- Nainggolan, W.S., 1987, *Termodinamika : Teori dan Soal-Penyelesaian*, Armico, Bandung
- Nirwana, Ira, 2005, *Perpindahan Panas dan Massa dalam Penggorengan Rendam Minyak Kacang Atom*, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

- Ozisik, M.N, 1980, *Heat Conduction*, John Willey and Sons
- Perry, 1999, *Chemical Hand Book*, The Mc Graw-Hill Companies, Inc
- Sahin, S., et al, 1999, *The Determination of Convective Heat Transfer Coefficient during Frying*, Journal of Food Engineering vol 39 (1999) : 307-311
- Setyarso, N.A., 2004, *Perpindahan Panas dan Massa pada Kentang Berbentuk Silinder selama Penggorengan Tekanan Hampa*, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Tabeidie, Z., F.A, Payne and Cornelius, P.L., 1992, *Puffing Potato Pieces with Carbondioksida* Transactions ASAE 35 (6) :1935
- Waananen, K.M and Okos, M.R, 1996, *Effect of Porosity on Moisture Diffusion during Drying of Pasta*, Journal of Food Engineering 28 : 121-137
- Wartono, 1999, *Peningkatan Laju Pengeringan Umbi-Umbian dengan Menggunakan Puffing Gas CO₂ dan Udara*, Jurusan Mekanisasi Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Wibowo, Supriadi., 2001, *Kajian Sifat Mekanis Hasil Pengeringan Umbi-Umbian Pasca Perlakuan Puffing Udara dengan Pemanasan dan Tekanan Udara*, Jurusan Mekanisasi Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Winarto, 2002, *Perpindahan Panas pada Produk Pertanian Berbentuk Bola Pejal selama Proses Pemasakan*, Program Pasca Sarjana UGM, Yogyakarta
- Xiong, X., Narsimhan, G. dan Okos, M.R., 1991, *Effect of Composition and Pore Structure on Binding Energy and Effective Diffusivity of Bread as a Function of Porosity*, J. of Food Engineering, 26 : 497-510