

Kinetika Perubahan Sifat Fisik dan Kadar Tanin Biji Sorgum (*Sorghum Bicolor* L.) Selama Perendaman

Kinetics of Changes on Physical Properties and Tannin Level of Sorghum Seeds (*Sorghum Bicolor* L.) during Soaking

A. Asropi*, Nursigit Bintoro, Joko Nugroho Wahyu Karyadi, Sri Rahayoe, Arifin Dwi Saputro

Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian,
Universitas Gadjah Mada, Jl. Flora No. 1, Bulaksumur, Yogyakarta 55281, Indonesia
*Email: rofianwar4@gmail.com

Tanggal submisi: 16 Januari 2019; Tanggal penerimaan: 20 Juni 2019

ABSTRAK

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengkaji proses perendaman biji sorgum dan penurunan kadar tanin, namun belum mengkaji tentang kinetika perubahan sifat fisik selama perendaman. Penelitian ini bertujuan mempelajari kinetika perubahan sifat fisik dan kadar tanin biji sorgum selama proses perendaman. Penelitian ini menggunakan biji sorgum merah sosoh dan non sosoh yang direndam selama 24 jam dalam larutan aquades dan alkali pada suhu 30 °C, 45 °C dan 60 °C. Variabel yang diamati meliputi kadar air, kadar tanin, dan kekerasan biji sorgum yang kemudian dilakukan analisa data statistik dan kinetika laju perubahan. Perlakuan suhu berpengaruh nyata terhadap perubahan seluruh variabel biji sorgum selama perendaman. Peningkatan suhu mempercepat proses difusi dengan nilai koefisien difusi ($Deff$) berkisar $6,63 \times 10^{-12}$ m²/detik sampai dengan $13,55 \times 10^{-12}$ m²/detik dan nilai energi aktivasi 8,05 kJ/mol; 3,27 kJ/mol; 3,18 kJ/mol; dan 7,29 kJ/mol pada perlakuan biji non sosoh perendaman aquades, biji non sosoh perendaman alkali, biji sosoh perendaman aquades, dan biji sosoh perendaman alkali. Penurunan kadar tanin tertinggi sebesar 77,90% diperoleh pada perlakuan biji sosoh dalam perendaman alkali pada suhu 60 °C. Penurunan kekerasan biji sorgum tertinggi terjadi pada perlakuan biji sosoh dalam perendaman alkali (76%). Nilai konstanta laju reaksi cenderung meningkat seiring dengan peningkatan suhu proses perendaman. Hal tersebut bermakna perubahan parameter berlangsung lebih cepat pada suhu yang lebih tinggi.

Kata kunci: Kinetika; sifat fisik; kadar tanin; biji sorgum; perendaman

ABSTRACT

Some studies have been done to examine that the soaking process of sorghum seeds decrease the tannin level, but have not yet examined the kinetics of reaction changes during soaking. The aim of this experiment was to study the kinetics of changes on physical characteristics and tannin level of sorghum seeds during soaking. This experiment used milled and not milled red sorghum seeds which were soaked for 24 hours in distilled and alkaline solution at 30, 45, and 60 °C. Observed parameters included water content, tannin content, and hardness, which were analyzed using statistical data and the kinetics of parameter change rate. Temperature treatment had a significant effect on the changes in all parameters of sorghum seeds during soaking. The increase in temperature accelerated the diffusion coefficient ($Deff$) in a range between 6.6345×10^{-12} m²/second to 13.5519×10^{-12} m²/second and energy activation of 8.054 kJ/mol; 3.274 kJ/mol; 3.183 kJ/mol; and 7.29 kJ/mol on the distilled water soaking treatment of not milled sorghum seeds, alkaline soaking treatment of not milled seeds, the distilled water soaking treatment of milled sorghum seeds, and alkaline soaking treatment of milled seeds. The highest decrease in tannin content was 77.9%, that was obtained in the treatment of alkaline soaking treatment of milled

seeds at 60 °C. The highest increase in volume occurred in the treatment of alkaline soaking treatment of milled seeds (76.0%). The value of the constant rate tended to increase with the increasing temperature of the soaking process. This means that the changes in the parameter were faster at a higher temperature, so the energy activation used is lower.

Keyword: Diffusion; kinetics; soaking; sorghum

PENDAHULUAN

Sorgum (*Sorghum bicolor* L.) adalah tanaman serbaguna yang dapat digunakan sebagai sumber pangan, pakan ternak, dan bahan baku industri. Sorgum memiliki berbagai keunggulan yaitu: daerah adaptasi yang sangat luas, toleran terhadap kekeringan, dapat menghasilkan pada lahan marginal, dan resiko gagal oleh gangguan hama penyakit relatif kecil (Ponidi, Sugiyatni, Yayuk, & Dahlan, 1985). Selain itu, nilai gizi sorgum tidak kalah jika dibandingkan beras. Sorgum mengandung karbohidrat sekitar 73%, lemak 3,5% dan protein 10%, bergantung pada varietas dan lahan pertanaman (Aqil, Zubachtirodin, & Rapar, 2013). Sorgum juga memiliki kandungan tanin berkisar 0,10 - 3,60%.

Pengolahan sereal seperti pada biji sorgum sering mengharuskan bijian tersebut direndam terlebih dahulu untuk memudahkan pengolahan selanjutnya seperti penggilingan, atau memasak. Dengan demikian, penyerapan air ke dalam bahan ini sangat penting secara teoritis dan praktis bagi industri pengolahan. Jumlah air yang diserap oleh biji selama perendaman dipengaruhi oleh faktor yang berbeda seperti kadar air awal, variasi benih, lama perendaman, tingkat suhu dan keasaman air (Karapantsios, Sakonidou, & Raphaelides, 2002). Perendaman juga akan meningkatkan kualitas nutrisi dari sebagian biji-bijian (sereal dan legum), karena perendaman pada biji sorgum akan menurunkan kandungan tanin yang bersifat anti-nutrisi.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengkaji proses perendaman biji sorgum (Silva, Jorge, & Jorge, 2018; Kashiri, Kashaninejad, & Aghajani, 2010). Namun efek perendaman terhadap proses kinetika reaksi perubahan sifat fisik maupun kimia biji sorgum belum banyak dilaporkan. Penelitian ini mengkaji kinetika perubahan sifat fisik (kadar air, tingkat kekerasan) dan kimia (kadar tanin) pada proses perendaman biji sorgum. Dengan mengetahui kinetika reaksi selama proses perendaman akan diketahui laju perubahan dari setiap parameter sifat fisik dan kimia bahan, serta bagaimana parameter tersebut akan dipengaruhi oleh variabel pengolahan.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada bulan April – Agustus 2018 di Laboratorium Teknik Pangan dan Pascapanen Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada dan Laboratorium Rekayasa Bioproses dan Pascapanen Fakultas Pertanian Universitas Lampung.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah biji sorgum merah (var. lokal) dengan kadar tanin tinggi, aquades, NaHCO_3 , Folin Denis, Na_2CO_3 , dan asam tanat. Alat yang digunakan adalah mesin penyosoh (merk Rapsco. Brookshire, USA); *waterbath* (merk Jinnan tipe HH-W XMTD-204, RRC); chromameter (merk Minolta tipe CR 300, Jepang); rheometer (merk Sun Rheo Meter tipe Compac Series 100, Jepang); spektrofotometer (merk APL Instrumen tipe 723, RRC); oven, *digital caliper*; kamera digital; *stop watch*; tabung reaksi 45 mL; cawan aluminium, desikator, dan peralatan gelas untuk pengujian kadar tanin.

Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan tiga faktor yaitu jenis biji sorgum (B : biji non sosoh; S : biji sosoh), suhu perendaman (30 °C, 45 °C, 60 °C), dan jenis larutan perendaman (Aq : aquades; Al : NaHCO_3 0,3%).

Prosedur Penelitian

Sebanyak 7 gram biji sorgum sosoh dan non sosoh untuk setiap sampel dilakukan pengukuran variabel awal meliputi kadar air (metode gravimetri dalam % bk), kadar tanin (metode spektrometer AOAC 2006 dalam %), dan tingkat kekerasan (menggunakan rheometer dalam newton). Selanjutnya sampel dilakukan perendaman ke dalam tabung reaksi yang telah terisi larutan perendaman dengan perbandingan 1:5 berat per volume larutan. Proses perendaman dilakukan selama 24 jam dan dilakukan pengukuran variabel pada sampel meliputi kadar air, kadar tanin, dan tingkat kekerasan biji sorgum dengan interval waktu tertentu selama perendaman.

Perhitungan dan Analisis Data

Koefisien difusi

Perhitungan koefisien difusi air yang menggunakan persamaan Hukum Fick kedua. Nilai koefisien difusi air dihitung dengan prosedur sebagai berikut:

1. Menghitung koefisien laju pembasahan atau penyerapan air (K)

$$\frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = e^{-Kt} \quad (1)$$

dimana M_t adalah kadar air bahan pada waktu t perendaman (%), M_0 adalah kadar air awal bahan sebelum direndam (%), M_e adalah kadar air kesetimbangan (%), K adalah koefisien laju pembasahan (1/menit), dan t waktu perendaman (menit).

2. Menghitung nilai koefisien difusi menggunakan persamaan Crank (1975), dengan kondisi batas: (i) koefisien difusi efektif tidak tergantung pada konsentrasi uap air, (ii) volume bahan tidak berubah selama penyerapan air, dan (iii) permukaan bahan mencapai kadar air kesetimbangan secara cepat, pendugaan nilai koefisien difusi pada benda bulat menggunakan persamaan berikut :

$$\frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(\frac{-n^2\pi^2 Deff t}{r^2}\right) \quad (2)$$

Dengan menggunakan Persamaan (1) dan (2), maka nilai koefisien difusi ($Deff$) :

$$Deff = \frac{Kr^2}{\pi^2} \quad (3)$$

dimana $Deff$ adalah koefisien difusi ($m^2/detik$), K adalah koefisien pembasahan (1/menit), dan r adalah jari-jari bahan (m).

Energi aktivasi

Energi aktivasi adalah energi yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan transisi kompleks yang disuplai dari luar sistem. Energi aktivasi dihitung dengan menggunakan persamaan Arrhenius sebagai berikut :

$$k = A \cdot e^{-E_a/RT} \quad (4)$$

dengan k adalah konstanta laju reaksi, A adalah konstanta laju (tidak bergantung pada suhu), E_a adalah energi aktivasi (J/mol), R adalah konstanta gas (8,314 J/mol K), dan T adalah suhu mutlak (K). Ploting nilai $\ln k$ terhadap ($1/T$) akan dihasilkan *slope* sebagai nilai $-E_a/R$.

Kinetika

Laju perubahan variabel yang terjadi diindikasikan oleh konstanta laju reaksi (k) (Klappa, 2009).

Kecenderungan laju perubahan variabel dalam proses pengolahan pangan mengikuti orde satu atau orde dua. Pada kondisi perubahan variabel selama pengamatan mengalami kesetimbangan, kinetika perubahan dapat dihitung dengan menggunakan pendekatan persamaan *newton law of cooling*. Dalam kondisi tertentu, analisa kinetika juga dapat dihitung menggunakan Persamaan Peleg. Nilai k yang diperoleh, kemudian digunakan dalam perhitungan persamaan Arrhenius sehingga didapatkan nilai energi aktivasi (E_a) pada setiap perubahan variabel.

Analisa Statistik

Data yang diperoleh dilakukan analisis statistika dengan menggunakan metode *univariate multy way anova* untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap perubahan kadar air, kadar tanin, dan tingkat kekerasan biji sorgum selama proses perendaman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Sampel

Proses penyosohan menyebabkan perubahan nilai variabel awal yang diukur meliputi penurunan nilai kadar air dan kadar tanin, serta peningkatan kekerasan. Selama proses penyosohan terjadi peningkatan suhu bahan yang disebabkan gesekan antar biji maupun dengan alat penyosoh. Peningkatan suhu tersebut yang menyebabkan kadar air pada biji sosoh lebih rendah sehingga berdampak pada peningkatan kekerasan biji. Proses penyosohan juga mengakibatkan terkikisnya lapisan luar (*pericarp*) dari biji sorgum dimana terdapat tanin dalam lapisan testa sehingga kadar tanin dalam biji sosoh lebih kecil dibandingkan biji non sosoh. Uji statistik menggunakan metode *T-test* menunjukkan bahwa nilai kadar air, kadar tanin, dan kekerasan antara biji sorgum sosoh dan non sosoh pada saat awal dalam kondisi yang berbeda nyata.

Tabel 1. Karakteristik Sampel

Parameter	Biji non sosoh	Biji sosoh
Kadar air (% bk)	12,78±0,02	11,75±0,04
Kadar tanin (%)	0,64±0,02	0,56±0,03
Kekerasan (N)	54,71±0,86	64,38±0,32
Densitas kamba (g/cm ³)	0,77±0,01	0,81±0,01
Berat 1.000 butir (g)	22,85±0,14	23,00±0,07

Proses perendaman menyebabkan perubahan karakteristik sampel biji sorgum berupa peningkatan kadar air, penurunan kadar tanin dan kekerasan biji sorgum. Evaluasi pengaruh perlakuan yang meliputi

Tabel 2. Hasil analisis ragam pengaruh perlakuan terhadap perubahan kadar air, kadar tanin, dan kekerasan biji sorgum selama perendaman

Perlakuan	Variabel terikat		
	Kadar air	Kadar tanin	Kekerasan
Biji		*	*
Suhu	*	*	*
Larutan			
Biji*Suhu	*		*
Biji*Larutan			
Suhu*Larutan			

Keterangan: tanda (*) menunjukkan pengaruh nyata perlakuan terhadap perubahan variabel terikat

jenis biji, suhu perendaman, jenis larutan, dan interaksi antar ketiga perlakuan terhadap perubahan kadar air, kadar tanin, dan kekerasan biji sorgum dilakukan dengan menggunakan analisis *multivay anova* dan ditampilkan dalam Tabel 2.

Kadar Air

Hasil pengamatan menunjukkan perilaku penyerapan air yang khas. Perlakuan suhu perendaman yang lebih tinggi menunjukkan pola penyerapan air yang lebih cepat pada menit awal perendaman diikuti oleh tingkat yang lebih lambat pada tahap selanjutnya dan kemudian mendekati kondisi kadar air kesetimbangan (Me). Pada kondisi biji sorgum sosoh, penyerapan air terjadi lebih cepat jika dibandingkan dengan penyerapan air pada biji sorgum non sosoh. Proses penyosohan biji sorgum telah mengikis lapisan kulit *pericarp* dan *germ* sehingga akan memudahkan dalam penyerapan air. Pelepasan lembaga (*germ*) yang banyak mengandung lemak dan protein pada biji sorgum sosoh, mengakibatkan biji sorgum sosoh lebih sedikit menyerap air dibandingkan biji sorgum non sosoh.

Laju penyerapan dan kapasitas penyerapan air maksimum dari masing-masing perlakuan dilakukan pendugaan dengan menggunakan persamaan Peleg. Nilai k_1 berkaitan erat dengan laju perpindahan massa air selama perendaman. Semakin rendah nilai k_1 menunjukkan proses penyerapan air awal semakin tinggi dan perubahan nilai k_1 terhadap perlakuan suhu adalah indikasi pengaruh positif dari meningkatnya suhu dalam laju penyerapan air (Tunde-Akintunde, 2010). Sedangkan nilai k_2 adalah konstanta yang berhubungan dengan kapasitas penyerapan air maksimum. Dalam hal ini semakin rendah nilai k_2 , maka kapasitas penyerapan air oleh bahan akan semakin tinggi.

Koefisien pembasahan (K) (Tabel 3) merupakan laju pembasahan yang diperoleh dari persamaan

eksponensial dengan memplotkan nilai rasio kadar air (MR) dengan waktu perendaman sehingga akan diperoleh grafik laju pembasahan. Koefisien pembasahan merupakan laju air yang terserap oleh bahan pada setiap perlakuan dalam satuan waktu. Semakin besar nilai koefisien pembasahan menunjukkan bahwa proses penyerapan air oleh bahan berlangsung semakin cepat.

Tabel 4 menyajikan koefisien difusi ($Deff$) yang dihitung berdasarkan pola perubahan kadar air yang terjadi selama perendaman. Koefisien difusi berhubungan dengan koefisien pembasahan dan jari-jari biji. Secara umum, nilai koefisien difusi setiap perlakuan meningkat seiring dengan peningkatan suhu perlakuan. Hal tersebut bermakna bahwa suhu perendaman mempercepat jumlah air yang masuk ke dalam biji sorgum. Nilai koefisien difusi pada biji sorgum dalam penelitian ini berkisar $6,63 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{detik}$ pada perlakuan biji non sosoh dalam perendaman aquades pada suhu $30 \text{ }^\circ\text{C}$, sampai dengan $13,55 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{detik}$ pada perlakuan biji sosoh dalam perendaman larutan NaHCO_3 (alkali) pada suhu $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Nilai koefisien difusi pada penelitian ini sejalan dengan yang telah dilaporkan oleh Kashiri dkk., (2010) untuk komoditas yang sama, maupun komoditas sereal lainya yang dilaporkan oleh Foke dan Rathod (2014). Pada perlakuan perendaman dengan menggunakan larutan NaHCO_3 0,3%, terjadi peningkatan nilai koefisien difusi. Pengamatan ini sesuai dengan hasil yang dilaporkan oleh Snyder (1936), yang menunjukkan bahwa pH yang lebih rendah memperlambat penyerapan air.

Energi aktivasi merupakan energi minimum yang digunakan untuk terjadinya suatu reaksi. Agarry, Afolabi,

Tabel 3. Nilai k_1 dan k_2 dalam persamaan Peleg dan koefisien pembasahan (K)

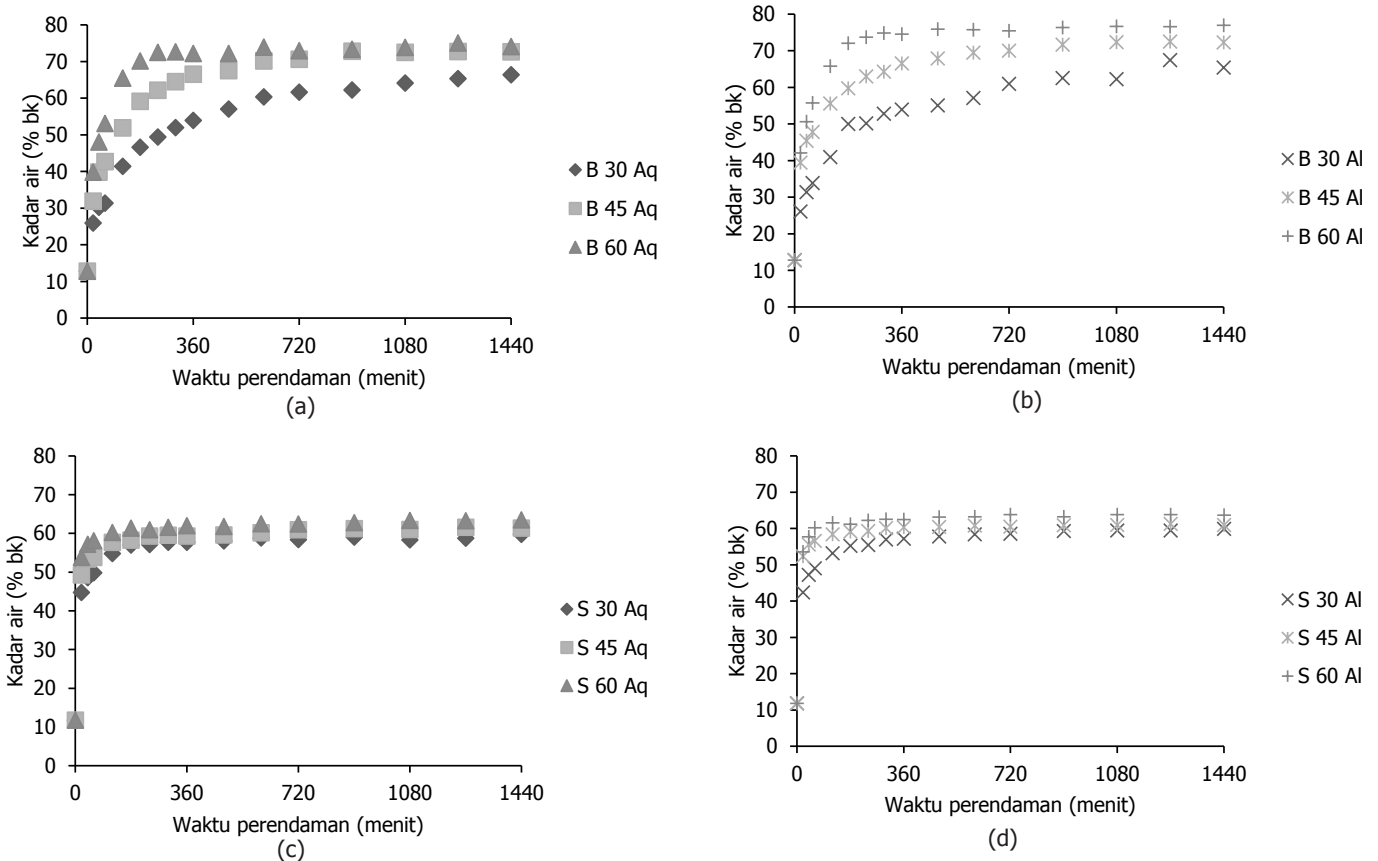
Perlakuan	k_1 ($10^{-2} \text{ menit } \%^{-1}$)	k_2 ($10^{-2} \%^{-1}$)	R^2	K ($10^{-3} \text{ menit}^{-1}$)	R^2
B 30 Aq	179,72	1,78	0,99	1,95	0,95
B 45 Aq	83,90	1,61	0,99	2,29	0,87
B 60 Aq	31,53	1,60	0,99	2,60	0,69
B 30 Al	172,02	1,81	0,99	2,30	0,86
B 45 Al	67,43	1,63	0,99	2,32	0,89
B 60 Al	30,19	1,54	0,99	2,59	0,74
S 30 Aq	23,95	2,08	0,99	2,71	0,73
S 45 Aq	22,34	2,00	0,99	2,78	0,81
S 60 Aq	16,99	1,93	0,99	3,04	0,84
S 30 Al	37,29	2,07	0,99	2,94	0,89
S 45 Al	12,38	2,02	1,00	3,25	0,70
S 60 Al	12,00	1,92	0,99	3,82	0,75

Tabel 4. Nilai koefisien difusi ($Deff$), energi aktivasi (Ea) dan persamaan Arrhenius pada proses difusi

Perlakuan	$Deff$ ($10^{-12} \text{ m}^2 \text{ detik}^{-1}$)	Ea (kJ mol $^{-1}$)	Persamaan Arrhenius	R^2
B 30 Aq	6,63	8,05	$k = 1,63 \times 10^{-10} \exp\left(\frac{-8,05 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$	0,99
B 45 Aq	7,79			
B 60 Aq	8,85			
B 30 Al	7,82	3,27	$k = 2,82 \times 10^{-11} \exp\left(\frac{-3,27 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$	0,79
B 45 Al	7,89			
B 60 Al	8,81			
S 30 Aq	9,61	3,18	$k = 3,36 \times 10^{-11} \exp\left(\frac{-3,18 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$	0,89
S 45 Aq	9,86			
S 60 Aq	10,78			
S 30 Al	10,40	7,29	$k = 1,86 \times 10^{-10} \exp\left(\frac{-7,29 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$	0,97
S 45 Al	11,53			
S 60 Al	13,55			

& Tunde-Akintunde, (2014), menyatakan bahwa energi aktivasi yang semakin kecil menunjukkan koefisien difusi semakin besar. Dari hasil penelitian didapatkan nilai energi aktivasi pada kisaran 3,18 – 8,05 kJ/mol K. Rentang nilai energi aktivasi dalam penelitian ini selaras dengan apa yang telah dilaporkan oleh Silva et al., (2018).

Energi aktivasi setiap perlakuan memiliki nilai yang berbeda. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa karakteristik proses difusi yang terjadi pada setiap perlakuan juga berbeda. Pada perlakuan biji sosoh, perendaman pada larutan alkali menghasikan energi aktivasi lebih besar dibandingkan pada perendaman aquades. Hal tersebut diduga proses difusi terhambat



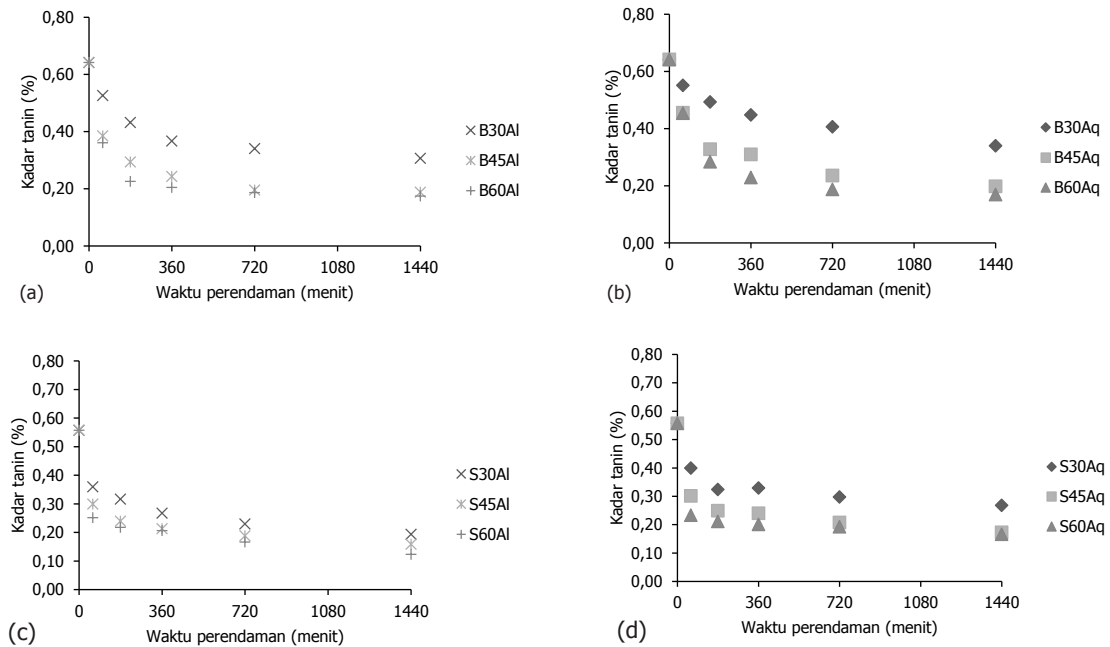
Gambar 1. Grafik perubahan kadar air biji sorgum non sosoh pada larutan aquades (a) dan alkali (b), serta biji sorgum sosoh pada larutan aquades (c), dan alkali (d)

oleh tanin yang terlarut dan menempel pada permukaan biji sorgum sehingga diperlukan energi yang lebih besar dalam proses difusi.

Kadar Tanin

Tanin akan terlarut dalam air sehingga proses perendaman dapat menurunkan kandungan tanin biji sorgum. Hasil penelitian ini menunjukkan penurunan kadar tanin terkecil sebesar 46,98% dari kadar tanin

awal 0,64% terjadi pada perlakuan biji non sosoh yang direndam dalam larutan aquades pada suhu 30 °C. Sedangkan penurunan kadar tanin terbesar sebesar 77,90% dari kadar tanin awal 0,56% terjadi pada perlakuan biji sosoh pada perendaman alkali dan suhu 60 °C. Hasil penelitian tersebut selaras dengan apa yang sudah dilaporkan oleh Afify, El-beltagi, El-salam, & Omran (2012); Amrinola (2010); dan Narsih, Yunianta, & Harijono (2008).



Gambar 2. Grafik perubahan kadar tanin biji sorgum non sosoh pada larutan aquades (a) dan alkali (b), serta biji sorgum sosoh pada larutan aquades (c), dan alkali (d)

Tabel 5. Nilai konstanta laju reaksi (k) dan evaluasi persamaan dalam pendugaan perubahan kadar tanin biji sorgum selama perendaman dengan menggunakan model kinetika orde 1 kesetimbangan

Perlakuan	k (10 ⁻²)	Persamaan kinetika	Evaluasi	
			R ²	RMSE
B 30 Aq	-0,21	$C_t = \exp^{(-0,0021 t)} \times (C_0 - C_e) + C_e$	0,95	0,08
B 45 Aq	-0,26	$C_t = \exp^{(-0,0026 t)} \times (C_0 - C_e) + C_e$	0,87	0,19
B 60 Aq	-0,28	$C_t = \exp^{(-0,0028 t)} \times (C_0 - C_e) + C_e$	0,87	0,23
B 30 AI	-0,24	$C_t = \exp^{(-0,0024 t)} \times (C_0 - C_e) + C_e$	0,91	0,13
B 45 AI	-0,32	$C_t = \exp^{(-0,0032 t)} \times (C_0 - C_e) + C_e$	0,83	0,24
B 60 AI	-0,36	$C_t = \exp^{(-0,0036 t)} \times (C_0 - C_e) + C_e$	0,77	0,28
S 30 Aq	-0,31	$C_t = \exp^{(-0,0031 t)} \times (C_0 - C_e) + C_e$	0,79	0,15
S 45 Aq	-0,34	$C_t = \exp^{(-0,0034 t)} \times (C_0 - C_e) + C_e$	0,73	0,23
S 60 Aq	-0,48	$C_t = \exp^{(-0,0048 t)} \times (C_0 - C_e) + C_e$	0,66	0,26
S 30 AI	-0,28	$C_t = \exp^{(-0,0028 t)} \times (C_0 - C_e) + C_e$	0,84	0,18
S 45 AI	-0,34	$C_t = \exp^{(-0,00336 t)} \times (C_0 - C_e) + C_e$	0,76	0,24
S 60 AI	-0,34	$C_t = \exp^{(-0,00344 t)} \times (C_0 - C_e) + C_e$	0,65	0,30

Tabel 6. Nilai konstanta laju reaksi (k) dan evaluasi persamaan dalam pendugaan perubahan kadar tanin biji sorgum selama perendaman dengan menggunakan model kinetika orde 2

Perlakuan	k (10^{-2})	Persamaan kinetika	Evaluasi	
			R^2	RMSE
B 30 Aq	0,11	$C_t = [0,0011 t + C_0^{-1}]^{-1}$	0,90	0,12
B 45 Aq	0,28	$C_t = [0,0028 t + C_0^{-1}]^{-1}$	0,85	0,22
B 60 Aq	0,38	$C_t = [0,0038 t + C_0^{-1}]^{-1}$	0,86	0,23
B 30 Al	0,15	$C_t = [0,0015 t + C_0^{-1}]^{-1}$	0,81	0,19
B 45 Al	0,34	$C_t = [0,0034 t + C_0^{-1}]^{-1}$	0,78	0,28
B 60 Al	0,38	$C_t = [0,0038 t + C_0^{-1}]^{-1}$	0,71	0,33
S 30 Aq	0,17	$C_t = [0,0017 t + C_0^{-1}]^{-1}$	0,65	0,22
S 45 Aq	0,34	$C_t = [0,0034 t + C_0^{-1}]^{-1}$	0,67	0,28
S 60 Aq	0,37	$C_t = [0,0037 t + C_0^{-1}]^{-1}$	0,52	0,35
S 30 Al	0,28	$C_t = [0,0028 t + C_0^{-1}]^{-1}$	0,78	0,21
S 45 Al	0,38	$C_t = [0,0038 t + C_0^{-1}]^{-1}$	0,70	0,28
S 60 Al	0,50	$C_t = [0,0050 t + C_0^{-1}]^{-1}$	0,70	0,28

Tabel 7. Nilai konstanta laju reaksi (k) dan evaluasi persamaan dalam pendugaan perubahan kadar tanin biji sorgum selama perendaman dengan menggunakan model kinetika persamaan Peleg

Perlakuan	k	Persamaan kinetika	Evaluasi	
			R^2	RMSE
B 30 Aq	-479,53	$C_t = C_0 + [t / (-3,148 t - 479,527)]$	0,97	0,05
B 45 Aq	-163,90	$C_t = C_0 + [t / (-2,179 t - 163,898)]$	0,99	0,05
B 60 Aq	-113,48	$C_t = C_0 + [t / (-2,046 t - 113,483)]$	0,98	0,07
B 30 Al	-247,92	$C_t = C_0 + [t / (-2,853 t - 247,917)]$	0,99	0,04
B 45 Al	-83,92	$C_t = C_0 + [t / (-2,149 t - 83,925)]$	0,99	0,05
B 60 Al	-51,11	$C_t = C_0 + [t / (-2,109 t - 51,113)]$	0,98	0,06
S 30 Aq	-179,65	$C_t = C_0 + [t / (-3,409 t - 179,654)]$	0,98	0,03
S 45 Aq	-107,69	$C_t = C_0 + [t / (-2,577 t - 107,689)]$	0,98	0,04
S 60 Aq	-53,74	$C_t = C_0 + [t / (-2,555 t - 53,739)]$	0,99	0,04
S 30 Al	-172,29	$C_t = C_0 + [t / (-2,686 t - 172,288)]$	0,98	0,05
S 45 Al	-93,54	$C_t = C_0 + [t / (-2,479 t - 93,539)]$	0,99	0,03
S 60 Al	-100,21	$C_t = C_0 + [t / (-2,285 t - 100,206)]$	0,96	0,07

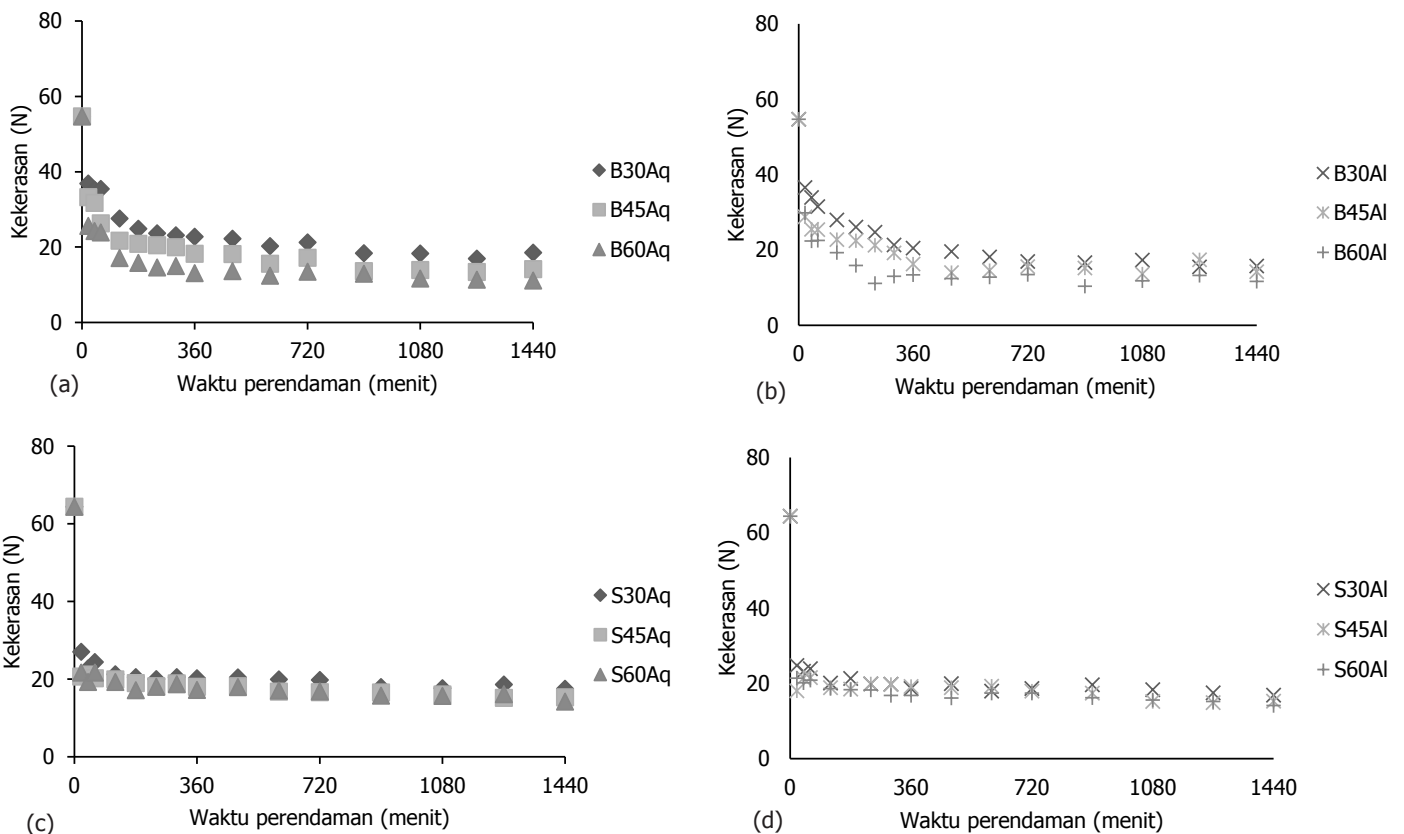
Model persamaan kinetika digunakan untuk mengetahui dan memprediksi kecenderungan laju reaksi perubahan variabel yang terjadi. Sebagian besar literatur menyatakan bahwa kinetika perubahan dalam pengolahan pangan cenderung mengikuti pola orde satu maupun orde dua. Persamaan kinetika digunakan untuk mendapatkan nilai konstanta laju reaksi perubahan (k) kadar tanin selama proses perendaman. Dari persamaan kinetika yang diperoleh, digunakan

untuk memprediksi nilai perubahan kadar tanin. Evaluasi terhadap keakuratan model yang diperoleh menggunakan nilai koefisien determinasi (R^2) dan nilai *root mean square error* (RMSE). Nilai konstanta laju reaksi perubahan (k) kadar tanin selama perendaman dan evaluasi persamaannya ditampilkan dalam Tabel 5 – Tabel 7.

Dari Tabel 5 s.d. Tabel 7 diketahui bahwa nilai konstanta laju reaksi (k) sensitif terhadap perubahan

Tabel 8. Nilai Energi aktivasi (Ea) dan persamaan Arrhenius pada variabel kadar tannin

Perlakuan	Model kinetika	Ea (kJ mol ⁻¹)	R ²	Persamaan Arrhenius	R ²
B Aq	Orde 1 kesetimbangan	8,10	0,94	$k = 0,53 \times 10^{-3} \exp\left(\frac{-8,10 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$	0,93
	Orde 2	34,92	0,93	$k = 12,59 \times 10^2 \exp\left(\frac{-34,92 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$	0,91
	Peleg	40,58	0,94	$k = 4,38 \times 10^{-5} \exp\left(\frac{-40,58 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$	0,97
B Al	Orde 1 kesetimbangan	11,40	0,96	$k = 43,99 \times 10^{-1} \exp\left(\frac{-11,40 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$	0,95
	Orde 2	26,28	0,86	$k = 566,3 \times 10^{-1} \exp\left(\frac{-26,28 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$	0,80
	Peleg	44,38	0,97	$k = 5,11 \times 10^{-6} \exp\left(\frac{-44,38 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$	0,98
S Aq	Orde 1 kesetimbangan	12,11	0,88	$k = 36,26 \times 10^{-2} \exp\left(\frac{-12,11 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$	0,90
	Orde 2	21,99	0,85	$k = 115,4 \times 10^{-1} \exp\left(\frac{-21,99 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$	0,80
	Peleg	33,64	0,99	$k = 2,96 \times 10^{-4} \exp\left(\frac{-33,64 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$	0,99
S Al	Orde 1 kesetimbangan	5,82	0,85	$k = 2,89 \times 10^{-2} \exp\left(\frac{-5,82 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$	0,84
	Orde 2	16,22	1,00	$k = 17,49 \times 10^{-1} \exp\left(\frac{-16,22 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$	1,00
	Peleg	15,44	0,68	$k = 3,38 \times 10^{-1} \exp\left(\frac{-15,44 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$	0,77



Gambar 3. Grafik perubahan kekerasan biji sorgum non sosoh pada larutan aquades (a) dan alkali (b), serta biji sorgum sosoh pada larutan aquades (c), dan alkali (d)

suhu. Pada model kinetika orde 1 kesetimbangan dan orde 2, nilai k berbanding lurus dengan peningkatan suhu. Peningkatan nilai k pada kedua model tersebut bermakna laju perubahan kadar tanin dalam proses perendaman biji sorgum terjadi lebih cepat. Persamaan kinetika yang diperoleh dari ketiga model yang digunakan dinilai cukup baik ($RMSE < 0,4$) dalam pendugaan penurunan kadar tanin biji sorgum selama perendaman.

Energi aktivasi dalam proses perubahan kadar tanin selama perendaman dihitung dengan menggunakan

persamaan Arrhenius (Tabel 8). Interpretasi energi aktivasi (E_a) dapat memberikan gambaran mengenai besarnya pengaruh suhu terhadap reaksi. Perubahan suhu dan jenis biji serta jenis larutan dalam proses perendaman mempengaruhi besarnya nilai energi aktivasi dalam kinetika perubahan kadar tanin. Perlakuan biji sosoh dalam perendaman alkali (S Al) menghasilkan nilai energi aktivasi terkecil. Hal tersebut bermakna bahwa perlakuan tersebut merupakan perlakuan terbaik untuk menurunkan kadar tanin yang terdapat dalam biji sorgum.

Tabel 9 Nilai konstanta laju reaksi (k) dan evaluasi persamaan dalam pendugaan perubahan kekerasan biji sorgum selama perendaman dengan menggunakan model kinetika orde 1 kesetimbangan

Perlakuan	$k (10^{-2})$	Persamaan kinetika	Evaluasi	
			R^2	RMSE
B 30 Aq	-0,32	$C_t = \exp^{-0,0032 t} \times (C_0 - C_e) + C_e$	0,80	8,94
B 45 Aq	-0,37	$C_t = \exp^{-0,0037 t} \times (C_0 - C_e) + C_e$	0,74	10,43
B 60 Aq	-0,45	$C_t = \exp^{-0,0045 t} \times (C_0 - C_e) + C_e$	0,64	12,32
B 30 Al	-0,32	$C_t = \exp^{-0,0032 t} \times (C_0 - C_e) + C_e$	0,82	9,03
B 45 Al	-0,43	$C_t = \exp^{-0,0043 t} \times (C_0 - C_e) + C_e$	0,67	11,14
B 60 Al	-0,48	$C_t = \exp^{-0,0048 t} \times (C_0 - C_e) + C_e$	0,67	12,00
S 30 Aq	-0,55	$C_t = \exp^{-0,0055 t} \times (C_0 - C_e) + C_e$	0,45	15,04
S 45 Aq	-0,52	$C_t = \exp^{-0,0052 t} \times (C_0 - C_e) + C_e$	0,39	16,85
S 60 Aq	-0,46	$C_t = \exp^{-0,0046 t} \times (C_0 - C_e) + C_e$	0,37	17,77
S 30 Al	-0,54	$C_t = \exp^{-0,0054 t} \times (C_0 - C_e) + C_e$	0,43	15,55
S 45 Al	-0,47	$C_t = \exp^{-0,0047 t} \times (C_0 - C_e) + C_e$	0,33	17,71
S 60 Al	-0,48	$C_t = \exp^{-0,0048 t} \times (C_0 - C_e) + C_e$	0,47	14,86

Tabel 10. Nilai konstanta laju reaksi (k) dan evaluasi persamaan dalam pendugaan perubahan kekerasan biji sorgum selama perendaman dengan menggunakan model kinetika orde 2

Perlakuan	$k (10^{-3})$	Persamaan kinetika	Evaluasi	
			R^2	RMSE
B 30 Aq	0,04	$C_t = [0,00004 t + C_0^{-1}]^{-1}$	0,76	9,58
B 45 Aq	0,05	$C_t = [0,00005 t + C_0^{-1}]^{-1}$	0,71	11,54
B 60 Aq	0,07	$C_t = [0,00007 t + C_0^{-1}]^{-1}$	0,62	13,12
B 30 Al	0,04	$C_t = [0,00004 t + C_0^{-1}]^{-1}$	0,79	10,27
B 45 Al	0,05	$C_t = [0,00005 t + C_0^{-1}]^{-1}$	0,61	12,92
B 60 Al	0,07	$C_t = [0,00007 t + C_0^{-1}]^{-1}$	0,62	13,21
S 30 Aq	0,04	$C_t = [0,000042 t + C_0^{-1}]^{-1}$	0,36	18,54
S 45 Aq	0,05	$C_t = [0,000050 t + C_0^{-1}]^{-1}$	0,34	19,29
S 60 Aq	0,05	$C_t = [0,000051 t + C_0^{-1}]^{-1}$	0,34	19,31
S 30 Al	0,04	$C_t = [0,000042 t + C_0^{-1}]^{-1}$	0,35	18,86
S 45 Al	0,05	$C_t = [0,000049 t + C_0^{-1}]^{-1}$	0,30	19,52
S 60 Al	0,05	$C_t = [0,000052 t + C_0^{-1}]^{-1}$	0,35	19,30

Tabel 11. Nilai konstanta laju reaksi (k) dan evaluasi persamaan dalam pendugaan perubahan kekerasan biji sorgum selama perendaman dengan menggunakan model kinetika persamaan Peleg

Perlakuan	k (10^{-2})	Persamaan kinetika	Evaluasi	
			R^2	RMSE
B 30 Aq	-121,56	$C_t = C_0 + [t / (-0,0266 t - 1,2156)]$	0,96	1,97
B 45 Aq	-89,41	$C_t = C_0 + [t / (-0,0240 t - 0,8941)]$	0,96	2,24
B 60 Aq	-47,28	$C_t = C_0 + [t / (-0,0229 t - 0,4728)]$	0,97	2,07
B 30 Al	-120,62	$C_t = C_0 + [t / (-0,0250 t - 1,2062)]$	0,96	2,20
B 45 Al	-52,24	$C_t = C_0 + [t / (-0,0248 t - 0,5224)]$	0,94	2,50
B 60 Al	-29,68	$C_t = C_0 + [t / (-0,0232 t - 0,2968)]$	0,98	1,61
S 30 Aq	-27,81	$C_t = C_0 + [t / (-0,0214 t - 0,2781)]$	0,94	2,90
S 45 Aq	-27,14	$C_t = C_0 + [t / (-0,0204 t - 0,2714)]$	0,90	4,09
S 60 Aq	-26,94	$C_t = C_0 + [t / (-0,0203 t - 0,2694)]$	0,90	3,96
S 30 Al	-25,16	$C_t = C_0 + [t / (-0,0213 t - 0,2516)]$	0,94	2,94
S 45 Al	-37,94	$C_t = C_0 + [t / (-0,0203 t - 0,3794)]$	0,78	6,06
S 60 Al	-26,01	$C_t = C_0 + [t / (-0,0202 t - 0,2601)]$	0,91	3,77

Hasil evaluasi pada ketiga model kinetika yang digunakan dalam menghitung kinetika reaksi perubahan kadar tanin selama perendaman menyimpulkan bahwa model kinetika orde 2 memiliki konsistensi yang lebih baik. Evaluasi model berdasarkan keselarasan antara perubahan nilai konstanta laju reaksi (k) dan nilai energi aktivasi (E_a) terhadap perlakuan jenis biji, suhu dan jenis larutan.

Tingkat Kekerasan

Proses perendaman berdampak pada penurunan tingkat kekerasan pada biji sorgum. Peningkatan kadar air akibat penyerapan air pada proses perendaman akan membuat biji menjadi lebih lunak. Penurunan kekerasan di awal perendaman berlangsung secara cepat, selanjutnya akan mencapai titik minimal dan dalam kondisi kesetimbangan.

Perlakuan suhu dan jenis biji mempengaruhi kecepatan penurunan kekerasan biji sorgum selama perendaman. Suhu yang tinggi dalam proses pengolahan bertujuan untuk melunakkan biji-bijian dan memperbesar pori-pori karena protein dan membran mengalami kerusakan (terdenaturasi). Pada perlakuan jenis biji sosoh, penurunan kekerasan berlangsung sangat cepat. Hal tersebut disebabkan karena lapisan perikarp biji sosoh telah terkikis sehingga memudahkan air masuk ke dalam pori-pori bahan dan menyebabkan biji lebih cepat lunak.

Analisa kinetika perubahan kekerasan biji sorgum selama perendaman menggunakan model kinetika

Orde 1 kesetimbangan, Orde 2, dan persamaan Peleg. Penggunaan persamaan Peleg dalam analisa kinetika perubahan kekerasan telah dilakukan oleh Ansari, Maftoon-Azad, Hosseini, Farahnaky, & Asadi, (2014); Sacchetti, Pittia, Biserni, Pinnavaia, & Rosa, (2003), dan Peleg (1980). Nilai konstanta laju reaksi perubahan (k) kekerasan selama perendaman dan evaluasi persamaannya ditampilkan dalam Tabel 9 – Tabel 11.

Evaluasi persamaan kinetika pada ketiga model yang digunakan menunjukkan nilai koefisien determinasi (R^2) terbaik didapatkan dengan menggunakan persamaan Peleg. Namun evaluasi persamaan dengan menggunakan nilai RMSE menunjukkan persamaan tersebut menghasilkan nilai RMSE yang masih besar ($>0,8$). Hal tersebut disebabkan karena pola penurunan kekerasan biji sorgum pada awal proses perendaman berjalan sangat cepat sehingga persamaan yang digunakan masih menghasilkan nilai residual yang tinggi diawal proses perendaman.

Perlakuan biji sosoh dalam perendaman alkali (S Al) memberikan nilai energi aktivasi terkecil. Hal tersebut bermakna bahwa perlakuan biji sorgum sosoh dalam larutan alkali akan mempercepat proses pelunakan biji selama perendaman. Nilai energi aktivasi perubahan kekerasan biji sorgum selama perendaman ditampilkan dalam Tabel 12.

Hasil evaluasi pada ketiga model kinetika yang digunakan dalam menghitung kinetika perubahan kekerasan selama perendaman menyimpulkan bahwa model kinetika Orde 2 memiliki konsistensi yang lebih

Tabel 12. Nilai Energi aktivasi (Ea) dan persamaan Arrhenius pada parameter kekerasan untuk setiap perlakuan

Perlakuan	Model kinetika	Ea (kJ mol ⁻¹)	R ²	Persamaan Arrhenius	R ²
B Aq	Orde 1 kesetimbangan	9,50	0,990	$k = 13,77 \times 10^{-2} \exp\left(\frac{-9,50 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$	0,99
	Orde 2	15,59	0,98	$k = 1,90 \times 10^{-2} \exp\left(\frac{-15,59 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$	0,98
	Peleg	26,24	0,95	$k = 3,86 \times 10^{-5} \exp\left(\frac{-26,24 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$	0,95
B Al	Orde 1 kesetimbangan	11,41	0,95	$k = 30,47 \times 10^{-2} \exp\left(\frac{-11,41 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$	0,94
	Orde 2	12,65	0,98	$k = 38,28 \times 10^{-2} \exp\left(\frac{-12,65 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$	0,98
	Peleg	39,30	0,99	$k = 1,96 \times 10^{-7} \exp\left(\frac{-39,30 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$	0,99
S Aq	Orde 1 kesetimbangan	4,96	0,94	$k = 7,76 \times 10^{-4} \exp\left(\frac{-4,96 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$	0,94
	Orde 2	5,49	0,85	$k = 3,80 \times 10^{-4} \exp\left(\frac{-5,49 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$	0,83
	Peleg	0,89	0,93	$k = 19,44 \times 10^{-2} \exp\left(\frac{-0,89 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$	0,93
S Al	Orde 1 kesetimbangan	3,36	0,65	$k = 1,39 \times 10^{-3} \exp\left(\frac{-3,36 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$	0,67
	Orde 2	5,34	0,97	$k = 3,62 \times 10^{-4} \exp\left(\frac{-5,34 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$	0,96
	Peleg	1,27	0,01	$k = 47,28 \times 10^{-2} \exp\left(\frac{-1,27 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$	0,01

baik. Hal tersebut dapat diamati pada konsistensi nilai R² dari persamaan Arrhenius dan evaluasi persamaannya. Evaluasi model juga berdasarkan keselarasan antara perubahan nilai konstanta laju perubahan (k) dan nilai energi aktivasi (Ea) terhadap perlakuan jenis biji, suhu dan jenis larutan.

KESIMPULAN

Peningkatan suhu dan jenis biji berpengaruh nyata terhadap perubahan kadar air, kadar tanin, dan kekerasan biji sorgum selama perendaman. Penyosohan pada biji sorgum akan mempercepat proses difusi sehingga penurunan kadar tanin dan kekerasan biji sorgum selama perendaman berlangsung lebih cepat. Nilai konstanta laju reaksi cenderung meningkat seiring dengan peningkatan suhu proses perendaman. Persamaan kinetika Orde 2 memiliki konsistensi terbaik dalam perhitungan nilai konstanta laju reaksi perubahan dan energi aktivasi perubahan parameter pengamatan biji sorgum selama perendaman.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian yang telah membiayai penelitian ini.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa artikel ini asli hasil penelitian para penulis, hanya dipublikasikan pada jurnal ini, dan tidak ada konflik kepentingan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd El-Moneim MR Afify; Hossam S El-Beltagi; Samiha M Abd El-Salam; Azza A Omran. (2012). Biochemical changes in phenols, flavonoids, tannins, vitamin E, β -carotene and antioxidant activity during soaking of three white sorghum varieties. *Asian Pac J Trop Biomed*. Vol. 2(3), 203–209. DOI: 10.1016/S2221-1691(12)60042-2.
- Agarry, S. E., T. J. Afolabi dan T. Y. Tunde-Akintunde. (2014). Modelling The Water Absorption Characteristics of Different Maize (*Zea Mays L.*) Types during Soaking. *Journal Food Processing and Technology*. Vol. 5(5), 1–9. DOI: 10.4172/2157-7110.1000326

- Aqil, M., Zubachtirodin, dan C. Rapar. (2013). *Deskripsi varietas unggul jagung, sorgum, dan gandum*, Edisi 2013. Balai Penelitian Tanaman Serealia. Maros.
- Amrinola, (2010) Kajian pembuatan nasi sorgum (*Sorghum bicolor* L) instan rendah tannin. *Tesis*. Bogor. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Ansari, S., Maftoon-Azad, N., Hosseini, E., Farahnaky, A., and Asadi, G.H. (2015). Kinetic of Color and Texture Changes in Rehydrated Figs. *Journal of Agricultural Sciences*, 21, 108–122. DOI: <http://dx.doi.org/10.15832/tbd.47774>
- Crank, J. (1975). *The Mathematics of Diffusion Second Edition*. Oxford University Press. Oxford. 411 pp.
- Silva, D.A.R.O. da, Jorge, L.M.M., Jorge, R.M.M. (2018). Kinetics study and modelling of sorghum grain hydration. *Revista Ciência Agronômica*, Vol. 50(1), 44-53. <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20190006>
- Foke, V., and Rathod, D. (2013). Water diffusion co-efficient of paddy, rice, black gram and dhal. *International Journal of Agricultural Engineering*. Vol. 7(1), 125-130.
- Karapantsios, T.D.; Sakonidou, E.P. and Raphaelides, S.N. (2002). Water dispersion kinetics during starch gelatinization. *Carbohydrate Polymers* 49(4), 479–490. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(02\)00005-X](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(02)00005-X)
- Kashiri, M., M. Kashaninejad dan N. Aghajani. (2010). Modeling Water Absorption of Sorghum during Soaking. *Latin American Applied Research*. Vol. 40(4), 383–388.
- Klappa, P. (2009). *Kinetics for Bioscientist*. Ventus Publishing Aps. ISBN 978-87-7681-469-4. 221 pp
- Narsih, Yuanianta, Harijono. (2008). Studi lama perendaman dan lama perkecambahan sorgum (*sorghum bicolor* L. Moench) untuk menghasilkan tepung rendah tanin dan fitat. *Jurnal Teknologi Pertanian*. Vol. 9(3), 173-180.
- Peleg, M. (1988). An Empirical Model for The Description of Moisture Sorption Curve. *Journal of Food Science*. Vol. 53(4), 1216–1218. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb13565.x>
- Ponidi S., S. Sugiyatni, A.B. Yayuk, dan M. Dahlan. (1985). Varietas sorgum di Jawa Timur. *Prosiding Penelitian Tanaman Pangan*. Balittan Bogor.
- Sacchetti, G., Pittia, P., Bisemi, M., Pinnavaia, G.G., and Rosa, M.D. (2003) Kinetic modelling of textural changes in ready-to-eat breakfast cereals during soaking in semi-skimmed milk. *International Journal of Food Science and Technology*, 38, 135–143. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2003.00654.x>
- Snyder, E. B. (1993). Some Factors Affecting the Cooking Quality of the Pea and Great Northern Types of Dry Beans. *Historical Research Bulletins of the Nebraska Agricultural Experiment Station*, (1936), 6–31.
- Tunde-Akintunde, T. Y. (2010). Water Absorption Characteristics of Nigerian Acha (*Digitaria exilis*). *International Journal of Food Engineering*, 6(5). <https://doi.org/10.2202/1556-3758.1650>