

## Perubahan Tekstur, Aktivitas Air, dan Sifat Termal Dodol selama Penyimpanan sebagai Pengaruh Proporsi Santan Kelapa dan Suhu Penyimpanan

[Changes in Texture, Water Activity, and Thermal Properties of Dodol during Storage as Affected by Coconut Milk Proportion and Storage Temperature]

Gusti Setiavani<sup>1)</sup>, Sugiyono<sup>2)\*</sup>, dan Nugraha Edhi Suyatma<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Jurusan Pertanian, Politeknik Pembangunan Pertanian Medan, Medan, Indonesia

<sup>2)</sup> Departemen Ilmu dan Teknologi pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University, Bogor, Indonesia

Received February 22<sup>nd</sup> 2024 / Revised September 26<sup>th</sup> 2024 / Accepted October 10<sup>th</sup> 2024

### ABSTRACT

*Dodol is an Indonesia's traditional food made from a certain combination of glutinous rice flour, coconut milk, and palm sugar. Its stability and structure during storage changed greatly due to rheological characteristics, which was dependent on the proportion of raw materials and storage conditions. This study aimed to examine changes in texture (hardness, cohesiveness, springiness, and adhesiveness), water activity, and thermal properties of dodol during storage, as well as the correlation between these parameters. A factorial design was used with two factors (proportion of coconut milk and storage temperatures) and the samples were observed over 15 days. In terms of texture, hardness and adhesiveness rose, while cohesiveness and springiness declined. Such changes were influenced by the two factors studied. Water activity and thermal properties also varied, with enthalpy changes linked to retrogradation, particularly at refrigerator temperatures. A strong correlation was found between enthalpy changes and hardness, but a weak linear correlation between enthalpy and water activity. This study concluded that the proportion of coconut milk and storage temperature became two crucial factors determining the changes in texture, water activity, and thermal properties of dodol during storage.*

**Keywords:** retrogradation, texture, thermal, water activity

### ABSTRAK

Dodol adalah makanan tradisional Indonesia terbuat dari tepung beras ketan, santan kelapa, dan gula aren. Stabilitas dan struktur dodol selama penyimpanan dipengaruhi oleh karakteristik reologi, yang bergantung pada proporsi bahan baku dan kondisi penyimpanan. Penelitian ini bertujuan mengkaji perubahan tekstur (kekerasan, daya kohesif, *springiness*, dan *adhesiveness*), aktivitas air, dan sifat termal dodol selama penyimpanan, serta hubungan antar parameter tersebut. Rancangan penelitian menggunakan pengukuran berulang faktorial dengan dua faktor yaitu proporsi santan kelapa dan suhu penyimpanan, yang diamati selama 15 hari. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan kekerasan dan *adhesiveness*, penurunan daya kohesif dan *springiness*, yang dipengaruhi oleh proporsi santan dan suhu penyimpanan. Aktivitas air menunjukkan pola berbeda tergantung perlakuan, sementara sifat termal cenderung fluktuatif dengan peningkatan entalpi yang terkait dengan retrogradasi, terutama pada penyimpanan di suhu refrigerator. Analisis korelasi menunjukkan hubungan kuat antara perubahan entalpi dengan kekerasan, tetapi hubungan linear yang lemah antara perubahan entalpi dan aktivitas air. Penelitian ini menyimpulkan bahwa proporsi santan kelapa dan suhu penyimpanan berpengaruh terhadap perubahan tekstur, aktivitas air, dan sifat termal dodol selama penyimpanan.

**Kata kunci:** aktivitas air, retrogradasi, sifat termal, tekstur

### PENDAHULUAN

Dodol merupakan salah satu makanan tradisional Indonesia, terbuat dari campuran tepung beras ketan, santan kelapa, dan gula aren. Proses pem-

buatan dodol secara tradisional melibatkan proses pengadukan dan pemasakan pada waktu yang lama, hingga menjadi makanan yang memiliki karakteristik yang unik (Setiavani *et al.*, 2021). Karakteristik unik khususnya tekstur merupakan faktor utama yang

\*Penulis Korespondensi: E-mail: [sugiyono@apps.ipb.ac.id](mailto:sugiyono@apps.ipb.ac.id)

menjadi pertimbangan konsumen dalam mengonsumsi dodol, karena berhubungan dengan karakteristik fungsional yang diinginkan dan sifat struktural dodol (Lukito, 2017). Menurut Seow *et al.* (2021), di samping cita rasa yang enak, konsumen juga menginginkan dodol dengan tekstur yang kenyal (tidak lengket dan padat). Stabilitas dan struktur produk selama penyimpanan berhubungan erat dengan reologi, khususnya sistem emulsi dan dispersi yang dapat dideskripsikan tidak hanya melalui viskositas, tetapi juga dapat dideskripsikan melalui seberapa keras, kohesif, dan elastisitas produk tersebut.

Keberadaan tepung beras ketan, santan kelapa, dan gula aren berperan dalam reologi dodol. Secara generik, menurut Amigo *et al.* (2016), kinetika proses perubahan fisiko-kimia komponen selama penyimpanan bergantung pada keseimbangan kompleks dari parameter input (bahan), parameter proses (pencampuran, pemeriksaan, pembakaran, pendinginan) dan parameter penyimpanan (kelembapan, suhu). Rasio santan kelapa yang digunakan memengaruhi pola perilaku dari sistem campuran, yang perubahan reologi signifikannya terjadi pada sistem campuran dengan rasio santan kelapa yang lebih besar dibandingkan rasio gula aren. Semakin banyak santan yang digunakan, menunjukkan karakteristik yang lebih kental dibandingkan elastis, yang ditunjukkan oleh nilai  $G''$  yang lebih tinggi dibandingkan nilai  $G'$  pada seluruh rentang frekuensi, dan memiliki nilai  $\tan \delta > 1$  (Setiavani *et al.*, 2019). Keberadaan santan dalam jumlah besar akan mendominasi mikrostruktur sistem campuran dodol. Lemak dari santan berfungsi sebagai *barrier* masuknya air ke dalam sistem. Interaksi hidrofobik antara rantai hidrokarbon dan ruang amilosa *intra-helix* membentuk lapisan yang mencegah molekul air memasuki granula pati lemak, berperan dalam mencegah amilosa membentuk kompleks dengan gula dan lemak bebas yang berfungsi sebagai lemak padat/*shortening*, yang membuat aliran bahan pada sistem tidak terhalang (Setiavani *et al.*, 2022). Hal ini dikarenakan lemak atau asam lemak dapat memengaruhi entalpi gelatinisasi dan entalpi retrogradasi pati (Li *et al.*, 2018). Lemak juga dapat membentuk kompleks amilosa-lemak pada saat pemanasan dan pendinginan pati membentuk rongga hidrofobik helix tunggal pada amilosa yang lepas (Liu *et al.*, 2023). Proporsi santan kelapa tidak hanya memengaruhi perilaku aliran dan viskositas adonan, namun juga memengaruhi kinetika gelasi dan sifat viskoelastik dodol selama proses pendinginan dan penyimpanan. Selama proses pendinginan, viskositas, dan elastisitas dodol meningkat seiring banyaknya proporsi santan kelapa yang digunakan (Setiavani *et al.*, 2019).

Tidak hanya komponen penyusun dodol, beberapa penelitian terdahulu juga menemukan bahwa kondisi penyimpanan memengaruhi retrogradasi pati (Xie *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2015; Li dan Hamaker,

2021). Mekanisme perubahan sifat fisik dan organoleptik dalam penelitian ini, dihipotesiskan dipengaruhi oleh perubahan kekerasan, yang terkait erat dengan proses evaporasi air di bagian permukaan dodol, terjadinya migrasi komponen-komponen yang bersifat likuid dari bagian dalam dodol ke bagian luar, transmisi uap air dari kemasan dodol, dan secara agregatif dipengaruhi oleh komposisi makro-molekul dodol. Proses retrogradasi pati, ditandai dengan meningkatnya kekerasan atau kerapuhan produk selama penyimpanan, sering dijadikan sebagai salah satu alasan yang menyebabkan perubahan reologi pada produk berbasis pati selama penyimpanan. Namun, tidak dapat diabaikan pengaruh laju evaporasi air dari produk yang terjadi secara simultan memengaruhi tekstur produk yang bersangkutan. Menurut pendapat beberapa ahli, retrogradasi tidak hanya memengaruhi perubahan reologi namun secara signifikan juga memengaruhi tekstur dan umur simpan. Informasi santan kelapa dan suhu penyimpanan yang memengaruhi reologi dodol khususnya tekstur dan sifat termal selama penyimpanan masih sangat terbatas. Oleh karena itu, pemahaman yang baik mengenai perubahan tekstur, aktivitas air, dan kekerasan produk makanan berbasis pati sangat penting untuk perbaikan dan pengendalian kualitas produk dodol. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji reologi dodol selama penyimpanan sehingga dapat memberikan pemahaman yang lebih baik mengenai pengaruh proporsi santan kelapa dan suhu penyimpanan terhadap tekstur, aktivitas air, dan retrogradasi dodol.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah beras ketan "Sibujing" varietas lokal dari Kabupaten Tapanuli Utara, kelapa, dan gula aren. Kelapa dibeli di pasar tradisional Bogor. Umur kelapa rata-rata 75 hari dengan ciri-ciri: penampakan sabut mulai mengering, tempurung sudah berwarna hitam, dan air kelapa mulai berkurang yang ditandai dengan apabila dikocok kelapa akan berbunyi, dengan berat setelah sabut terkelupas 1,25 kg/butir. Gula aren dibeli dari pengerajin gula aren di Kabupaten Padang Lawas, Provinsi Sumatera Utara. Gula aren berwarna coklat gelap dan memiliki aroma khas nira.

### Metode

Penelitian ini dirancang dengan rancangan acak lengkap faktorial (dua faktor), percobaan pengamatan berulang (*repeated measurement design*) dikombinasikan dengan rancangan *factorial in time*. Dodol dibuat dengan proporsi tepung beras ketan dan gula aren tetap/konstan, sementara proporsi santan kelapa menjadi perlakuan. Faktor pertama

adalah proporsi santan kelapa yang terdiri dari dua taraf yaitu: proporsi santan kelapa 33%, dan proporsi santan kelapa 50%. Faktor kedua adalah suhu penyimpanan yang terdiri dari dua taraf yaitu: suhu ruang (25 sampai 27 °C), dan suhu refrigerator (4 °C). Dodol disimpan selama 15 hari dan dilakukan pengukuran berulang pada perlakuan yang sama sebanyak 5 kali yaitu pada hari ke 1, 3, 5, 10, 15, dengan setiap perlakuan dilakukan ulangan pengukuran 3 kali.

### Proses pembuatan dodol

Dodol dipersiapkan dengan mengacu pada metode pembuatan dodol secara tradisional yang diperoleh dari hasil survei langsung di Kabupaten Padang Lawas, Kabupaten Mandailing Natal, dan Kabupaten Padang Sidempuan. Tepung beras ketan dan gula aren ditimbang masing-masing sebanyak 500 g untuk semua perlakuan. Santan kelapa sebanyak 500 g, dan 1 kg ditimbang untuk mendapatkan proporsi santan kelapa 33% dan 50%. Tepung beras ketan dicampur dengan santan kelapa sesuai perlakuan. Campuran dipanaskan hingga mengental dan memiliki penampakan yang licin ( $\pm 15$  menit). Selanjutnya ditambahkan gula aren dan dimasak hingga mengental. Selama pemasakan campuran diaduk terus dengan menggunakan pengaduk kayu. Suhu pemasakannya dijaga tetap (api pada posisi sedang). Proses pemasakan dianggap selesai apabila campuran menjadi dodol yang kalis dan tidak lengket di tangan. Dodol dikemas dalam wadah tradisional yang terbuat dari anyaman daun pandan kering dengan diameter 6 cm dan panjang 8 cm. Selanjutnya dodol diletakkan dalam wadah plastik tertutup. Dodol disimpan pada suhu ruang ( $\pm 30$  °C) semalam. Selanjutnya, dodol disimpan selama 15 hari pada suhu refrigerator atau suhu ruang. Ruang tempat penyimpanan dodol dilengkapi dengan RH-meter (Mastech, seri Mastech MS6508, China) untuk mengukur RH dan suhu selama penyimpanan. Pengamatan dilakukan pada hari ke 1, 3, 5, 10, 15 terhadap karakteristik fisik (tekstur), aktivitas air (aw), dan termal. Pembuatan dodol untuk masing-masing perlakuan dilakukan sebanyak 3 kali.

### Analisis tekstur

Pengukuran perubahan tekstur dodol selama penyimpanan dilakukan secara objektif dengan menggunakan instrumen *Texture analyzer TAXT2i* (TAHDI, *Stable Microsystem*, Inggris) seperti yang diadopsi oleh metode standar AACC, metode 74-09 (AACC, 1986). Data pengukuran dianalisis menggunakan *Teksture expert version 1.22 (Stable Micro Sistem Ltd) software*. Parameter yang diamati berupa kekerasan (S1), daya kohesif (A2/A1), *springiness* (L1/L2), dan *adhesiveness* (A3) mengacu pada Nasaruddin *et al.* (2012).

### Analisis aktivitas air (aw)

Aktivitas air dodol selama penyimpanan diukur menggunakan aw-meter (Rotronik Hygrolab model perangkat Hygrolab C1, Swiss) yang dilengkapi dengan sensor probes yang sesuai (AOAC, 2005). Setiap pengukuran dilakukan dua kali.

### Analisis sifat termal

Sifat termal dianalisis dengan menggunakan instrumen *differential scanning calorimetry* atau DSC (Perkin Elmer DSC 8000, United States) dilengkapi dengan stasiun data analisis termal dan perangkat lunak perekaman data (STAR@ SW 9.20) di bawah atmosfer nitrogen murni dengan laju konstan 20 mL/menit) mengacu Al-Hajji *et al.* (2016) dengan modifikasi perlakuan bahan yang diuji. Sampel berupa dodol sesuai perlakuan dianggap telah teretrogradasi karena telah mengalami proses pendinginan selama penyimpanan. Sampel ditimbang (0,0035 g) dan disegel pada panci aluminium; panci DSC kosong digunakan sebagai referensi. Dodol dipindai pada suhu dari 10 hingga 150 °C pada laju konstan 8 °C/menit untuk mengumpulkan data suhu awal ( $T_o$ ), suhu puncak ( $T_p$ ), suhu set akhir ( $T_e$ ), serta perubahan entalpi ( $\Delta H$ ) yang terjadi selama penyimpanan.

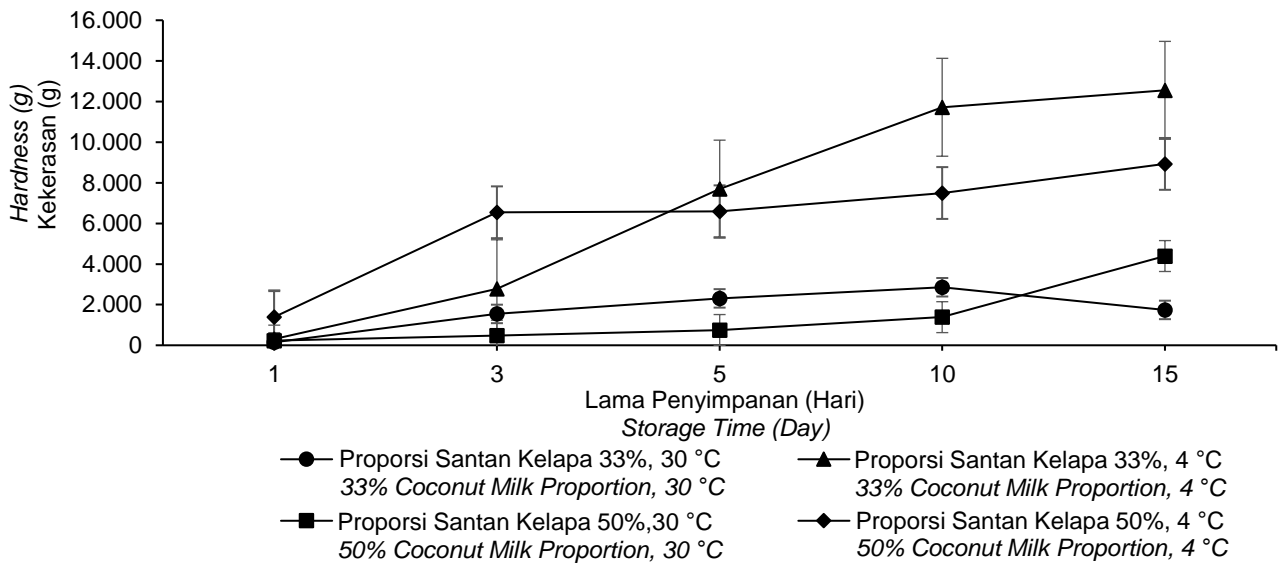
### Analisis statistik

Data ditabulasi menggunakan program *Microsoft Excel* 2010. Analisis data menggunakan analisis ragam dua arah (analisis variansi) dengan perangkat lunak sistem analisis statistik (SAS) versi 9.4. Jika hasil analisis secara signifikan berbeda, maka dilakukan uji lanjut *Duncan's multiple range test* (DMRT) dengan interval kepercayaan 95%. Korelasi atau hubungan antara perubahan tekstur, aw, dan perubahan entalpi dianalisis menggunakan analisis korelasi Pearson.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hardness/Kekerasan

Kekerasan dodol meningkat seiring hari penyimpanan (Gambar 1). Li dan Hamaker (2021) juga melaporkan peningkatan kekerasan pati teretrogradasi selama penyimpanan, matriks amorf pati gel dapat secara kontinyu diubah menjadi struktur yang lebih kaku selama penyimpanan. Hasil analisis statistik menunjukkan pengaruh yang sangat nyata suhu penyimpanan terhadap kekerasan dodol ( $p \leq 0,05$ ). Peningkatan kekerasan dodol terjadi lebih tinggi pada penyimpanan di suhu refrigerator dibandingkan di suhu ruang untuk masing-masing perlakuan proporsi santan kelapa.



Keterangan: Data diekspresikan sebagai rata-rata±standar deviasi, analisis statistik menggunakan analisis ragam dua arah sebanyak 3 ulangan

Note: Data are expressed as mean±standard deviation, statistical analysis using two-way ANOVA with 3 replicates

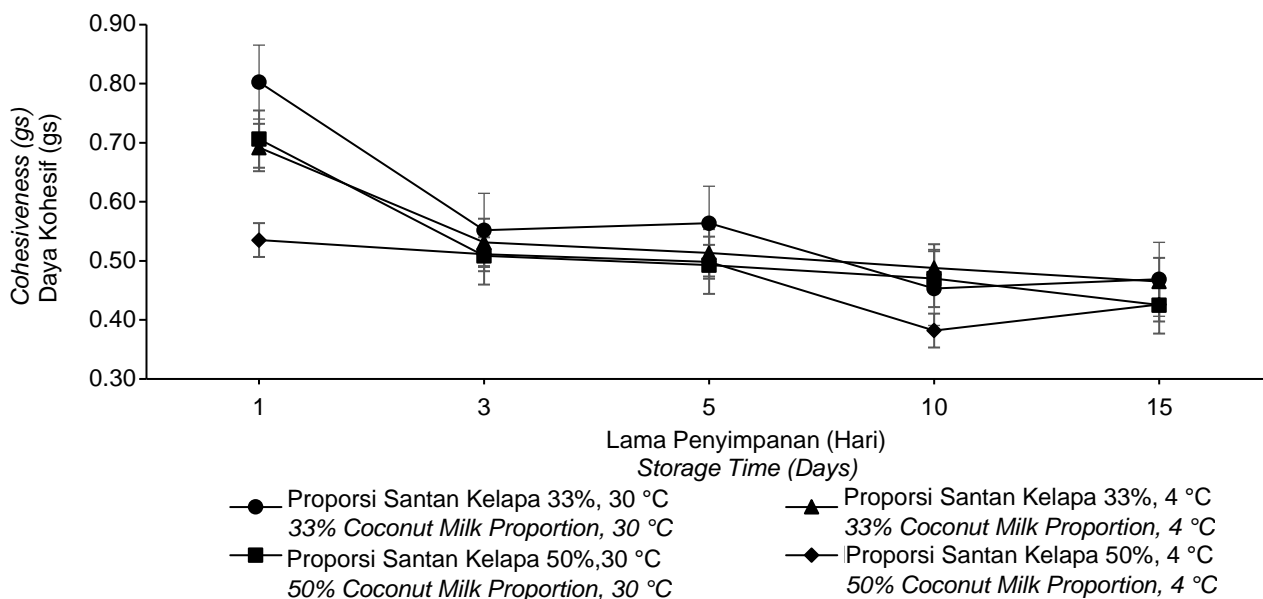
Gambar 1. Pengaruh proporsi santan dan lama penyimpanan terhadap kekerasan dodol selama penyimpanan  
Figure 1. Effect of coconut milk proportion and storage time on dodol hardness during storage

Kekerasan dodol 6 kali lebih rendah pada penyimpanan suhu ruang dibandingkan penyimpanan suhu refrigerator (proporsi santan kelapa 33%) dan 2 kali lebih rendah pada penyimpanan suhu ruang dibandingkan penyimpanan suhu refrigerator (proporsi santan kelapa 50%). Pada penyimpanan jangka pendek di suhu ruang, dodol dengan proporsi santan kelapa lebih banyak cenderung tetap lembut. Temuan ini sejalan dengan temuan dari beberapa peneliti terdahulu. Chen *et al.* (2024) melaporkan bahwa produk pangan berbasis pati cenderung menjadi lebih keras ketika disimpan pada suhu rendah. Retrogradasi juga diduga menyebabkan struktur gel menjadi lebih teratur dan mengkristal yang berdampak terhadap peningkatan kekerasan (Qiu *et al.*, 2020). Menurut Li dan Hamaker (2021), retrogradasi pati terjadi lebih tinggi pada suhu rendah (4 °C) ditandai dengan nilai perubahan entalpi yang tinggi.

**Cohesiveness/daya kohesif**

Daya kohesif menggambarkan kekuatan ikatan internal yang membentuk tubuh produk makanan (Qiu *et al.*, 2020). Daya kohesif dodol dengan proporsi santan kelapa 33% dan disimpan pada suhu refrigerator, serta dodol dengan proporsi santan kelapa 50% dan disimpan pada suhu ruang, menurun secara signifikan seiring lamanya penyimpanan (Gambar 2). Meskipun hasil analisis statistik menunjukkan tidak ada interaksi yang saling memengaruhi antara proporsi santan kelapa, suhu penyimpanan,

dan hari penyimpanan ( $p \geq 0,05$ ), namun baik suhu penyimpanan dan proporsi santan kelapa memiliki pengaruh yang nyata terhadap daya kohesif dodol ( $p \leq 0,05$ ). Daya kohesif dodol dengan proporsi santan lebih banyak (50%) pada penyimpanan suhu refrigerator, cenderung lebih tidak lengket dibandingkan proporsi santan 33% disimpan pada suhu refrigerator dan suhu ruang, serta proporsi santan 50% disimpan pada suhu ruang. Peningkatan kekerasan sebagaimana disebut sebelumnya disebabkan oleh proses retrogradasi yang terjadi pada pati ketika didinginkan. Retrogradasi menyebabkan struktur sistem menjadi lebih kompak yang ditandai dengan meningkatnya kekerasan selama penyimpanan. Menurut Fu *et al.* (2014) dan Lian *et al.* (2014), retrogradasi menyebabkan peningkatan struktur kristalin dari amilosa dan amilopektin yang menyebabkan perubahan struktur molekul yang awalnya tidak beraturan menjadi bentuk yang lebih beraturan atau kristalin. Struktur yang beraturan dan kompak tersebut, menyebabkan jumlah deformasi ketika diberi kompresi semakin menurun yang berdampak terhadap nilai daya kohesif dodol. Di samping itu, dengan rasio lemak yang lebih besar daripada pati, maka semakin banyak lemak bebas yang mengisi celah-celah di antara partikel. Hal ini menyebabkan sistem menjadi lebih padu, sehingga ketika diberikan gaya kompresi, dodol akan menjadi lebih fleksibel dan mengurangi jumlah kerusakan akibat deformasi.



Keterangan: Data diekspresikan sebagai rata-rata±standar deviasi, analisis statistik menggunakan analisis ragam dua arah sebanyak 3 ulangan

Note: Data are expressed as mean±standard deviation, statistical analysis using two-way ANOVA with 3 replicates

Gambar 2. Pengaruh proporsi santan dan lama penyimpanan terhadap daya kohesif dodol selama penyimpanan

Figure 2. Effect of coconut milk proportion and storage time on dodol cohesiveness during storage

### Springiness/kenyalan

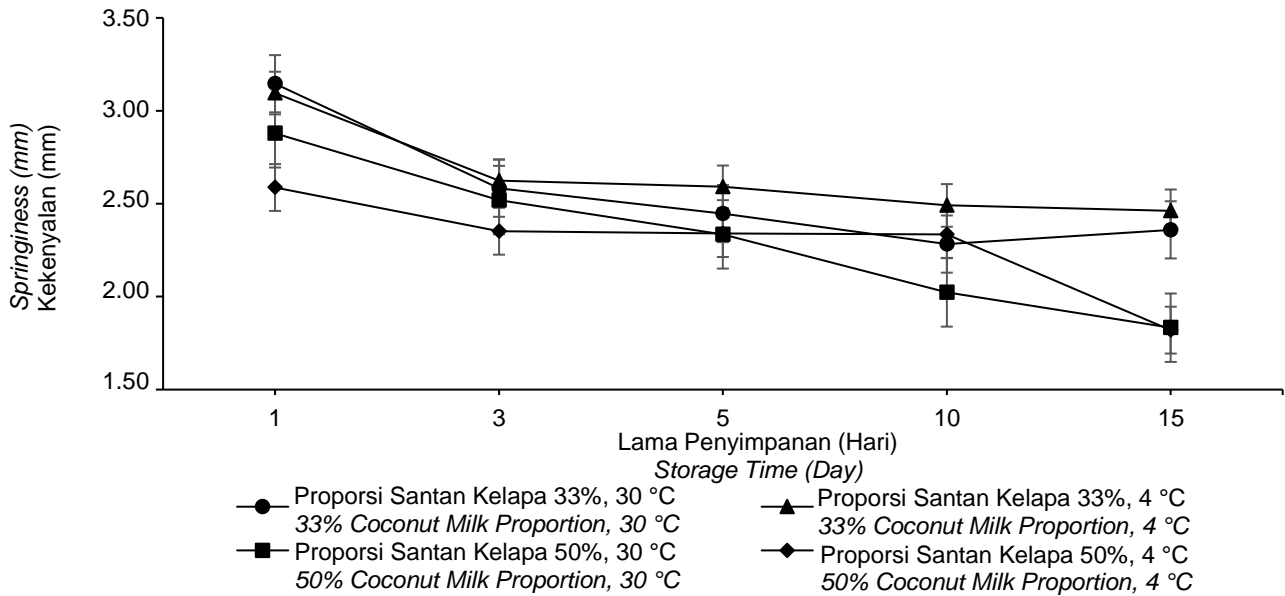
Menurut Qiu *et al.* (2020) dan Faber *et al.* (2017), *springiness* merupakan persepsi mulut dari bahan yang memiliki sifat “kenyal/rubberiness” dan juga mewakili tingkat deformasi dan pemulihan gel sampel selama kompresi awal. *Springiness* dodol semua kombinasi perlakuan menurun secara signifikan seiring lama penyimpanan (Gambar 3). *Springiness* dodol semakin berkurang seiring lamanya penyimpanan. Nilai *springiness* terendah untuk dodol dengan proporsi santan kelapa 33% penyimpanan suhu ruang, proporsi santan kelapa 33% penyimpanan suhu refrigerator, proporsi santan kelapa 50% penyimpanan suhu ruang, serta proporsi santan kelapa 50% penyimpanan suhu refrigerator, ditemukan pada hari kelima belas berturut-turut yaitu 2,36; 2,46; 2,47; 1,86; dan 1,83 mm

Hasil analisis statistik menunjukkan tidak adanya interaksi antara suhu penyimpanan dan proporsi santan kelapa, suhu penyimpanan dan hari penyimpanan, rasio dan hari penyimpanan, serta proporsi santan kelapa, suhu penyimpanan, dan lama penyimpanan yang berdampak terhadap penurunan *springiness* dodol ( $p \geq 0,05$ ). Meskipun tidak ada interaksi antara proporsi santan kelapa, suhu penyimpanan, dan hari penyimpanan, namun proporsi santan kelapa memiliki pengaruh yang nyata terhadap *springiness* ( $p \leq 0,05$ ). Pelakuan dodol dengan kombinasi proporsi santan kelapa 33% memiliki *springiness* yang lebih tinggi dibandingkan dodol dengan proporsi

santan kelapa 50%. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin sedikit santan yang digunakan maka semakin kenyal dodol yang dihasilkan. Semakin banyak proporsi santan kelapa yang digunakan maka struktur makro dodol selama kompresi pertama dari uji *Texture Profile Analysis* (TPA), menghasilkan *springiness* yang lebih rendah. Hal ini disebabkan karena santan kelapa mengandung lemak khususnya asam laurat (Setiavani *et al.*, 2019). Asam laurat merupakan kelompok lemak tak jenuh yang berbentuk cair pada suhu ruang. Menurut Mamat dan Hill (2012), lemak dalam bentuk cair akan tersebar di sekitar campuran dalam bentuk globula-globula kecil, yang jauh lebih efektif dalam tindakannya sebagai lemak padat pada adonan. Dengan adanya santan kelapa sebagai *shortening*, maka bahan menjadi lebih cair sehingga kemampuannya untuk kembali ke kondisi semula lebih rendah.

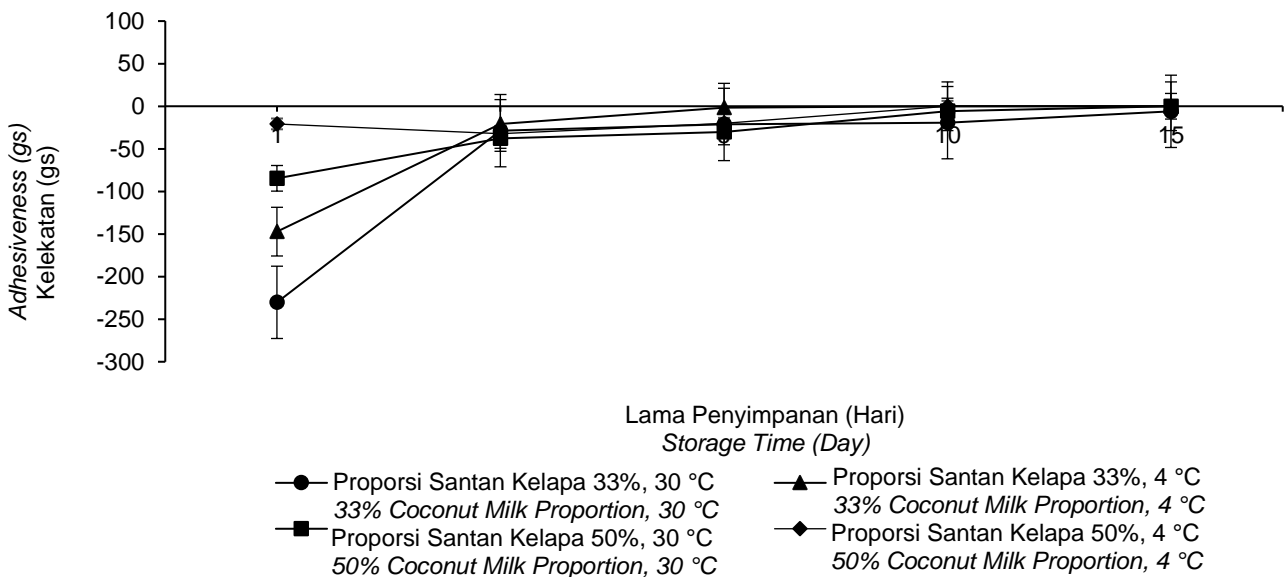
### Adhesiveness/kelekatan

*Adhesiveness* merujuk pada area negatif saat kompresi pertama yang mewakili energi yang diperlukan ketika *probe* di tarik dari sampel (Liu *et al.*, 2019). Nilai *adhesiveness* yang negatif menunjukkan semakin banyak energi yang dibutuhkan untuk mengatasi daya tarik menarik antara permukaan bahan dan permukaan *probe* pengujian (Qiu *et al.*, 2020), perlawanan ketika bahan ditarik. *Adhesiveness* dodol untuk semua kombinasi perlakuan meningkat secara signifikan (Gambar 4).



Keterangan: Data diekspresikan sebagai rata-rata±standar deviasi, analisis statistik menggunakan analisis ragam dua arah sebanyak 3 ulangan  
 Note: Data are expressed as mean±standard deviation, statistical analysis using two-way ANOVA with 3 replicates

Gambar 3. Pengaruh proporsi santan dan lama penyimpanan terhadap *springiness* dodol selama penyimpanan  
 Figure 3. Effect of coconut milk proportion and storage time on dodol *springiness* during storage



Keterangan: Data diekspresikan sebagai rata-rata±standar deviasi, analisis statistik menggunakan analisis ragam dua arah sebanyak 3 ulangan  
 Note: Data are expressed as mean±standard deviation, statistical analysis using two-way ANOVA with 3 replicates

Gambar 4. Pengaruh proporsi santan dan hari penyimpanan terhadap kelekatan dodol selama penyimpanan  
 Figure 4. Effect of coconut milk proportion and storage days on dodol adhesiveness index during storage

Dodol dengan proporsi santan kelapa 33% yang disimpan di suhu ruang dan pada suhu refrigerator memiliki *adhesiveness* yang lebih besar dibandingkan dodol dengan proporsi santan kelapa 50% dan

disimpan di suhu ruang maupun suhu refrigerator. *Adhesiveness* dodol dengan proporsi santan kelapa 33% dan disimpan di suhu refrigerator, serta dodol dengan proporsi santan kelapa 50% dan disimpan

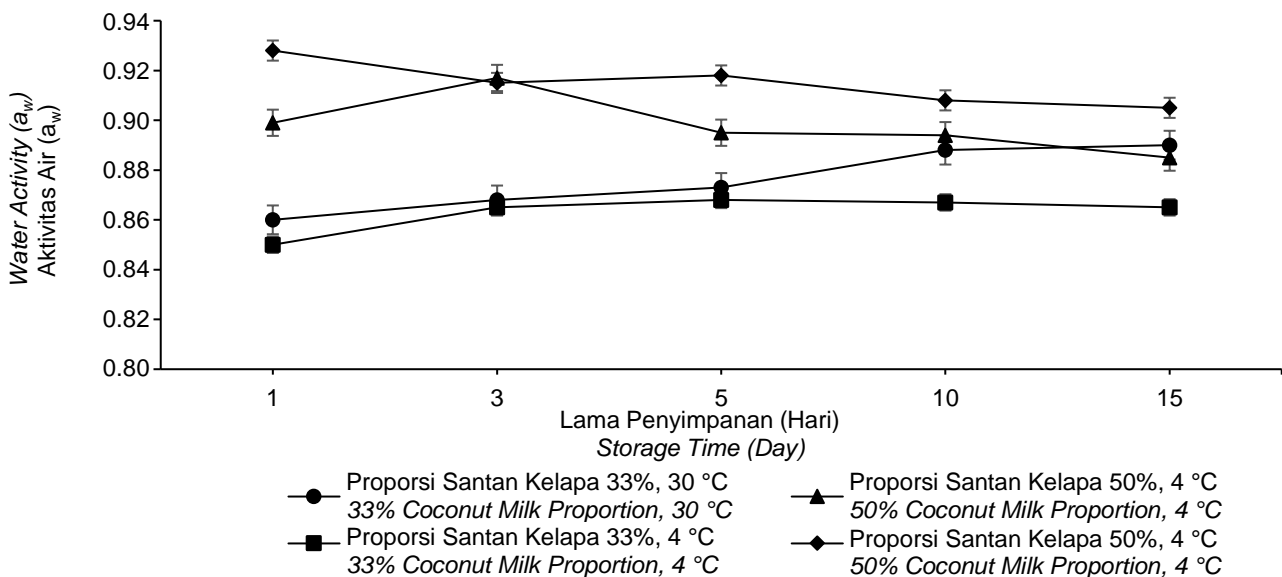
pada suhu refrigerator, masih dapat diamati hingga hari kelima penyimpanan, namun setelah hari kelima *adhesiveness* bernilai 0. *Adhesiveness* dodol dengan proporsi santan kelapa 50% dan disimpan di suhu ruang adalah 0 pada hari kesepuluh. Data penelitian menunjukkan bahwa semakin banyak proporsi santan kelapa pada dodol, maka dodol semakin tidak lengket.

Hasil analisis statistik menunjukkan adanya pengaruh yang sangat nyata suhu penyimpanan, proporsi santan kelapa, dan hari penyimpanan terhadap *adhesiveness* dodol ( $p \leq 0,05$ ). Hasil analisis variansi juga menunjukkan adanya interaksi antara suhu penyimpanan dan hari penyimpanan, proporsi santan kelapa dan hari penyimpanan ( $p \leq 0,05$ ). Di samping itu, proporsi santan kelapa, suhu penyimpanan, dan hari penyimpanan, tidak saling memengaruhi terhadap *adhesiveness* dodol. Meskipun tidak ada interaksi antara proporsi santan kelapa, suhu penyimpanan, hari penyimpanan yang saling memengaruhi, namun hasil analisis variansi menunjukkan bahwa kelengketan dodol menurun dengan semakin banyaknya proporsi santan kelapa pada sistem. Kelengketan dodol juga berkurang pada penyimpanan suhu rendah. Semakin banyak santan kelapa yang digunakan maka semakin banyak lemak pada sistem. Lemak memiliki efek *lubricant*/pelumas. Lemak juga

bertindak sebagai pelumas antar partikel, menyebabkan material mengalir tanpa terhalang (Setiavani *et al.*, 2019; Setiavani *et al.*, 2022). Menyimpan dodol dalam suhu dingin akan memadatkan lemak yang menurunkan kelengketan seiring hari penyimpanan.

**Aktivitas air (aw) dodol**

aw dodol dengan proporsi santan kelapa 33% dan disimpan pada suhu ruang meningkat secara signifikan dan mencapai nilai tertinggi 0,89 pada hari kelima belas (Gambar 5). Nilai aw dodol dengan proporsi santan kelapa 33% dan disimpan pada suhu refrigerator menurun dan mencapai nilai terendah 0,87 pada hari kelima belas. Nilai aw dodol dengan proporsi santan kelapa 50% dan disimpan pada suhu ruang meningkat hingga hari ketiga, kemudian menurun secara signifikan dan mencapai nilai terendah 0,89 pada hari kelima belas. Nilai aw dodol dengan proporsi santan kelapa 50% dan disimpan pada suhu refrigerator menurun pada hari ketiga penyimpanan, dan kemudian menjadi relatif konstan hingga hari kelima belas penyimpanan hingga mencapai nilai terendah 0,89. Hasil analisis variansi menunjukkan adanya pengaruh yang sangat nyata proporsi santan kelapa ( $p < 0,05$ ), dan tidak ada pengaruh nyata suhu penyimpanan dan hari penyimpanan terhadap aktivitas air dodol ( $p > 0,05$ ).



Keterangan: Data diekspresikan sebagai rata-rata±standar deviasi, analisis statistik menggunakan analisis ragam dua arah sebanyak 3 ulangan

Note: Data are expressed as mean±standard deviation, statistical analysis using two-way ANOVA with 3 replicates

Gambar 5. Pengaruh proporsi santan dan hari penyimpanan terhadap aktivitas air dodol selama penyimpanan  
Figure 5. Effect of coconut milk proportion and storage days on dodol water activity during storage

Perubahan nilai  $a_w$  dapat dijelaskan sebagai pengaruh mobilisasi air yang terjadi dari bahan ke lingkungan pada hari ketiga menuju kesetimbangan dengan lingkungan hingga hari kelima belas penyimpanan. Kadar air bahan pangan menyesuaikan dengan kondisi lingkungan berupa migrasi uap air dari lingkungan ke pangan atau sebaliknya hingga tercapai kesetimbangan apabila dibiarkan lebih lanjut. Pada saat yang sama, kurva  $a_w$  dodol dengan proporsi santan kelapa yang berbeda dan disimpan pada suhu ruang, cenderung lebih tajam penurunan dan peningkatannya dibandingkan dengan dodol dengan proporsi santan kelapa yang berbeda dan disimpan pada suhu refrigerator. Penurunan dan peningkatan secara tajam terjadi hingga hari ketiga dan cenderung stabil setelah hari ketiga. Ini mungkin dikarenakan suhu ruang memiliki nilai RH (kelembapan relatif) yang lebih tinggi dan berfluktuasi daripada suhu refrigerator. Kelembapan relatif suhu ruang selama penyimpanan adalah antara 83 dan 92%, sedangkan RH refrigerator stabil pada 78%. Jika dilihat dari Gambar 5, kondisi setimbang dodol yang disimpan di refrigerator tercapai pada hari 10–15 penyimpanan, sementara dodol yang disimpan di suhu ruang memerlukan waktu yang lebih lama (lewat 15 hari) untuk mencapai kondisi setimbang. Dodol merupakan sistem yang kompleks yang terdiri dari berbagai komponen. Pengaruh komponen-komponen tersebut tidak dapat diabaikan terhadap nilai  $a_w$  dodol terutama santan kelapa. Lemak memiliki kapasitas mengikat air yang rendah seperti yang ditunjukkan oleh nilai kadar air kesetimbangannya yang terus turun ketika lebih banyak lemak ditambahkan ke dalam sistem (Hao *et al.*, 2014).

### Sifat termal dodol

Analisis variansi menunjukkan tidak adanya pengaruh nyata perlakuan maupun interaksi antar perlakuan yang memengaruhi nilai  $T_p$  dan  $T_e$  ( $p \geq 0,05$ ). Terdapat interaksi antara suhu penyimpanan dan hari penyimpanan terhadap nilai  $T_o$  ( $p \leq 0,05$ ). Analisis variansi juga menunjukkan adanya pengaruh yang sangat nyata proporsi santan kelapa terhadap  $\Delta H$  dodol ( $p \leq 0,05$ ). Perubahan termal yang diukur dengan instrumen DSC menunjukkan bahwa  $T_o$ ,  $T_p$ , dan  $T_e$  dodol selama penyimpanan cenderung menurun untuk semua kombinasi perlakuan (Tabel 1). Ini menunjukkan perubahan dalam struktur sistem yang memengaruhi suhu transisi. Suhu puncak perlakuan dodol dengan proporsi santan kelapa 33% yang disimpan di suhu ruang terjadi pada hari kelima belas sebesar  $121,26 \pm 0,25$  °C. Suhu puncak perlakuan dodol dengan proporsi santan kelapa 33% yang disimpan di suhu refrigerator, terjadi pada hari pertama penyimpanan sebesar  $114,84 \pm 0,05$  °C. Suhu puncak perlakuan dodol dengan proporsi santan kelapa 50% yang disimpan di suhu ruang terjadi pada hari kelima belas penyimpanan sebesar  $115,75 \pm 0,08$  °C.

Suhu puncak perlakuan dodol dengan proporsi santan kelapa 50% yang disimpan di suhu refrigerator terjadi pada hari pertama penyimpanan sebesar  $127,19 \pm 0,11$  °C. Kemungkinan struktur sistem campuran mencapai maksimal pada hari pertama untuk penyimpanan di suhu refrigerator dan hari kelima belas (proporsi santan kelapa 33%) dan kelima (proporsi santan kelapa 50%) untuk penyimpanan di suhu ruang. Pada penelitian ini, interaksi suhu penyimpanan dan hari penyimpanan hanya berdampak terhadap suhu *onset* dodol.

Selama 15 hari penyimpanan terjadi peningkatan perubahan entalpi ( $\Delta H$ ) untuk semua kombinasi perlakuan. Menurut Zhang *et al.* (2014), suhu leleh ( $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_c$ ) mencerminkan stabilitas panas bahan berstruktur kristal, sedangkan nilai  $\Delta H$  dikaitkan dengan retrogradasi.  $\Delta H$  dodol meningkat lebih tinggi pada hari kelima belas penyimpanan suhu ruang, dan hari kesepuluh dan kelima belas penyimpanan suhu refrigerator. Ini menunjukkan bahwa retrogradasi dodol berlangsung lebih lambat pada penyimpanan jangka pendek dan berlangsung lebih cepat pada penyimpanan jangka panjang. Menurut Qiu *et al.* (2020), beras ketan menunjukkan retrogradasi yang lebih lambat selama beberapa hari penyimpanan pertama yang disebabkan oleh struktur bercabang amilopektin. Peningkatan  $\Delta H$  selama penyimpanan menunjukkan peningkatan pembentukan kristalinitas pati dan penataan molekuler (Xie *et al.*, 2014). Meskipun demikian, tidak ada interaksi antara proporsi santan kelapa, suhu penyimpanan, hari penyimpanan yang berdampak terhadap kenaikan  $\Delta H$ . Namun interaksi yang saling memengaruhi terjadi antara proporsi santan kelapa dan suhu penyimpanan. Entalpi retrogradasi yang terjadi pada penyimpanan di suhu rendah sedikit lebih tinggi dibandingkan penyimpanan pada suhu kamar untuk semua kombinasi perlakuan, terutama selama penyimpanan jangka panjang. Temuan ini sejalan dengan Ding *et al.* (2019), yang menemukan bahwa retrogradasi entalpi pati beras yang disimpan pada suhu rendah (4 °C) lebih tinggi daripada yang disimpan pada suhu tinggi (15 °C, 30 °C). Menurut Arik Kibar *et al.* (2014), hal ini terkait erat dengan pembentukan nukleasi dan propagasi yang optimal pada suhu 4 °C. Di samping itu terdapat kemungkinan bahwa mobilitas molekul terjadi pada suhu yang lebih tinggi.

$\Delta H$  menunjukkan nilai yang lebih tinggi pada perlakuan dengan proporsi santan kelapa 33% dibandingkan perlakuan dengan proporsi santan kelapa 50% untuk penyimpanan jangka pendek. Data ini membuktikan pengaruh proporsi lemak terhadap laju retrogradasi. Chen *et al.* (2017) juga melaporkan pengaruh penambahan minyak jagung terhadap  $\Delta H$  pati beras. Pati beras dengan penambahan minyak jagung 50% memiliki  $\Delta H$  yang lebih kecil dibandingkan pati beras tanpa minyak jagung.



Tabel 1. Suhu transisi dan perubahan entalpi ( $\Delta H$ ) dodol selama penyimpanan  
 Table 1. Transition temperature and enthalpy changes ( $\Delta H$ ) of dodol during storage

Perlakuan (Treatment)	Lama Penyimpanan (Hari) (Storage Time (Day))	Onset ( $T_o$ ) ( $^{\circ}C$ )	Peak ( $T_p$ ) ( $^{\circ}C$ )	Endset ( $T_e$ ) ( $^{\circ}C$ )	$\Delta H$ (kJ/g)
Proporsi santan kelapa 33%, 30 $^{\circ}C$ (33% coconut milk proportion, 30 $^{\circ}C$ )	1	104.88 $\pm$ 0.27 <sup>bcd</sup>	113.83 $\pm$ 0.12 <sup>abc</sup>	125.19 $\pm$ 0.44 <sup>a</sup>	0.33 $\pm$ 0.51 <sup>a</sup>
Proporsi santan kelapa 33%, 30 $^{\circ}C$ (33% coconut milk proportion, 30 $^{\circ}C$ )	5	103.94 $\pm$ 0.15 <sup>bcd</sup>	108.80 $\pm$ 0.07 <sup>abc</sup>	118.92 $\pm$ 0.16 <sup>a</sup>	1.06 $\pm$ 0.41 <sup>abc</sup>
Proporsi santan kelapa 33%, 30 $^{\circ}C$ (33% coconut milk proportion, 30 $^{\circ}C$ )	10	103.84 $\pm$ 0.03 <sup>cde</sup>	114.58 $\pm$ 0.05 <sup>abc</sup>	117.55 $\pm$ 0.65 <sup>a</sup>	1.10 $\pm$ 0.29 <sup>abc</sup>
Proporsi santan kelapa 33%, 30 $^{\circ}C$ (33% coconut milk proportion, 30 $^{\circ}C$ )	15	102.91 $\pm$ 0.29 <sup>e</sup>	121.26 $\pm$ 0.25 <sup>abc</sup>	138.69 $\pm$ 0.32 <sup>a</sup>	1.59 $\pm$ 0.01 <sup>abcd</sup>
Proporsi santan kelapa 33%, 4 $^{\circ}C$ (33% coconut milk proportion, 4 $^{\circ}C$ )	1	104.70 $\pm$ 0.11 <sup>bcd</sup>	114.84 $\pm$ 0.05 <sup>abc</sup>	127.22 $\pm$ 0.40 <sup>a</sup>	1.08 $\pm$ 1.12 <sup>abc</sup>
Proporsi santan kelapa 33%, 4 $^{\circ}C$ (33% coconut milk proportion, 4 $^{\circ}C$ )	5	95.88 $\pm$ 0.17 <sup>bcd</sup>	111.51 $\pm$ 0.94 <sup>a</sup>	121.94 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	1.09 $\pm$ 0.52 <sup>abc</sup>
Proporsi santan kelapa 33%, 4 $^{\circ}C$ (33% coconut milk proportion, 4 $^{\circ}C$ )	10	84.16 $\pm$ 0.14 <sup>abc</sup>	106.65 $\pm$ 0.03 <sup>bc</sup>	121.92 $\pm$ 0.32 <sup>a</sup>	3.32 $\pm$ 0.02 <sup>e</sup>
Proporsi santan kelapa 33%, 4 $^{\circ}C$ (33% coconut milk proportion, 4 $^{\circ}C$ )	15	76.45 $\pm$ 0.14 <sup>ab</sup>	99.79 $\pm$ 0.85 <sup>ab</sup>	121.86 $\pm$ 0.86 <sup>a</sup>	3.39 $\pm$ 0.22 <sup>e</sup>
Proporsi santan kelapa 50%, 30 $^{\circ}C$ (50% coconut milk proportion, 30 $^{\circ}C$ )	1	115.48 $\pm$ 0.10 <sup>bcd</sup>	113.30 $\pm$ 0.11 <sup>abc</sup>	132.29 $\pm$ 0.30 <sup>a</sup>	0.67 $\pm$ 0.12 <sup>abc</sup>
Proporsi santan kelapa 50%, 30 $^{\circ}C$ (50% coconut milk proportion, 30 $^{\circ}C$ )	5	108.41 $\pm$ 0.05 <sup>de</sup>	115.75 $\pm$ 0.08 <sup>abc</sup>	131.26 $\pm$ 0.39 <sup>a</sup>	0.59 $\pm$ 0.11 <sup>ab</sup>
Proporsi santan kelapa 50%, 30 $^{\circ}C$ (50% coconut milk proportion, 30 $^{\circ}C$ )	10	103.42 $\pm$ 0.04 <sup>bcd</sup>	109.14 $\pm$ 0.02 <sup>abc</sup>	121.37 $\pm$ 0.59 <sup>a</sup>	1.66 $\pm$ 0.40 <sup>abcd</sup>
Proporsi santan kelapa 50%, 30 $^{\circ}C$ (50% coconut milk proportion, 30 $^{\circ}C$ )	15	102.62 $\pm$ 0.31 <sup>bcd</sup>	108.60 $\pm$ 0.97 <sup>abc</sup>	125.12 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>	3.51 $\pm$ 0.12 <sup>e</sup>
Proporsi santan kelapa 50%, 4 $^{\circ}C$ (50% coconut milk proportion, 4 $^{\circ}C$ )	1	126.03 $\pm$ 0.11 <sup>bcd</sup>	127.19 $\pm$ 0.11 <sup>abc</sup>	139.10 $\pm$ 0.39 <sup>a</sup>	0.67 $\pm$ 0.12 <sup>abc</sup>
Proporsi santan kelapa 50%, 4 $^{\circ}C$ (50% coconut milk proportion, 4 $^{\circ}C$ )	5	103.74 $\pm$ 0.31 <sup>de</sup>	113.52 $\pm$ 0.51 <sup>c</sup>	125.34 $\pm$ 0.17 <sup>a</sup>	1.94 $\pm$ 1.78 <sup>bcd</sup>
Proporsi santan kelapa 50%, 4 $^{\circ}C$ (50% coconut milk proportion, 4 $^{\circ}C$ )	10	103.20 $\pm$ 0.81 <sup>a</sup>	111.26 $\pm$ 0.32 <sup>ab</sup>	122.72 $\pm$ 0.61 <sup>a</sup>	2.02 $\pm$ 0.66 <sup>cd</sup>
Proporsi santan kelapa 50%, 4 $^{\circ}C$ (50% coconut milk proportion, 4 $^{\circ}C$ )	15	95.72 $\pm$ 0.05 <sup>bcd</sup>	108.25 $\pm$ 0.06 <sup>ab</sup>	127.44 $\pm$ 0.14 <sup>a</sup>	2.90 $\pm$ 0.05 <sup>de</sup>

Keterangan: Data diekspresikan sebagai rata-rata $\pm$ standar deviasi, analisis statistik menggunakan analisis ragam dua arah sebanyak 3 ulangan

Note: Data are expressed as mean $\pm$ standard deviation, statistical analysis using two-way ANOVA with 3 replicates

Menurut Toker *et al.* (2013), asam lemak bebas dapat bertindak sebagai penghalang terhadap distribusi kelembapan, yang dapat membatasi mobilitas amilosa menyebabkan penurunan entalpi retrogradasi pati. Penambahan lemak atau asam lemak dapat menurunkan entalpi gelatinisasi, entalpi retrogradasi, atau kristalinitas pati (Li *et al.*, 2018). Penghambatan tersebut lebih disebabkan karena terbentuknya ikatan antara lemak dan amilosa membentuk kompleks amilosa-lemak. Lemak juga dapat membentuk kompleks amilosa-lemak dalam matriks, yang dapat memengaruhi dinamika molekul dua daerah almorfi pati pada kadar air rendah (Pérez *et al.*, 2014). Asam laurat pada santan kelapa mampu dengan mudah membentuk kompleks pati-lemak. Asam laurat (C12:0) adalah panjang rantai yang optimal untuk pembentukan kompleks (Liu *et al.*, 2023). Kompleks

antara pati-lemak seperti asam lemak, lisofosfolipida, dan monogliserida secara signifikan menghambat retrogradasi pati. Efek penghambatan retrogradasi oleh kompleks amilosa-lemak, terjadi melalui mekanisme penghambatan *cross-linking* dan pembentukan struktur *double-helix* antar molekul amilosa yang memperlambat retrogradasi (Wang *et al.*, 2015).

**Hubungan antara tekstur, aw, dan perubahan entalpi**

Korelasi Pearson digunakan untuk melihat hubungan antara parameter kekerasan, konsistensi, daya kohesif, *springiness*, *adhesiveness*,  $T_e$ ,  $T_p$ ,  $T_e$ ,  $\Delta H$ , dan aw. Selengkapnya hasil analisis korelasi Pearson untuk hubungan antara parameter tersebut disajikan pada Tabel 2. Hubungan antara dua peubah dilihat dengan menggunakan nilai korelasi (r). Nilai

korelasi  $r > 0,7$  berarti hubungan antara dua peubah dapat dikatakan kuat; nilai korelasi  $0,5 < r < 0,7$  berarti hubungan antara dua peubah dapat dikatakan cukup kuat; korelasi  $r < 0,5$  berarti hubungan antara dua peubah dapat dikatakan lemah. Hasil analisis menunjukkan hubungan yang kuat antara kekerasan dan  $\Delta H$ , serta indeks viskositas dan daya kohesif. Hubungan yang cukup kuat, terjadi antara kekerasan dan  $T_o$ , *springiness* dan daya kohesif, *adhesiveness* dan *springiness*,  $T_o$  dan *adhesiveness*, serta  $T_o$  dan  $T_e$ . Parameter analisis yang lain menunjukkan hubungan yang lemah. Nilai korelasi kekerasan dan  $\Delta H$  adalah positif berarti semakin tinggi kekerasan maka semakin tinggi  $\Delta H$ . Nilai korelasi *adhesiveness* dan daya kohesif juga positif, yang berarti semakin besar *adhesiveness* maka semakin besar daya kohesif dodol.

Laju retrogradasi pada penelitian ini memiliki hubungan linear yang nyata dengan kekerasan. Hal ini juga membuktikan bahwa kenaikan kekerasan dodol selama penyimpanan berhubungan dengan retrogradasi. Hal ini sejalan dengan pendapat Qiu *et al.* (2020) dan Amigo *et al.* (2016), peningkatan kekerasan produk pangan berbasis pati diyakini memiliki hubungan dengan retrogradasi. Menurut Amigo *et al.* (2016) gel pati merupakan sistem metastabil. Ketika pati gelatinisasi didinginkan maka secara perlahan mengalami rekristalisasi (retrogradasi). Hal ini menyebabkan perubahan granula pati dari bentuk tidak teratur menjadi lebih teratur atau kristal (Fu *et al.*, 2014). Hal ini menyebabkan pati lebih padat dan lebih keras, yang memengaruhi atribut kekerasan.

Aktivitas air tidak memiliki hubungan linear dan nyata dengan parameter tekstur. Menunjukkan perubahan kekerasan, daya kohesif, *springiness*, dan *adhesiveness* selama penyimpanan tidak berhubungan dengan laju evaporasi air dari bahan. aw tidak memiliki hubungan linear yang nyata dengan  $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_e$ , dan  $\Delta H$ . Temuan ini berbeda dengan hasil penelitian beberapa peneliti sebelumnya. Menurut Ding *et al.* (2019), perubahan entalpi dipengaruhi oleh kadar air bahan dan suhu penyimpanan. Senada

dengan hal tersebut, beberapa penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa kadar air dalam suatu bahan memainkan peran penting dalam retrogradasi (Chen *et al.*, 2024). Dalam retrogradasi, air bertindak sebagai pengikat untuk rantai amilosa dan amilopektin dengan ukuran yang sama. Kehadiran amilosa mengurangi jumlah air yang berinteraksi dengan amilopektin, sehingga kurang mampu mengasosiasikan dirinya dan yang mengarah pada kokristalisasi rantai amilosa dan amilopektin. Ketika jumlah air berkurang, kemungkinan amilosa untuk membentuk ikatan dengan amilopektin menjadi lebih tinggi. Ketika didinginkan, ikatan antara molekul hidrogen pada amilosa, dan air melemah; di sisi lain, terbentuk ikatan hidrogen intermolekular yang baru pada OH-2 residu *D-glucopyranosa* dari amilosa dan O-6 residu rantai pendek *D-glokopiranosa* dari molekul amilopektin mengakibatkan air dipisahkan dari struktur gel. Penelitian ini mengamati aktivitas air bahan yang berhubungan dengan laju evaporasi dan tidak mengamati kadar air bahan. Diduga kadar amilosa yang rendah pada tepung beras ketan menyebabkan jumlah air terpisah dari struktur gel selama retrogradasi tidak memadai untuk meningkatkan induksi yang memengaruhi tekstur (kekerasan, daya kohesif, *springiness*, *adhesiveness*), dan parameter termal ( $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_e$ ,  $\Delta H$ ).

Kekerasan memiliki hubungan linear yang sangat nyata dengan daya kohesif. Seiring kenaikan kekerasan maka daya kohesif semakin menurun. Kekerasan identik dengan struktur bahan yang padat dan teratur. Semakin kuat struktur bahan maka semakin konsisten. *Adhesiveness* memiliki hubungan linear yang sangat nyata dengan daya kohesif dan *springiness*. Semakin tidak lengket dodol maka daya kohesif semakin rendah dan dodol semakin tidak elastis atau lembut. Pada penelitian ini daya kohesif juga ditemukan memiliki hubungan yang negatif dengan kekerasan (Tabel 2), semakin meningkat kekerasan maka daya kohesif semakin menurun.

Tabel 2. Koefisien korelasi Pearson hubungan antara tekstur, aw, dan perubahan entalpi

Table 2. The Pearson correlation coefficient describing the relationship between texture, aw, and enthalpy changes

	K	DK	S	KL	$T_o$ (°C)	$T_p$ (°C)	$T_e$ (°C)	$\Delta H$	aw
K	1.000								
DK	-0.449**	1.000							
S	-0.246	0.699**	1.000						
KL	0.478**	-0.794**	-0.616**	1.000					
$T_o$	-0.510**	0.144	-0.057	-0.616	1.000				
$T_p$	-0.077	0.057	0.073	-0.088	0.366*	1.000			
$T_e$	-0.092	-0.179	-0.138	0.176	0.514**	0.390**	1.000		
$\Delta H$	0.709**	-0.481**	-0.387*	0.464**	-0.329**	-0.109	0.046	1.000	
aw	-0.115	-0.118	-0.069	0.059	0.162	-0.182	0.048	-0.071	1.000

Keterangan: K= kekerasan, DK= daya kohesif, S= kekenyalan, KL= kelekatan,  $T_o$ = suhu onset,  $T_p$ = suhu puncak,  $T_e$ = suhu endset, aw= aktivitas air, \* =  $\rho < 0,05$ ; \*\* =  $\rho < 0,01$

Note: K=hardness, DK= cohesiveness, S= springiness, KL= adhesiveness,  $T_o$ = onset temperature,  $T_p$ = peak temperature,  $T_e$ = endset temperature, aw = water activity, \* =  $\rho < 0.05$ ; \*\* =  $\rho < 0.01$

## KESIMPULAN

Interaksi antara proporsi santan kelapa dan hari penyimpanan ditemukan berdampak terhadap *adhesiveness* dodol. Semakin banyak santan kelapa pada sistem campuran maka dodol menjadi semakin tidak lengket karena efek melumaskan yang dimiliki oleh santan kelapa. Interaksi antara suhu penyimpanan dan hari penyimpanan berdampak terhadap kenaikan kekerasan dodol. Kenaikan kekerasan berhubungan dengan proses retrogradasi yang berlangsung lebih tinggi pada suhu refrigerator. Interaksi antara proporsi santan kelapa, suhu penyimpanan, hari penyimpanan hanya ditemukan berdampak terhadap peningkatan kekerasan dan tidak berdampak terhadap daya kohesif, *springiness*, *adhesiveness*, aw, dan  $\Delta H$ . Perubahan reologis dodol selama penyimpanan berupa kenaikan kekerasan, dan *adhesiveness* dodol serta penurunan daya kohesif, dan *springiness*. Selama penyimpanan aktivitas air dan sifat termal dodol juga mengalami perubahan. Penelitian ini menemukan hubungan linear yang lemah antara  $\Delta H$  dan aktivitas air. Hal ini membuktikan bahwa perubahan entalpi tidak dipengaruhi oleh laju perpindahan air dari bahan ke lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [AOAC] Association of Official Analytical Chemists. (2005). Official Methods of Analysis of AOAC International. 18<sup>th</sup> Edition editor Gorge WL. AOAC International Press. Maryland.
- Al-hajji, L., Nassehi, V., & Stapley, A. (2016). Spatial variation of starch retrogradation in Arabic flat bread during storage. *Journal of Food Engineering*, 187, 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.04.014>
- Amigo, J. M., de Olmo Alvarez, A., Engelsen, M. M., Lundkvist, H., & Engelsen, S. B. (2016). Staling of white wheat bread crumb and effect of maltogenic  $\alpha$ -amylases. Part 1: Spatial distribution and kinetic modelling of hardness and resilience. *Food Chemistry*, 208, 318–325. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.162>
- Arik Kibar, E. A., Gönenç İ., & Us F. (2014). Effects of fatty acid addition on the physicochemical properties of corn starch. *International Journal of Food Properties*, 17, 37–41. <https://doi.org/10.1080/10942912.2011.619289>
- Chen, X., He, X., Fu, X., Zhang, B., & Huang, Q. (2017). Complexation of rice starch/flour and maize oil through heat moisture treatment: Structural, *in vitro* digestion and physicochemical properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 98, 557–564. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.01.105>
- Chen, J., Zhao, X., Li, S., & Chen, Z. (2024). Ordered structural changes of retrograded instant rice noodles during the long-term storage. *Food Research International*, 175, 113727. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113727>
- Ding, L., Zhang, B., Ping, C., Fu, X., & Huang, Q. (2019). Effects of limited moisture content and storing temperature on retrogradation of rice starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 137, 1068–1075. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.226>
- Faber, T. J., Jaishankar, A., & Mckinley, G. H. (2017). Describing the firmness, springiness and rubberiness of food gels using fractional calculus Part I: Theoretical framework. *Food Hydrocolloids*, 62, 311–324. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.05.041>
- Fu, Z., Wang, L., Zou, H., Li, D., & Adhikari, B. (2014). Studies on the starch – water interactions between partially gelatinized corn starch and water during gelatinization. *Carbohydrate Polymers*, 101, 727–732. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.09.098>
- Hao, F., Lu, L., & Ge, C. (2014). Effect of fat content on water sorption properties of biscuits studied by nuclear magnetic resonance. *Journal of Food and Nutrition Research*, 2(11), 814–818. <http://doi.org/10.12691/jfnr-2-11-9>
- Lian, X., Wang, C., Zhang, K., & Li, L. (2014). The retrogradation properties of glutinous rice and buckwheat starches as observed with FT-IR, <sup>13</sup>C NMR and DSC. *International Journal of Biological Macromolecules*, 64, 288–293. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.12.014>
- Li, Y., Ding, G., Yokoyama, W., & Zhong, F. (2018). Characteristics of annealed glutinous rice flour and its formation of fast-frozen dumplings. *Journal of Cereal Science*, 79, 106–112. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.09.016>
- Li, C., & Hamaker, B. R. (2021). Effects of different storage temperatures on the intra- and intermolecular retrogradation and digestibility of sago starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 182, 65–71. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.03.195>
- Liu, Y.-X., Cao, M.J., & Liu, G.-M. (2019). Texture analyzers for food quality evaluation. Evaluation Technologies for Food Quality, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. 441–463. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814217-2.00017-2>
- Liu, Q., Wang, Y., Yang, Y., Yu, X., Xu, L., Jiao, A., & Jin, Z. (2023). Structure, physicochemical

- properties and in vitro digestibility of extruded starch-lauric acid complexes with different amylose contents. *Food Hydrocolloids*, 136, 108239.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108239>
- Lukito, M. S. (2017). Sifat fisik, kimia dan organoleptik dodol. *Jurnal Agroteknologi*, 11(01), 82–295.
- Mamat, H., & Hill, S. E. (2012). Effect of fat types on the structural and textural properties of dough and semi-sweet biscuit. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 1998–22005.  
<http://doi.org/10.1007/s13197-012-0708-x>
- Nasaruddin, F., Chin, N. L., & Yusof, Y. A. (2012). Effect of processing on instrumental textural properties of traditional dodol using back extrusion. *International Journal of Food Properties*, 15(3), 495–506.  
<http://doi.org/10.1080/10942912.2010.491932>
- Pérez, A., Sandoval, A.J., Cova, A., & Müller, A. J. (2014). Glass transitions and physical aging of cassava starch-Corn oil blends. *Carbohydrate Polymers*, 5(1), 244–252.  
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.01.032>
- Qiu, S., Punzalan, M. E., Abbaspourrad, A., Olga, I., & Padilla-Zakour. (2020). High water content, maltose and sodium dodecyl sulfate were effective in preventing the long-term retrogradation of glutinous rice grains - A comparative study. *Food Hydrocolloids*, 98, 105247.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105247>
- Seow, E., Tan, T., & Easa, A. M. (2021). Role of honey diastase on textural, thermal, microstructural, chemical, and sensory properties of different dodols. *LWT-Food Science and Technology*, 148, 111715.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111715>
- Setiavani, G., Sugiyono, Ahza, A. B., & Suyatma, N. E. (2019). Rheology of the glutinous rice flour, coconut milk, and palm sugar mixed system in a traditional food dodol ulame. *International Journal of Advanced Science Engineering, Information and Technology*, 9(5), 1687–1694.
- Setiavani, G., Sugiyono, Ahza, A. B., & Suyatma, N. E. (2021). Dodol ulame, a mandailing's ethnic food: History and culture, packaging, and its challenge on globalization. *International Journal of Progressive Science and Technologies*, 27(2), 140–150.
- Setiavani, G., Sugiyono, Ahza, A. B., & Suyatma, N. E. (2022). Macromolecular distribution of a mixed system on dodol ulame by Confocal Laser Staining Microscopy (CLSM). *Canrea Journal: Food Technology, Nutritions, Culinary Journal*, 5(1), 100–111.  
<http://doi.org/10.20956/canrea.v5i1.569>
- Toker, O. S., Dogan, M., & Can, E. (2013). The effects of different gums and their interactions on the rheological properties of a dairy dessert: A mixture design approach. *Food Bioprocess Technology*, 6(4), 896–908.  
<https://doi.org/10.1007/s11947-012-0787-8>
- Wang, S., Li, C., Copeland, L., Niu, Q., & Wang, S. (2015). Starch retrogradation: A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14, 568–585.  
<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12143>
- Xie, Y-Y., Hu, X-P., Jin, Z-Y., Xu, X-M., & Chen, H-Q. (2014). Effect of temperature-cycled retrogradation on in vitro digestibility and structural characteristics of waxy potato starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 67, 279–284.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.03.007>
- Zhang, B., Wang, K., Hasjim, J., Li, E., Flanagan, B., Gidley, M., & Dhital, S. (2014). Freeze-drying changes the structure and digestibility of B-polymorphic starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(7), 1482–1491.  
<https://doi.org/10.1021/jf405196m>