

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Peningkatan kesejahteraan penduduk mengakibatkan perubahan gaya hidup termasuk pola konsumsi pangan. Perubahan ini mendorong persediaan bahan pangan di tingkat rumah tangga juga mulai bergeser dari semula menggunakan bahan pangan segar beralih sebagian ke produk pangan beku (*frozen food*). Teknologi pembekuan makanan (*Frozen Food Technology*) dapat menjadi solusi dalam memperpanjang umur simpan dan daya tahan suatu produk. *Frozen Food Technology* merupakan teknologi pengawetan makanan dengan menurunkan temperaturnya hingga di bawah titik beku air bebas (Evans, 2008). Penurunan temperatur penyimpanan akan menghambat pertumbuhan mikroorganisme dan aktivitas enzim di dalam produk makanan, sehingga makanan menjadi lebih awet dan tidak mudah membusuk. Keunggulan dari teknik pembekuan makanan adalah kualitas makanan seperti nilai nutrisi, tingkat kesegaran dan sifat organoleptik tetap terjaga (Nurul *et al.*, 2020).

Salah satu produk yang banyak dikonsumsi adalah Roti. Roti dikonsumsi di seluruh dunia karena dapat dijadikan sebagai sumber energi dengan penyajian cepat dan harganya murah. Roti dihasilkan melalui proses fermentasi dan pemanggangan sehingga didapatkan karakteristik yang khas dari aroma, rasa dan tekstur dari roti tersebut (Pico *et al.*, 2015). Parameter kualitas utama roti adalah kesegaran, yaitu kondisi aroma, rasa dan tekstur yang paling baik dan dapat diterima oleh konsumen (Havet *et al.*, 2000). Namun roti merupakan produk yang berumur pendek karena kesegarannya cepat menurun (Cauvain *et al.*, 2008) akibat perubahan fisikokimia

seperti penurunan kadar air yang menyebabkan kekerasan roti (Barcenas *et al.*, 2003), dan aroma menguap (Pico *et al.*, 2015) serta perubahan mikrobiologis (pertumbuhan kapang) pada roti (Axel *et al.*, 2017). Penurunan kualitas roti menyebabkan roti sudah tidak layak dikonsumsi sehingga sejumlah besar roti akan dibuang atau dialihkan sebagai pakan ternak dan mengakibatkan kerugian ekonomi bagi produsen roti.

Berkaitan dengan hal di atas, Ba'rcenas *et al.* (2004) menyatakan bahwa pemasakan setengah matang (pemanggangan sebagian) pada roti dan penyimpanan lebih lanjut pada suhu beku adalah cara yang efektif untuk memperlambat proses kerusakan makanan yang dipanggang. Pembekuan mengubah air yang ada dalam makanan menjadi senyawa non aktif dan suhu yang rendah akan menghambat pertumbuhan mikroorganisme dan aktivitas enzim yang memicu pembusukan makanan. Pengembangan volume roti yang dipanggang kedua kalinya setelah roti dipanggang sebagian dan kemudian dibekukan akan lebih baik dibandingkan dengan roti yang dipanggang dari adonan beku (Enrique, 2021). Pra-pemanggangan yang dilanjutkan dengan penyimpanan beku dapat memperpanjang umur simpan roti, namun lama waktu penyimpanan beku, waktu pemanggangan sebagian dan kecepatan pembekuan secara signifikan mempengaruhi volume spesifik dan kekokohan roti par-panggang. Lama waktu penyimpanan beku pada roti pra-pemanggangan menyebabkan penurunan kualitas roti karena hilangnya kadar air dan pengerasan roti. Hasil uji mikrostruktur pada roti pra panggang yang disimpan beku menunjukkan bahwa semakin lama penyimpanan beku, pembentukan kristal es akan menyebabkan kerusakan fisik pada roti (Ba'rcenas, *et al.*, 2004).

Selain itu proses pembekuan juga akan menyebabkan retrogradasi amilosa dalam beberapa jam dan setelah beberapa hari menyusul retrogradasi sebagian amilopektin. Saat ini telah banyak dilakukan pengkajian terhadap metode penyimpanan beku baik pada adonan roti maupun roti setengah matang. Penyimpanan beku dan fluktuasi suhu selama penyimpanan menyebabkan hilangnya kualitas adonan maupun roti akibat dari produksi gas yang lebih rendah, mobilitas air yang lebih lama, dan distribusi struktur remah roti yang lebih tidak merata (Phimolsiripol, 2009). Semakin lama penyimpanan pada suhu beku roti setengah panggang juga menyebabkan penurunan kualitas roti akibat hilangnya kadar air dan kekerasan roti (Ba'cenas *et al.*, 2005), namun hingga saat ini belum ada penelitian pengaruh penyimpanan beku pada roti dengan pemasakan awal dengan pengukusan. Oleh karena itu perlu dikaji pengaruh proses pembekuan roti dengan pemasakan awal pengukusan terhadap kualitas setelah dikukus/digoreng kembali sebelum penyajian. Perlu dilakukan pengkajian tentang pengaruh lama penyimpanan beku dan cara pemasakan terhadap karakteristik fisiko kimia, thermal dan mikrostruktur roti beku dengan pemasakan awal pengukusan.

B. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Tujuan Umum

Mengevaluasi kualitas roti dengan pemasakan awal pengukusan selama penyimpanan beku dan setelah dimasak kembali.

2. Tujuan Khusus

- a. Mengetahui pengaruh lama penyimpanan beku roti dengan pemasakan awal pengukusan terhadap kualitas roti dan tingkat kesukaan roti setelah dimasak kembali.
- b. Mengidentifikasi pengaruh lama penyimpanan beku terhadap perubahan sifat termal dan mikrostruktur roti.
- c. Menentukan lama waktu penyimpanan beku yang belum mempengaruhi kualitas dan tingkat kesukaan roti setelah dimasak kembali.

C. Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat didefinisikan dalam penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Bagaimanakah pengaruh penyimpanan beku pada roti dengan pemasakan awal pengukusan terhadap sifat kimia, fisik, termal, dan mikrostruktur roti beku dan tingkat kesukaan roti yang disajikan kembali.
2. Apakah perubahan sifat termal dan mikrostruktur roti selama proses pembekuan mempengaruhi sifat kimia, fisik dan tingkat kesukaan roti pada saat disajikan.
3. Berapakah lama waktu penyimpanan beku yang belum mempengaruhi kualitas dan tingkat kesukaan roti jika disajikan kembali dengan penggorengan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Roti

Roti merupakan salah satu bahan pangan sumber karbohidrat selain nasi dan mi (Justicia *et al.*, 2012) dan merupakan salah satu makanan pokok yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia (Arlene *et al.*, 2009). Keunggulan dari roti diantaranya adalah mudah untuk dikonsumsi setiap saat, bergizi serta dapat diperkaya dengan zat gizi lainnya sehingga baik untuk anak-anak hingga orang dewasa, serta tersedia dalam berbagai variasi rasa yaitu tawar maupun manis (Pato *et al.*, 2013). Jenis roti yang ada saat ini sangat beragam. Secara umum roti dibedakan menjadi roti tawar dan roti manis atau roti isi. Roti termasuk dalam kelompok produk *bakery* yang meliputi juga cake, donat, biskuit, kraker, dan pie. Di dalam kelompok *bakery*, roti merupakan produk yang paling pertama dikenal dan paling populer hingga saat ini termasuk di Indonesia. Roti sebagai pengganti nasi pada saat sarapan pagi, umumnya disajikan bersama-sama dengan telur dadar atau segelas susu (Astawan, 2008).

Salah satu jenis roti adalah roti manis. Roti manis merupakan roti yang memiliki rasa tidak tawar tetapi ada rasa manis dan roti ini banyak diminati masyarakat (Ekawati *et al.*, 2015). Secara umum bahan utama dalam pembuatan roti adalah menggunakan tepung terigu dengan kandungan gluten atau protein gandum yang tinggi (Saepudin *et al.*, 2017). Bahan tambahan lain dalam pembuatan ditambahkan adalah air, ragi, susu skim, garam, margarin dan bahan-bahan lain (Rahmah *et al.*, 2017). Proses pembuatan roti manis dilakukan melalui beberapa tahapan yang dimulai dengan pencampuran bahan, proofing (istirahat), penimbangan, pembulatan, proofing setelah pembulatan, pengovenan, pendinginan

dan diakhiri dengan pengemasan. Pengovenan merupakan proses penting dalam pembuatan roti. Suhu dan waktu yang digunakan juga bervariasi tergantung dengan jenis roti yang akan dibuat (Astuti, 2015).

Mutu roti ditentukan dari sifat bahan penyusun utamanya. Mutu sensoris roti yang baik dapat dilihat dari sifat bagian luar (eksternal) dan bagian dalam (internal) (Wahyudi, 2014). Sifat-sifat eksternal roti yang bermutu baik adalah: bentuk roti simetris, tidak bersudut tajam, kulit permukaan (crust) berwarna coklat kemerahan dan mengkilat, kulit atas mengembang dengan baik dan tidak retak dan ukuran volume roti makin besar makin disukai sejauh tidak merusak kenampakan dalamnya (Widodo *et al.*, 2014). Sifat-sifat internal roti yang baik antara lain adalah: warna bagian dalam roti (crumb) cerah, tekstur roti lembut, lentur dan tidak mudah hancur, pori-pori seragam dan tersebar merata, roti berbau harum khas roti dan tidak berasa adonan roti yang belum matang (Winarno, 2002).

Kadar air merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan mutu roti karena akan mempengaruhi daya tahan roti terhadap penyimpanan. Kadar air yang tinggi akan mempermudah pertumbuhan mikroba pada roti sehingga roti lebih cepat rusak (Arlene *et al.*, 2009). Bagian dalam roti (crumb) juga sebaiknya memiliki struktur atau ukuran yang seragam dengan dinding diantara pori-porinya tipis. Pori-pori tersebut terbentuk karena adanya jaringan gluten pada tepung terigu yang digunakan (Astuti, 2015).

Syarat mutu roti manis berdasarkan Standar Nasional Indonesia No. 01-3840-1995 yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel. 1. SNI Roti Manis

Kriteria Uji	Satuan	Persyaratan
1. Keadaan		
Kenampakan Bau	-	Normal tak berjamur
Rasa	-	Normal normal
2. Air	-	
3. Abu (tak termasuk garam)	% b/b	maximal 40
	% b/b	maximal 1
4. Abu yang tak larut dalam asam	% b/b	maximal 3,0
5. NaCl		
6. Gula	% b/b	Maximal 2,5
7. Lemak	% b/b	-
8. Serangga	% b/b	-
9. Bahan tambahan makanan Pengawet	% b/b	tidak boleh ada
Pewarna	Sesuai dengan	
Pemanis Buatan	SNI 0222-1967	
Natrium Siklamat		
10. Cemaran Logam	mg/kg	Negatif
Raksa	mg/kg	Maximal 0,05
Timbel	mg/kg	Maximal 1,0
Tembaga Seng	mg/kg	Maximal 10,0
		Maximal 40,0
11. Cemaran mikroba	koloni/g	
Angka lempeng total <i>E. Coli</i>	APM/g	Maximal 10 ⁶
Kapang	Koloni/g	< 3
		maximal 10 ⁴

Sumber: Badan Standarisasi Nasional, 2000

Ragi roti umumnya adalah *Saccharomyces cereviceae*. Ragi tersebut dapat menghasilkan karbondioksida secara cepat untuk pengembangan roti. *Saccharomyces cereviceae* didalam adonan roti akan memetabolisme sumber gula dan salah satu hasil metabolismenya adalah gas CO₂ yang dapat mengembangkan adonan roti (Azizah *et al.*, 2012). Pengembangan pada adonan roti disebabkan karena adanya mekanisme dari sifat protein terigu yaitu gluten yang mampu memerangkap gas dengan baik disaat fermentasi berlangsung sehingga roti dapat

mengembang setelah mengalami pemanggangan (Ekawati *et al.*, 2015). Ukuran volume roti yang semakin besar umumnya semakin disukai sejauh tidak merusak kenampakan dalamnya (Widodo *et al.*, 2014).

B. Roti Beku

Pembekuan merupakan salah satu metode pengawetan pangan, produk pangan diturunkan suhunya hingga bahan berada di bawah suhu bekunya. Selama proses pembekuan terjadi perpindahan panas sensible (panas untuk mengubah suhu) dan perpindahan panas laten (panas untuk mengubah wujud gas). Suhu pembekuan bahan pangan umumnya terjadi dibawah -2°C (28°F). Selama pembekuan, sebagian dari air berubah wujud dari fase cair ke fase padat dan membentuk kristal es. Kristalisasi ini menyebabkan mobilitas air terbatas sehingga aktivitas air menurun. Kondisi tersebut akan menghambat pertumbuhan mikroba, serta reaksi-reaksi kimia, dan biokimia yang mempengaruhi mutu dan keawetan produk pangan. Dengan demikian produk beku dapat memiliki umur simpan yang lebih lama (Nurul *et al.*, 2020).

Roti beku merupakan inovasi produk roti dengan penyimpanan suhu rendah sehingga roti akan memiliki masa simpan yang lebih lama. Proses pengolahan roti beku dimulai dengan pencampuran, pembagian adonan, pembulatan, fermentasi awal, pengisian dan pembentukan, fermentasi akhir, pemasakan (pengukusan/pengovenan) dan pembekuan (Anonim, 2020).

Bahan baku untuk proses pembuatan roti dapat digolongkan menjadi tiga kelompok, yaitu bahan pokok atau bahan utama seperti tepung terigu, ragi dan air,

bahan penambah rasa yaitu gula, garam, lemak dalam bentuk shortening/mentega/margarin, susu dan telur, serta bahan tambahan berupa *mineral yeast food* (MYF), malt, emulsifier, bahan untuk meningkatkan mutu adonan (*dough improver*) dan pengawet terutama terhadap jamur.

a. Terigu

Bahan dasar roti tawar, roti manis, maupun kue kering bahan dasarnya adalah tepung terigu protein tinggi dan sedang. Komposisi tepung terigu secara umum yaitu kalori 365 (kal), protein 8,9(g), lemak 1,3 (g), karbohidrat 77,3 (g), Air 12,0(g). Komponen terpenting yang membedakan dengan bahan lain adalah kandungan protein jenis glutenin dan gliadin, yang pada kondisi tertentu dengan air dapat membentuk massa yang elastis dan dapat mengembang yang disebut gluten. Sifat-sifat fisik gluten yang elastis dan dapat mengembang ini memungkinkan adonan dapat menahan gas sehingga adonan dapat menggelembung seperti balon. Keadaan ini memungkinkan produk roti mempunyai struktur berongga yang halus dan seragam serta tekstur yang lembut dan elastis.

b. Air

Air merupakan bahan yang berperan penting dalam pembuatan roti, antara lain gluten terbentuk dengan adanya air. Air sangat menentukan konsistensi dan karakteristik reologi adonan, yang sangat menentukan sifat adonan selama proses dan akhirnya menentukan mutu produk yang dihasilkan. Air juga berfungsi sebagai pelarut bahan seperti garam, gula, susu dan mineral sehingga bahan tersebut terdispersi secara merata dalam adonan. Air berfungsi

untuk melarutkan semua bahan kering menjadi adonan membentuk gluten, memungkinkan yeast melakukan fermentasi dan mengontrol suhu serta kepadatan adonan. Jumlah air yang ditambahkan umumnya sebesar 26-38% dari campuran bahan yang digunakan. Banyaknya air yang ditambahkan akan mempengaruhi mutu roti yang dihasilkan. Apabila air yang ditambahkan melebihi 38% adonan akan menjadi lengket dan jika kurang dari 28% adonan akan menjadi rapuh dan sulit untuk dicetak (Yuwono, 2019).

c. Garam

Garam adalah bahan utama untuk mengatur rasa. Garam akan membangkitkan rasa pada bahan-bahan lainnya dan membantu membangkitkan aroma harum dan meningkatkan sifat-sifat roti. Garam adalah salah satu bahan pengeras, bila adonan tidak memakai garam, maka adonan agak basah. Garam memperbaiki pori-pori roti dan tekstur roti akibat kuatnya adonan, dan secara tidak langsung berarti membantu pembentukan warna. Garam membantu mengatur aktifitas ragi roti dalam adonan yang sedang difermentasi dan dengan demikian mengatur tingkat fermentasi. Garam juga mengatur mencegah pembentukan dan pertumbuhan bakteri yang tidak diinginkan dalam adonan yang diragikan.

Selain itu pada roti, garam mempunyai fungsi yang lebih penting daripada sekedar memperbaiki rasa. Garam membantu aktifitas amilase dan menghambat aktifitas protease pada tepung. Adonan tanpa garam akan menjadi lengket (agak basah) dan sukar dipegang.

d. Ragi

Ragi untuk roti dibuat dari sel khamir *Saccharomyces cereviceae*. Dengan memfermentasi gula, khamir menghasilkan karbondioksida yang digunakan untuk mengembangkan adonan. Gula ini dapat berasal dari tepung atau dari gula yang sengaja ditambahkan ke dalam adonan seperti gula tebu dan maltosa. Di dalam ragi terdapat beberapa enzim yaitu protease, lipase, invertase, maltase dan zymase. Protease memecah protein dalam tepung menjadi senyawa nitrogen yang dapat diserap sel khamir untuk membentuk sel yang baru. Lipase memecah lemak menjadi asam lemak dan gliserin. Invertase memecah sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa. Maltase memecah maltosa menjadi glukosa dan zymase memecah glukosa menjadi alkohol dan karbondioksida.

Proses fermentasi menghasilkan komponen-komponen pembentuk *flavor* roti, diantaranya asam asetat, aldehyd, dan ester. Ragi berfungsi untuk mengembangkan adonan dengan memproduksi gas CO₂, memperlunak gluten dengan asam yang dihasilkan dan juga memberikan rasa dan aroma pada roti. Enzim-enzim dalam ragi memegang peran tidak langsung dalam proses pembentukan rasa roti yang terjadi sebagai hasil reaksi maillard dengan menyediakan bahan-bahan pereaksi sebagai hasil degradasi enzimatik oleh ragi. Oleh karena itu ragi merupakan sumber utama pembentuk rasa roti.

Pada proses pembuatan roti, ragi termasuk bahan baku utama. Aktivitas ragi roti di dalam adonan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain ketersediaan enzim-enzim protease, lipase, invertase dan maltase, kandungan air, suhu, pH, gula, dan garam. Enzim protease dapat mengurangi kekuatan

jaringan zat gluten sehingga adonan menjadi lebih mudah untuk diolah. Sedangkan enzim lipase berfungsi melindungi sel-sel ragi roti sewaktu menjadi spora. Enzim invertase merubah gula menjadi glukosa dan fruktosa, sedangkan enzim maltase merubah maltosa menjadi dekstrosa. Adanya komponen garam akan memperlambat kerja ragi roti. Kondisi optimal bagi aktivitas ragi roti dalam proses fermentasi adalah pada $a_w = 0.905$, suhu antara 250 sampai 300°C dan pH antara 4,0 sampai 4,5.

e. Gula

Gula digunakan sebagai bahan pemanis dalam pembuatan roti. Jenis gula yang paling banyak digunakan adalah sukrosa. Selain sebagai pemanis sukrosa juga berperan dalam penyempurnaan mutu panggang dan warna kerak, dan memungkinkan proses pematangan yang lebih cepat, sehingga air lebih banyak dipertahankan dalam roti. Gula juga ditujukan sebagai sumber karbon pertama dari sel khamir yang mendorong keaktifan fermentasi. Gula yang dimanfaatkan oleh sel khamir, umumnya hanya gula-gula sederhana, glukosa atau fruktosa, yang dihasilkan oleh pemecahan enzimatik molekul yang lebih kompleks, seperti sukrosa, maltosa, pati atau karbohidarat lainnya. Sukrosa dan maltosa dapat dipecah menjadi gula sederhana (heksosa) oleh enzim yang ada dalam sel khamir, sedangkan pati dan dekstrin tak dapat diserang oleh khamir. Enzim-enzim yang terdapat dalam tepung atau malt diastatik, berfungsi memproduksi gula dekstrosa atau maltosa dari pati yang ada dalam adonan.

Gula pada roti terutama berfungsi sebagai makanan ragi selama fermentasi sehingga dapat dihasilkan karbondioksida dan alkohol. Gula juga

dapat berfungsi untuk memberi rasa manis, *flavor* dan warna kulit roti (*crust*). Selain itu gula juga berfungsi sebagai pengempuk dan menjaga freshness roti karena sifatnya yang higroskopis (menahan air) sehingga dapat memperbaiki masa simpan roti. Dengan adanya gula maka waktu pembakaran harus sesingkat mungkin agar roti tidak menjadi hangus karena sisa gula yang masih terdapat dalam adonan dapat mempercepat proses pembentukan warna pada kulit roti. Dengan singkatnya waktu pembakaran tersebut, maka masih banyak uap air yang tertinggal dalam adonan sehingga roti akan tetap empuk. Kegunaan gula terutama adalah sebagai sumber makanan untuk pertumbuhan ragi selama proses fermentasi. Gula yang tersisa setelah proses fermentasi akan memberikan warna pada kulit roti dan rasa pada roti. Kegunaan gula terutama adalah sebagai sumber makanan untuk pertumbuhan ragi selama proses fermentasi.

f. Lemak

Lemak digunakan dalam pembuatan roti sebagai *shortening* karena dapat memperbaiki struktur fisik seperti volume, tekstur, kelembutan, dan flavor. Selain itu penambahan lemak menyebabkan nilai gizi dan rasa lezat roti bertambah. Penambahan lemak dalam adonan akan menolong dan mempermudah pemotongan roti, juga dapat menahan air, sehingga masa simpan roti lebih panjang dan kulit roti lebih lunak. Penggunaan lemak dalam proses pembuatan roti membantu mempertinggi rasa, memperkuat jaringan zat gluten, roti tidak cepat menjadi keras dan daging roti tidak lebih empuk (lemas) sehingga dapat memperpanjang daya tahan simpan roti. Selain itu penambahan

lemak menyebabkan nilai gizi dan rasa lezat roti bertambah. Lemak berfungsi sebagai pelumas sehingga akan memperbaiki remah roti. Disamping itu, lemak berfungsi mempermudah pemotongan roti dan membuat roti lebih lunak.

g. Susu dan Telur

Penggunaan susu untuk produk-produk roti berfungsi untuk meningkatkan nilai gizi, membantu mengembangkan adonan dan memperbaiki tekstur roti. Kandungan protein kasein dan gula laktosa pada susu akan memberi warna kulit roti dan memberi rasa roti serta akan memperkuat struktur gluten pada adonan roti sehingga struktur roti menjadi lebih baik. Penggunaan susu yang berlebihan akan memperlambat proses fermentasi dan menyebabkan warna kulit roti menjadi cepat berwarna coklat. Susu yang sering digunakan dalam pembuatan roti adalah susu bubuk karena sifatnya yang tahan lama dan mudah dalam penyimpanan (Yuwono, 2019). Alasan utama pemakaian susu dalam pembuatan roti adalah untuk peningkatan nilai gizi. Susu mengandung protein (kasein), gula laktosa dan mineral kalsium. Susu juga memberikan efek terhadap kulit dan memperkuat gluten karena kandungan kalsiumnya. Efek penyangga juga terlihat, yaitu akan menghambat fermentasi. Susu juga memberikan efek terhadap warna kulit (protein dan gula yang dikandung) dan memperkuat gluten karena kandungan kalsiumnya. Dalam proses pembuatan roti, telur berfungsi untuk meningkatkan nilai gizi, memberikan rasa yang lebih enak dan meningkatkan elastisitas jaringan gluten karena lesitin dalam telur akan mengakibatkan roti menjadi lebih empuk dan elastis.

h. Bahan Tambahan

Bahan tambahan pada roti adalah bahan yang sengaja ditambahkan ke dalam adonan yang jika dipakaipun tidak akan mengakibatkan terjadinya hasil yang kurang baik, sedangkan jika dipakai dapat mempertinggi kualitas roti yang dihasilkan. Bahan ini terdiri dari *mineral yeast food* (MYF), malt, emulsifier dan bahan peningkat mutu adonan (*dough improver*).

C. Gluten

Menurut Codex Alimentarius, "gluten adalah fraksi protein dari gandum, gandum hitam, barley, atau varietas persilangan dan turunannya dan tidak dapat larut dalam air dan NaCl 0,5 mol / L "(CodexAlimentarius 2008). Pada tahun 2013, Administrasi Makanan dan Obat-obatan AS mendefinisikan gluten sebagai "protein yang terkandung secara alami di dalam biji-bijian dan dapat menyebabkan efek kesehatan yang merugikan pada penderita penyakit celiac "(FDA 2013). Namun, ada definisi lain yang menetapkan gluten sebagai jaringan protein yang terbentuk dari kovalen(ikatan disulfida) dan interaksi nonkovalen antara gliadin dan rantai glutenin hadir dalam tepung dari gandum, gandum hitam, dan biji-bijian barley.

Interaksi nonkovalen utama yang terlibat dalam jaringan glutenadalah ikatan hidrogen, ikatan ionik, dan hidrofobik (Wang *et al.*, 2017). Perkembangan terjadi selama pencampuran tepung dan air, terkaitdengan tenaga mekanik memberikan adonan yang kohesif dengan bahan yang bersifat viskoelastikyang digunakan untuk persiapan produk *bakery* seperti roti dan beberapa jenis biskuit, serta produk pasta.

Terigu mengandung 80% hingga 90% protein yang terdiri dari gliadin dan gluten. Gliadin bersifat larut dalam larutan alkohol-air(biasanya 60% sampai 70% etanol), meskipun glutenlarut dalam media ini dengan adanya senyawa kimia lain seperti asam encer, deterjen ionik (natrium dodesil sulfat, SDS), urea, dan/atau β -mercaptoethanol atau dithiothreitol (agen pereduksi disulfida). Gliadin dan glutenin berukuran sintesis di endosperma dalam butiran gandum dan serupakandung asam aminonya, meskipun berbeda dalam urutan asam (Wieser *et al.*, 2007). Gliadins memiliki lebih banyak prolin, glutamin (+ asam glutamat), isoleusin, danfenilalanin, meskipun glutenin memiliki lebih banyak glisin, lisin, dan triptofan dari gliadin. Namun demikian, ada perbedaan kimia dan fisik utama antara gliadin dan glutenmemiliki efek penting pada karakteristik fungsionalnya (Robert, *et al.*, 2013).

Arti penting teknologi pengolahan produk dari gandum dipengaruhi oleh kemampuan tepung terigu untuk membentuk adonan dan mengembang (Wang *et al.*, 2015) bersama dengan air, dan bahan lain yang dalam proses pemanggangan roti. Sifat viskoelastik gluten terkait dengan kuantitas dan kualitas protein. Sifat-sifat ini mempengaruhi kualitas produk bakery seperti ekspansi, bentuk, dan tekstur. Baik kualitas maupun kuantitas protein gluten mempengaruhi kualitas pemrosesan (Singh *et al.*, 2013).

Kualitas protein gluten sangat penting dalam pembuatan roti, karena kinerja pemrosesan adonan bergantung pada sifat viskoelastiknya. Gliadins berperan sebagai pemlastis untuk glutenin, sehingga meningkatkan viskositas adonan (Delcour *et al.*, 2012) dan menurunkan tingkat elastisitas yang diberikan oleh

glutenin. Oleh karena itu, keseimbangan yang tepat antara gliadin dan glutenin menentukan dalam reologi gluten (Melnyk *et al.*, 2012).

Gliadin adalah prolamin utama yang ditemukan dalam gandum. Kebanyakan dari gliadin adalah protein monomerik yang mewakili kelompok heterogen karena variasi urutan asam amino pembentuknya sehingga memungkinkan klasifikasi protein ini menjadi 3 sub unit (Tuhumury *et al.*, 2014). Gliadin diklasifikasikan ke dalam 3 grup subunit berbeda berdasarkan perbedaan struktural didalamnya. Berdasarkan Wieser (2007), ω -gliadins mengandung kandungan prolin dan glutamin yang lebih tinggi dalam strukturnya, dan lebih sedikit residu sistein, sehingga mencegah pembentukan ikatan disulfida. Sedangkan α / β - dan γ -gliadin mempunyai jumlah prolin dan glutamin yang lebih rendah, dan semua residu sistein mengandung ikatan disulfida intramolekul (SS).

Wieser *et al.* (2007) melaporkan bahwa struktur sekunder gliadin pada terminal-N-domain terdapat urutan asam amino berulang yang didominasi struktur β -turn, dan di C-terminaldomain tidak ada urutan berulang asam amino dan didominasi oleh struktur α -helix dan β -sheet gliadin. Setelah terhidrasi akan membentuk masa kental yang elastis sehingga dapat memberikan perpanjangan adonan (Khatkar *et al.*, 2013). Song *et al.* (2008) menyatakan bahwa jumlah gliadin yang lebih besar dalam tepung terigu dapat menyebabkan penurunan waktu pencampuran dan stabilitas adonan yang mengakibatkan melemahnya jaringan protein sehingga menghasilkan adonan yang lemah dan cocok untuk produksi biskuit.

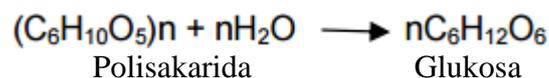
Glutenin diklasifikasikan berdasarkan kelarutannya yaitu terdiri dari glutelin, dan terdiri dari subunit glutenin dengan berat molekul tinggi (HMW-GS) dan subunit glutenin berat molekul rendah (LMW GS *et al.*, 2008). LMW-GS memiliki berat molekul dari 30000 hingga 45000 dan diklasifikasikan sebagai tipe B, C, dan D, sesuai dengan profil kemampuannya pada elektroforesis gel poliakrilamida. Menurut Delcour *et al.*, (2012), perbedaan diantara keduanya adalah residu asam amino pertama yang membentuk struktur primer, dan dapat berupa serin, metionin, atau isoleusin. HMW-GS diklasifikasikan menjadi 2 jenis menurut berat molekulnya yaitu tipe x-HMW-GS dengan berat molekul dari 83000 hingga 88000 dan tipe y-HMW-GS dengan berat molekul dari 67000 hingga 74000. HMW-GS memiliki jumlah residu sistein yang lebih tinggi, jika dibandingkan dengan protein pembentuk gluten lainnya (seperti gliadin dan LMW-GS), yang memungkinkan pembentukan ikatan disulfida intra dan antarmolekul dengan LMW-GS. Struktur sekunder glutenin menunjukkan dominasi struktur α -heliks didomain C-, dan N-terminal karena adanya sistein residu. Sebaliknya, di wilayah tengah, ada dominasi struktur β -spiral karena adanya residu glutamin, prolin, dan glisin, lebih kaku dan menyerupai struktur HMW-GS (Delcour *et al.*, 2012). Meskipun HMW-GS dalam jumlah yang lebih kecil di dalam protein gluten (Wieser 2007), senyawa tersebut sangat penting sebagai pendukung fungsi gluten dalam proses pembuatan roti.

D. Sifat Fisik Roti

Sifat fisik roti meliputi warna, tekstur, volume dan sifat organoleptik.

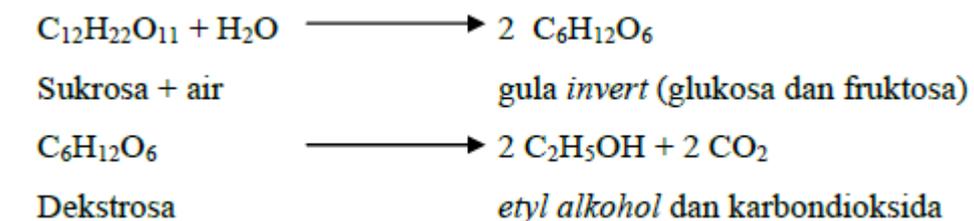
1. Warna

Warna adalah faktor yang menentukan menarik atau tidaknya suatu produk (Setyaningrum, 2010). Warna adalah atribut kualitas yang paling penting bersama-sama dengan tekstur dan rasa. Roti kukus biasanya berwarna putih, memiliki bentuk setengah bola dan dibuat dengan cara dikukus (Santiana, 2014). Warna roti kukus juga dipengaruhi oleh reaksi maillard yang terjadi selama pengukusan. Reaksi Maillard adalah reaksi non enzimatis yang terjadi akibat kondensasi gula pereduksi seperti glukosa dan fruktosa yang mengandung gugus karbonil (keton atau aldehyd) dengan gugus amin bebas dari asam amino, peptida atau protein (Catrien *et al.*, 2008). Glukosa dalam reaksi Maillard diperoleh dari proses hidrolisis pati dan pemecahan gula sederhana yang terjadi selama fermentasi. Hidrolisis pati terjadi dikarenakan pemutusan ikatan glikosidik pada rantai polimernya oleh enzim amilase sehingga menghasilkan molekul sederhana seperti glukosa, maltosa dan dekstrin (Nangin *et al.*, 2015). Selama proses fermentasi ragi roti menghasilkan enzim-enzim yang mengkatalisis reaksi-reaksi dalam fermentasi.



Gambar 1. Proses Hidrolisis Pati (Mastuti dan Setyawardhani, 2010)
Sumber: Catrien *et al.*, 2008

Enzim-enzim yang dihasilkan oleh ragi selama fermentasi adalah *invertase* yang mengubah sukrosa menjadi gula *invert* (glukosa dan fruktosa), *maltase* yang mengubah maltosa menjadi glukosa dan *ziamase* yang merupakan kompleks enzim yang mngubah glukosa dan fruktosa menjadi CO₂ dan alkohol (Nur'aini, 2011).



Gambar 2. Reaksi yang dihasilkan dari Aktivitas Enzim *Invertase*, *Maltase*
 Sumber: *Zymase* (Wahyudi, 2003)

Reaksi Maillard terjadi karena adanya reaksi antara gula pereduksi dengan gugus amin bebas dari protein (Sari *et al*, 2013). Reaksi Maillard berlangsung melalui tahapan-tahapan yaitu suatu aldosa beraksi bolak-balik dengan asam amino atau dengan suatu gugus amino dari protein sehingga menghasilkan basa Schiff. Perubahan terjadi menurut reaksi Amadori sehingga menjadi amino ketosa. Dehidrasi dari hasil reaksi Amadori membentuk turunan-turunan furfuraldehida, misalnya dari heksosa diperoleh hidroksimetil furfural. Proses dehidrasi selanjutnya menghasilkan hasil antara metil α -dikarbonil yang diikuti penguraian menghasilkan reduktor-reduktor dan α -dikarboksil seperti metilglioksal, asetol dan diasetil. Senyawa aldehid aktif terpolimerisasi tanpa mengikutsertakan gugus amino (kondensasi aldo) atau dengan gugus amino membentuk senyawa berwarna coklat yang disebut melanoidin (Winarno,2004).

2. Tekstur

Roti kukus mempunyai tekstur yang lembut dan elastis. Tekstur roti kukus dipengaruhi oleh komponen bahan yang digunakan dan perbandingan jumlah bahan yang digunakan. Tepung terigu, baking powder, gula dan mentega putih merupakan bahan-bahan yang mempengaruhi tekstur roti kukus (Hou *et al.*, 2007). Parameter tekstur yang biasa digunakan adalah *hardness*, *springiness*, *cohesiveness* dan *adhesiveness*.

Kekerasan (*hardness*) adalah gaya yang diberikan terhadap objek hingga terjadi perubahan bentuk (deformasi). Elastisitas (*springiness*) adalah sifat reologi yang menggambarkan kemampuan suatu objek untuk kembali ke bentuk semula setelah mengalami perubahan bentuk (deformasi). Keutuhan (*cohesiveness*) adalah kekuatan dari ikatan internal untuk membentuk tubuh produk. Kelengketan (*adhesiveness*) adalah sifat reologi untuk mengatasi gaya tarik menarik antara permukaan makanan dan permukaan bahan lain yang bersentuhan langsung.

Tekstur roti kukus dipengaruhi oleh proses gelatinisasi selama pemanasan. Gelatinisasi adalah proses pembengkakan luar biasa yang bersifat tidak dapat kembali lagi pada kondisi semula (Winarno, 2004). Selama proses pengukusan gluten membentuk adonan yang viskoelastis dan membentuk struktur tiga dimensi akibat dari kontak langsung dengan air. Semakin besar daya serap air selama pengukusan menyebabkan perubahan tekstur roti (Noor Aziah *et al.*, 2012).

3. Volume

Roti kukus mempunyai volume besar spesifik. Volume roti kukus dipengaruhi oleh tepung terigu dan gula sebagai pembentuk utama dalam pengembangan adonan. Tepung terigu mengandung protein yang terdiri dari glutenin dan gliadin yang akan membentuk jaringan gluten ketika berikatan dengan air (Widjaja, 2013). Jaringan gluten yang terbentuk akan menghasilkan adonan yang viskoelastis sehingga memiliki kemampuan yang kuat dalam menahan gelembung gas CO₂ selama proses fermentasi (Arifin, 2011). Roti kukus dengan volume kecil disebabkan oleh protein tepung terigu terlalu tinggi atau rendah dan kurangnya waktu fermentasi (Hou *et al.*, 2007).

Roti kukus dengan penambahan ekstrak bit merah menghasilkan volume yang lebih kecil dibandingkan roti kukus kontrol karena senyawa antioksidan menghambat aktivitas enzim α -amylase dan menurunkan jumlah gula yang dapat difermentasi oleh ragi menjadi CO₂, sehingga produksi CO₂ menjadi lebih rendah dan volume roti kukus menjadi lebih kecil (Widjaja, 2013).

4. Sifat Organoleptik

Penilaian organoleptik adalah penilaian dengan memanfaatkan panca indera manusia untuk mengamati tesktur, warna, bentuk, aroma dan rasa suatu produk pangan (Ayustaningwarno, 2014).

Penilaian secara subyektif dengan penglihatan sangat menentukan dalam penilaian suatu produk. Warna memegang peranan yang penting dalam menentukan penerimaan konsumen, karena merupakan salah satu parameter yang paling awal diperhatikan oleh panelis (Shofiati *et al.*, 2014). Aroma atau

bau suatu produk pangan menentukan kelezatan produk pangan tersebut. Penilaian aroma suatu makanan tidak lepas dari fungsi indera pembau. Penerimaan bau oleh hidung dan otak umumnya merupakan campuran empat bau utama, yaitu harum, asam, tengik dan hangus (Winarno,1997). Aroma dalam produk pangan tidak hanya ditentukan oleh satu komponen saja tetapi dari beberapa komponen bahan pangan tertentu serta perbandingan jumlah bahan yang digunakan (Budiayu, 2002). Aroma roti kukus dipengaruhi oleh senyawa volatil dari kulit buah naga super merah yang akan menguap selama pemanasan (Rakhmawati *et al.*, 2015).

E. Pengaruh Penyimpanan Beku terhadap Roti

Penyimpanan beku dapat memperpanjang masa simpan suatu bahan pangan namun juga dapat menurunkan mutu bahan pangan yang disimpan. Pembekuan yang berlangsung lambat akan menyebabkan terbentuknya kristal es di ruang ekstraseluler. Ukuran kristal es yang besar akan merusak struktur mikro bahan bahan sehingga menyebabkan perubahan sifat fisik, sifat kimia, warna, tekstur dan flavor. Kerusakan struktur sel akibat pembekuan adalah hal yang kompleks karena melibatkan beberapa hal sekaligus, diantaranya adalah depolimerisasi senyawa pembentuk dinding sel, pecahnya membran sel, serta perubahan tekanan osmosis. Selain itu, pembekuan juga dapat menyebabkan kerusakan struktural akibat pembentukan kristal es, terutama kristal es intraseluler kecil yang dibentuk oleh laju pembekuan yang sangat cepat (Nurul *et al.*, 2020).

Terdapat dua mekanisme kerusakan sel selama proses pembekuan. Pertama,

kerusakan sel dapat terjadi karena terbentuknya intrasellular es dalam skala besar akibat proses pendinginan yang cepat. Air yang merupakan komponen utama dalam sel, akan mengalami pengembangan ketika membeku sehingga merusak sel itu sendiri. Di sisi lain, kerusakan sel juga dapat terjadi pada saat pendinginan yang berlangsung sangat lambat. Pembekuan lambat dapat mengakibatkan terbentuknya ekstrasellular es di luar sel. Terbentuknya ekstrasellular es dapat memicu terjadinya transpor air dari dalam ke luar sel, sehingga sel mengalami dehidrasi dan pengerutan. Menurut penelitian yang lain, ekstraselular yang terbentuk dalam ukuran besar akan memberi tekanan pada sel, sehingga dapat merobek atau merusak membran sel.

Saat panas dihilangkan dari makanan, kristal es akan mulai terbentuk dari saat suhu turun sedikit di bawah titik beku nominalnya biasanya dalam kisaran -1°C hingga -2°C (*subcooling*). Pelepasan panas kristalisasi berikutnya akan membawa suhu kembali ke titik beku nominal. Namun tidak seperti pembekuan pelarut murni, efek konsentrasi efektif dari pembentukan kristal es pada fase cair menghasilkan penurunan progresif pada suhu beku nominal. Akibatnya suhu terus menurun dan konsentrasi sisa cairan yang tidak beku meningkat. kedua efek tersebut berkontribusi pada peningkatan signifikan dalam viskositas cairan yang tidak dibekukan. Juga tergantung pada laju pembekuan, migrasi air dapat terjadi karena efek osmotik.

Tabel 2. Jenis kemunduran mutu pada produk beku

<i>Frozen Foods</i>	<i>Deterioration Modes</i>
<i>Frozen meats, poultry and seafood</i>	<i>Rancidity Toughening (protein denaturation) Discoloration Desiccation (freezer burn)</i>
<i>Frozen fruits and vegetables</i>	<i>Loss of nutrients (vitamins) Loss textures (temperature abuse) Loss of flavor (lipoxigenase, peroxidase) Loss of tissue moisture (forming package ice) Discoloration</i>
<i>Frozen concentrated juices</i>	<i>Loss of nutrients (vitamins) Loss of flavor Loss of cloudiness Discoloration Yeast growth (upon temperature abuse)</i>
<i>Frozen dairy products (ice cream, yogurt, etc.)</i>	<i>Iceiness (recrystallization of ice crystals) Sandiness (lactose crystallization) Loss of flavor Disruption of emulsion system</i>
<i>Frozen convenience foods</i>	<i>Rancidity in meat portions Weeping and curdling of sauces Loss of flavor Discoloration Package ice</i>
<i>Frozen bakery products (raw dough, bread, croissant)</i>	<i>Burst can (upon temperature abuse) (dough) Loss of fermentation capability (dough) Staling (becoming leathery) Loss of fresh aroma</i>

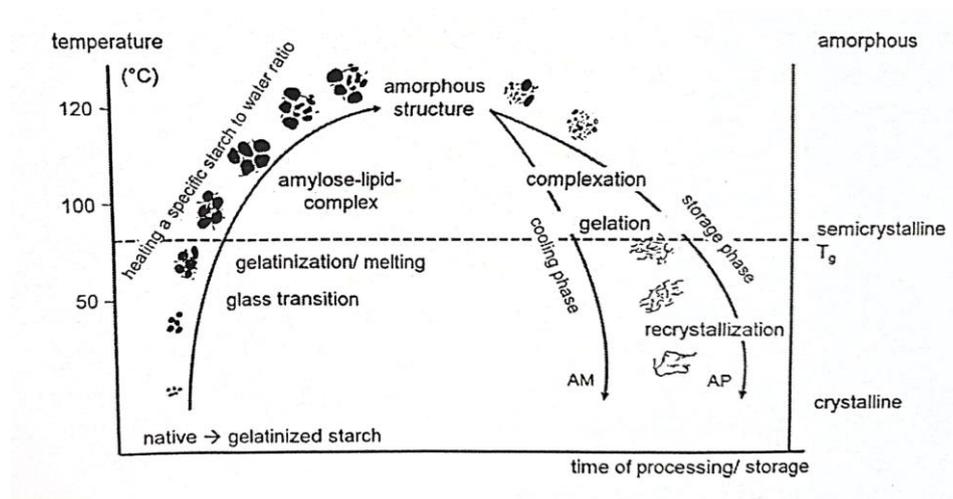
Sumber: Labuzza (1997) dalam Sun (2012)

1. Retrogradasi pati

Pati terdiri atas dua polimer utama dari D-glukosa dan amilosa dan amilpektin. Pati murni umumnya mengandung 20-30% amilosa, meskipun sebagian besar mengandung amilosa yang lebih tinggi (Hoover *et al.*, 2011). Pati

tersusun atas granula yang memiliki struktur yang sangat kompleks. Granula pati umumnya terdiri atas area inti yang dikelilingi oleh cincin konsentris dengan cincin pertumbuhan amorf (Wang *et al.*, 2015). Inti amorf seperti yang diamati dengan pemindaian mikroskop elektron (SEM) dan mikroskop elektron transmisi (TEM) terutama pada rantai amilosa dan amilopektin yang tidak teratur pada ujung pereduksi (Wang *et al.*, 2012). Ukuran inti amorf berhubungan dengan kandungan amilosa pati.

Ketika pati di dalam air dipanaskan akan terjadi interaksi antara amilosa dan amilopektin yang dapat mengubah struktur granula pati. Sebagai akibatnya, perubahan struktur granula pati yang berbeda dapat dideteksi transisi gelas/kaca atau *glass transition*, gelatinisasi atau pelelehan (*melting*) dan pelelehan dari kompleks amilosa-lipida (Yulianto, 2021). Ringkasan perubahan structural pati tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram status dan fase transisi pati pada berbagai suhu dan lama proses atau penyimpanan. Pati mengalami transisi dari struktur kristal menjadi amorf ketika dipanaskan dan rekristalisasi terjadi berikutnya ketika didinginkan selama penyimpanan

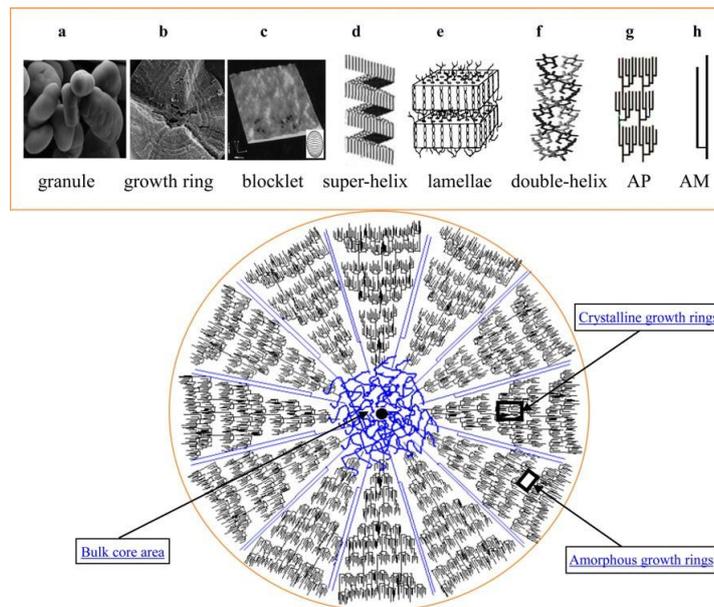
Sumber : Schimer *et al.*, 2015

Ketika dipanaskan dalam air, granula pati akan terhidrasi, membengkak dan berubah menjadi pasta. Struktur granul akan runtuh karena pelelehan kristal dan pelepasan heliks ganda serta pemutusan ikatan hidrogen. Perubahan ini disebut dengan gelatinisasi pati yang disertai dengan hilangnya karakteristik granula pati. Pada proses pendinginan rantai pati yang terdisagregasi mundur secara bertahap menjadi struktur yang tersusun sebagian yang berbeda dari granula asli.

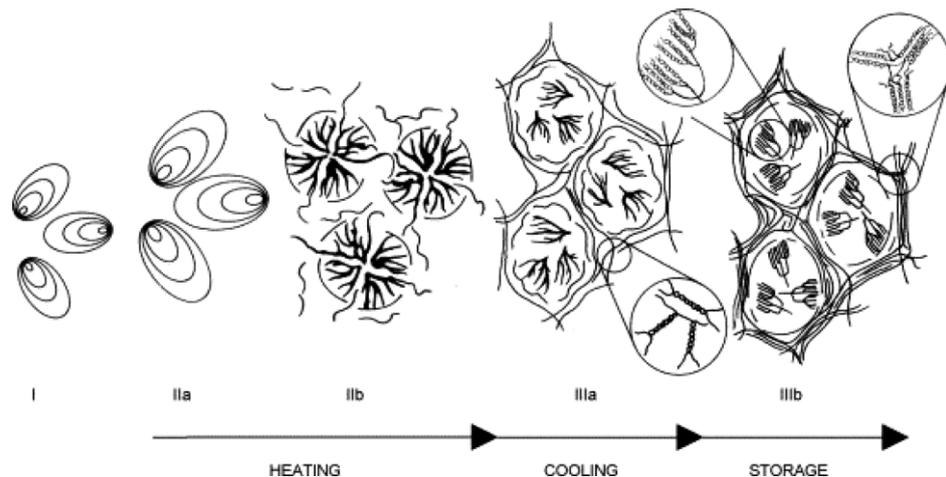
Ketika pati dipanaskan dengan adanya air kemudian didinginkan, amilosa dan rantai amilopktin yang terputus dapat berikatan secara bertahap menjadi struktur yang berbeda dalam suatu proses yang disebut retrogradasi. Representasi skematis dari perubahan yang terjadi dalam campuran pati-air selama pemanasan, pendinginan ditunjukkan pada Gambar 5. Retrogradasi pati biasanya disertai dengan serangkaian perubahan fisik seperti peningkatan viskositas dan kekeruhan pasta, pembentukan gel, pelepasan air, dan peningkatan derajat kristalinitas (Hoover *et al.*, 2010).

Retrogradasi pati menghasilkan transformasi pasta pati menjadi gel padat yang terdiri dari jaringan tiga dimensi. Pasta pati pada retrogradasi membentuk gel lunak, yang mengandung agregat tanpa jaringan (Tang *et al.*, 2007). Secara umum, gel pati yang lebih kuat dikaitkan dengan kehilangan kandungan amilosa yang lebih tinggi (Ishiguro *et al.*, 2000). Jaringan berbasis amilosa dianggap memberikan gel pati dengan elastisitas dan kekuatan terhadap deformasi, sedangkan gel lunak yang mengandung agregat tanpa jaringan menunjukkan penetrasi yang lebih mudah dan daya lengket (daya rekat) yang lebih besar.

Penurunan kadar amilosa akan menurunkan jumlah ikatan hidrogen antarmolekul sehingga mengganggu interaksi jangka panjang didalam gel yang mengakibatkan penurunan kohesivitas struktur.



Gambar 4. Struktur granula pati
Sumber: Hoover *et al.*, 2010



Gambar 5. Skema perubahan struktur pati selama proses pemanasan, pendinginan dan penyimpanan
Sumber: Hoover *et al.*, 2010

2. Faktor yang mempengaruhi retrogradasi pati

Retrogradasi pati sebagian besar dianggap sebagai proses yang tidak diinginkan terjadi selama penyimpanan produk pangan berbahan baku tepung. Retardasi atau penghambatan retrogradasi pati memerlukan perhatian khusus dan merupakan tantangan bagi industri makanan serta dapat dilakukan jika diketahui faktor-faktor yang mempengaruhinya. Kadar air, sumber pati, dan kondisi penyimpanan merupakan faktor yang mempengaruhi retrogradasi pati. Kandungan lemak karbohidrat, garam, dan protein yang terdapat dalam bahan pangan juga berpengaruh terhadap retrogradasi pati.

a. Kadar air

Dalam pengolahan pangan kadar air memiliki peran penting dalam gelatinisasi pati dan retrogradasi. Laju dan luasnya retrogradasi pati juga sangat tergantung pada kadar air. Semakin lama waktu retrogradasi, semakin tinggi kadar air produk. Menurut Whistler dan BeMiller (2009), selama retrogradasi terjadi pembentukan ikatan hydrogen pada gugus hidroksil antar molekul amilosa membentuk bagian kristalin yang kompak dalam jaringan tiga dimensi. Pengaruh kadar air pada retrogradasi pati dipengaruhi oleh kandungan amilosa, yang juga dapat mempengaruhi kristalisasi amilopektin (Zhou *et al.*, 2011).

b. Kondisi Penyimpanan

Suhu dan lama waktu penyimpanan merupakan penentu utama dalam retrogradasi pati. Secara umum, retrogradasi terjadi cepat pada awalnya dan kemudian melambat. Suhu awal dan perubahan entalpi untuk melelehkan

molekul pati meningkat dengan waktu penyimpanan pada suhu yang konstan (Park *et al.*, 2009). Dalam penelitiannya menunjukkan bahwa penyimpanan yang lebih lama akan membentuk lebih banyak kristal pati dengan tingkat kesempurnaan yang lebih tinggi. Kekerasan dan kekenyalan gel pati yang terretrogradasi meningkat selama tahap awal penyimpanan pada suhu konstan, tetapi kemudin berubah pada penyimpanan yang lebih lama (Singh *et al*, 2012).

Kondisi suhu yang paling umum untuk mempelajari retrogradasi pati adalah penyimpanan isotherml pada 4, 25 atau 30°C, atau siklus suhu antara 4 dan 25°C. Umumnya, penyimpanan gel pati pada suhu 4°C menginduksi kristalisasi amilopektin lebih cepat daripada suhu 25 atau 30°C. Siklus suhu menyebabkan entalpi leleh yang lebih kecil dari produk retrogradasi. Suhu leleh awal yang lebih tinggi dan yang lebih rendah jika dibandingkan pada penyimpanan isothermal pada suhu 4°C menunjukkan bahwa retrogradasi pati tidak selalu konsisten. Dalam beberapa penelitian penghambatan retrogradasi pati menurun dengan meningkatnya berat molekul oligosakarida.

F. Metode Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah mikroskop elektron yang didesain untuk mengamati permukaan objek solid secara langsung. SEM memiliki perbesaran 10 – 3.000.000 kali, *depth of field* 4 – 0.4 mm dan resolusi sebesar 1 – 10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, *depth of field* yang besar, resolusi yang baik, dan kemampuan untuk mengetahui komposisi serta informasi

kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri (Prasetyo, 2011). Anonymous (2012) menambahkan, SEM memfokuskan sinar elektron (*electron beam*) di permukaan obyek dan mengambil gambarnya dengan mendeteksi elektron yang muncul dari permukaan obyek.

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggambar spesimen dengan memindainya menggunakan sinar elektron berenergi tinggi dalam scan pola raster. Elektron berinteraksi dengan atom-atom sehingga spesimen menghasilkan sinyal yang mengandung informasi tentang topografi permukaan spesimen, komposisi, dan karakteristik lainnya seperti konduktivitas listrik. Jenis sinyal yang dihasilkan oleh SEM meliputi elektron sekunder, elektron yang berhamburan-balik/back-scattered electron (BSE), karakteristik sinar-X, cahaya (cathodoluminescence), arus spesimen dan pancaran electron-elektron. Detektor elektron sekunder biasanya terdapat di semua SEM, tetapi jarang di sebuah mesin memiliki detektor yang dapat membaca semua sinyal. Sinyal ini adalah hasil interaksi dari sinar elektron dengan atom yang dekat permukaan spesimen. SEM dapat menghasilkan gambar resolusi sangat tinggi dari permukaan spesimen, menghasilkan ukuran yang detailnya kurang dari 1 nm. Oleh karena berkas elektron sangat sempit, gambar SEM dapat menghasilkan tampilan karakteristik tiga-dimensi yang berguna untuk mengetahui struktur permukaan spesimen. SEM memungkinkan beberapa perbesaran, dari sekitar 10 kali (sekitar setara dengan lensa tangan) sampai lebih dari 500.000 kali perbesaran, atau sekitar 250 kali kemampuan perbesaran mikroskop optik. Elektron yang menyebar kembali (BSE) merupakan sinar elektron yang tercermin dari spesimen dengan hamburan

elastis. BSE sering digunakan dalam analisis SEM bersama dengan spektrum yang terbuat dari karakteristik sinar-X. Karena intensitas sinyal BSE sangat terkait dengan nomor atom (Z) dari spesimen, gambar BSE dapat memberikan informasi tentang distribusi unsur yang berbeda dalam spesimen. Untuk alasan yang sama, pencitraan BSE dapat menggambarkan label koloid emas immuno yang berdiameter 5 atau 10 nm, sehingga sulit atau mustahil untuk mendeteksi elektron sekunder pada gambar spesimen biologis. Karakteristik sinar-X dipancarkan ketika sinar elektron menghilangkan elektron kulit bagian dalam dari spesimen, menyebabkan elektron yang energinya lebih tinggi untuk mengisi kulit dan melepaskan energi. Karakteristik sinar-X ini digunakan untuk mengidentifikasi komposisi dan mengukur kelimpahan unsur-unsur dalam spesimen.

Tabel 3. Penjelasan jenis sinyal, detector, dan resolusi lateral serta kedalaman sinyal untuk menggambar dan menganalisa material di SEM

Sinyal Deteksi	Informasi yang Didapat	Resolusi Lateral	Kedalaman dari Informasi
<i>Secondary electrons</i>	Topografi permukaan, kontras komposisi	5-100 nm	5-50 nm
<i>Backscattered electrons</i>	Kontras komposisi, topografi permukaan, orientasi kristal, domain Magnet	50-100 nm	30-1000 nm
<i>Specimen current</i>	Kontras yang lengkap ke <i>backscattered</i> dan sinyal <i>secondary Electron</i>	50-100 nm	30-1000 nm
<i>Characteristic x-rays (primary fluorescence)</i>	Komposisi elemen, distribusi elemen	0,5-2 μ m	0,1-1 μ m
<i>Cathodoluminescence</i>	Deteksi fasa nonmetal dan semikonduksi

Cara kerja SEM, dimulai dengan suatu sinar elektron dipancarkan dari *electron gun* yang dilengkapi dengan katoda filamen tungsten. Tungsten biasanya digunakan pada *electron gun* karena memiliki titik lebur tertinggi dan tekanan uap terendah dari semua logam, sehingga memungkinkan dipanaskan untuk emisi elektron, serta harganya juga murah. Sinar elektron difokuskan oleh satu atau dua lensa kondensor ke titik yang diameternya sekitar 0,4 nm sampai 5 nm. Sinar kemudian melewati sepasang gulungan pemindai (*scanning coil*) atau sepasang pelat deflektor di kolom elektron, biasanya terdapat di lensa akhir, yang membelokkan sinar di sumbu x dan y sehingga dapat dipindai dalam mode raster di area persegi permukaan spesimen. Ketika sinar elektron primer berinteraksi dengan spesimen, elektron kehilangan energi karena berhamburan acak yang berulang dan penyerapan dari spesimen atau disebut volume interaksi, yang membentang dari kurang dari 100 nm sampai sekitar 5 μM ke permukaan. Ukuran volume interaksi tergantung pada energi elektron untuk mendarat, nomor atom dan kepadatan dari spesimen tersebut. Pertukaran energi antara sinar elektron dan spesimen dapat diketahui di refleksi energi tinggi elektron pada hamburan elastis (*elastic scattering*), emisi elektron sekunder pada hamburan inelastik (*inelastic scattering*), dan emisi radiasi elektromagnetik, yang masing-masing dapat dideteksi oleh detektor khusus. Arus dari sinar yang diserap oleh spesimen juga dapat dideteksi dan digunakan untuk membuat gambar dari penyebaran arus spesimen. Amplifier elektronik digunakan untuk memperkuat sinyal, yang ditampilkan sebagai variasi terang (*brightness*) pada tabung sinar katoda. Raster pemindaian layar CRT disinkronkan dengan sinar pada spesimen di mikroskop, dan gambar yang

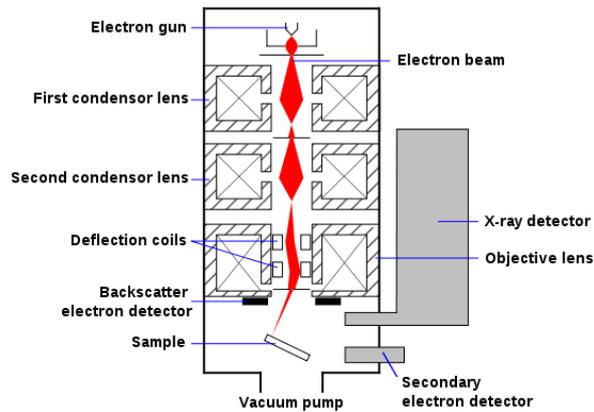
dihasilkan berasal dari peta distribusi intensitas sinyal yang dipancarkan dari daerah spesimen yang dipindai. Gambar dapat diambil dari fotografi tabung sinar katoda beresolusi tinggi, tetapi pada mesin modern digital, gambar diambil dan ditampilkan pada monitor komputer serta disimpan ke hard disk komputer.

Pengujian SEM memerlukan permukaan spesimen yang tidak rata, sehingga spesimen yang sudah halus dan rata dari pengujian mikroskop optik dan emission spectrometer dititik menggunakan palu agar permukaannya tidak menjadi rata. Karena pada percobaan pertama tidak terlihat di layar, maka spesimen kemudian dilapisi oleh emas (aurum) yang bertujuan untuk memperbesar kontras antara spesimen yang akan diamati dengan lingkungan sekitar.

Analisis fisik granula pati menggunakan metode SEM (Scanning Electron Microscope) untuk mengetahui bentuk dan ukuran. Granula pati merupakan butiran-butiran kecil yang menyusun pati. Menurut Winarno (2000), bentuk dan ukuran pati berbeda-beda tergantung sumber patinya yaitu ada yang berbentuk bulat, lonjong, bahkan ada yang tidak beraturan. Granula pati pada roti dianalisis dengan menggunakan SEM yang prinsipnya adalah menembakkan electron pada sampel sehingga, menghasilkan sinyal yang dapat menggambarkan bentuk dan kenampakan bahan.

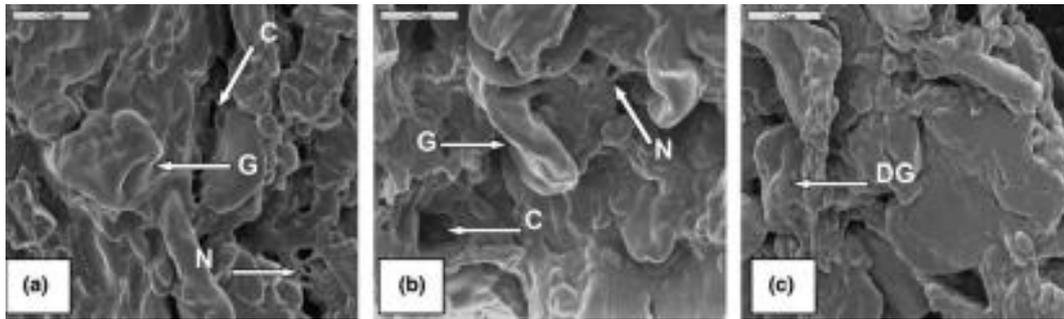
Contoh pengujian mikroskopi menggunakan metode SEM salah satunya pada produk kue kering dari pati garut. Hasil penelitian tersebut serupa dengan yang dilakukan Srichuwong et al. 2005 dan Farida et al. 2014 yang menyatakan bahwa granula pati yang belum mengalami proses modifikasi akan memiliki permukaan

yang halus dan utuh. Setelah mengalami proses modifikasi, granula pati memiliki bentuk yang tidak beraturan dan permukaan yang kasar.



Gambar 6 Skema SEM
Sumber: Indriani, 2003

Produk roti berbasis sereal memiliki struktur bertekstur mikro yang dibawa dari biji-bijian ke produk akhir (Autio dan Salmenkallio-Marttila 2001). Struktur ini dibentuk oleh matriks berbasis protein dan komponen yang terjadi dalam struktur ini seperti pati dan air. Struktur roti terdiri dari fraksi air dan gandum seperti pati, protein, dedak. Karena air harus dikeluarkan dari sampel berdasarkan teknik SEM, molekul air tidak dapat ditampilkan dalam gambar SEM, sementara hanya tampilan struktur protein dan butiran pati yang dapat ditangkap (Gorinstein *et al.*, 2004). Gambar SEM dievaluasi oleh perangkat lunak Image ProPlus, diameter butiran pati diukur setelahka librasi yang sesuai.



Gambar 7. (a) Mikrograf Cryo-SEM dinding sel gas (1500X) dari proses pembuatan roti konvensional, (b) remah roti dari roti par-baked setelah dibekukan, dicairkan dan dipanggang, (c) remah roti dari roti par-baked beku roti setelah 42 hari penyimpanan beku. Tanda panah menunjukkan granula pati (G), rongga (C), jaringan protein (N), dan granula rusak (DG).

Sumber : Barcenas *et al.*, 2006.

G. Hipotesis

Lama waktu penyimpanan beku roti pada suhu $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan pemasakan awal pengukusan diduga akan mempengaruhi sifat kimiawi, fisik dan mikrostruktur roti selama proses pembekuan. Hal tersebut didukung oleh hipotesis sebagai berikut:

1. Penyimpanan beku roti dengan pemasakan awal pengukusan diduga akan mempengaruhi tingkat pengembangan, tekstur, kenampakan keremahan roti, profil DSC, dan tingkat kesukaan roti yang disajikan kembali dengan pemasakan kembali.
2. Diduga terdapat perubahan fisik dan kimia roti selama proses pembekuan yang berpengaruh terhadap kualitas roti.
3. Diduga pada lama waktu penyimpanan beku tertentu masih diperoleh roti yang mempunyai kualitas baik dan tetap disukai jika disajikan kembali dengan pemasakan kembali.

III. METODE PENELITIAN

A. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas terigu protein tinggi (cakra kembar), terigu protein sedang (segitiga biru), gula pasir, margarin, susu bubuk skim, air, telur, yeast (saff instant), garam, dan tepung roti (mama suka).

Bahan kimia yang digunakan terdiri dari BSA (bovine serum albumin), Na_2CO_3 , NaOH 0,5N, CuSO_4 , K-tartrat, buffer sitrat 0,01M, raagen voline cio calteu 2 N dan aquades.

B. Alat

Peralatan yang diperlukan dalam penelitian ini terdiri dari peralatan utama pembuatan roti beku meliputi timbangan digital (camry), *spiral mixer* SMX-HS30B, *divider*, *roller*, baskom plastik, loyang, pengukus (plakat), *improofer*, spatula, *scrub*, nampan plastik dan *sealer*.

Sedangkan peralatan yang digunakan dalam pengujian meliputi *freezer*, *moisture tester* (44-15A), *texturometer* (TA-XT21), *microscope electron* pemindah (cyro-SEM), DSC-60 Plus (C30935200137SA), *beaker glass*, gelas volume dan timbangan digital.

C. Cara Penelitian

1. Pembuatan adonan roti beku

Pembuatan roti beku dilakukan dengan mencampurkan terigu protein tinggi sebanyak 1 kg, terigu protein sedang sebanyak 500 g, gula pasir 330 g, yeast 20 g menggunakan planetary mixer. Selanjutnya menambahkan air sebanyak 550 ml, telur 165 g dilakukan pencampuran hingga homogen. Selanjutnya ditambahkan garam 15 g dan margarin 225 g dilakukan

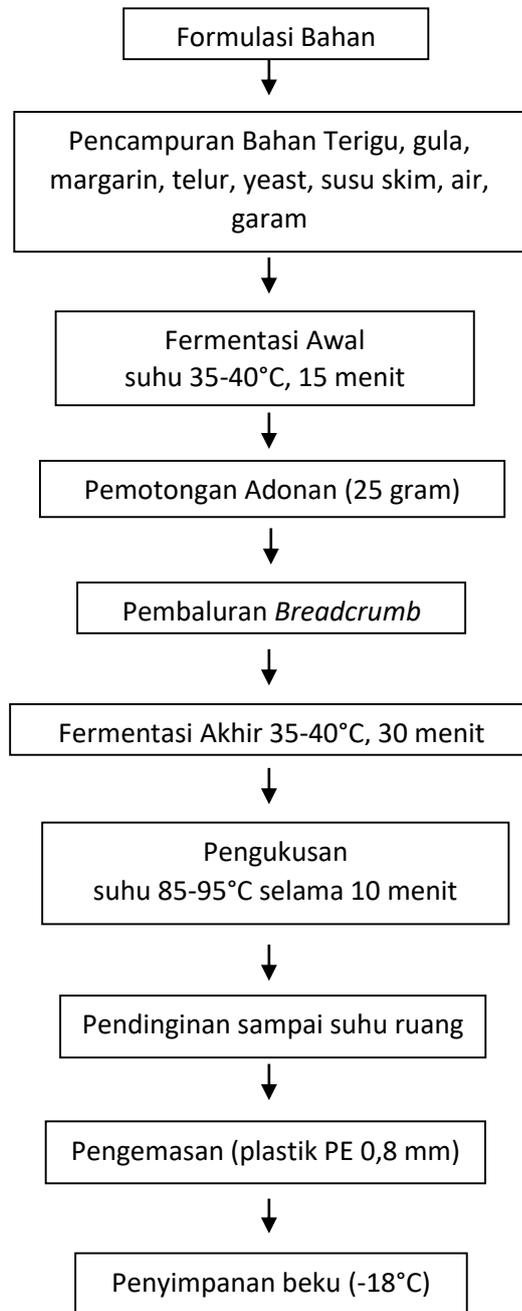
pencampuran hingga kalis. Adonan dilakukan pengistirahatan selama 15 menit. Adonan dilakukan pengepresan (roll) dan dilakukan pembagian masing-masing 25 g menggunakan devider. Adonan yang sudah terbagi dilakukan *rounding* dan pengisian coklat. Adonan yang sudah terisi coklat dilakukan pembaluran dengan tepung roti (200 g) dan dilanjutkan dengan proses fermentasi pada proofer dengan suhu 35-40°C selama 40 menit.

2. Pengukusan dan pembekuan

Adonan yang telah dibuat dan dibentuk selanjutnya dikukus selama 10 menit menggunakan pengukus plakat pada suhu 85-95°C. Roti yang telah dikukus dilakukan pendinginan sampai suhu ruang dan dilanjutkan dengan pengemasan dalam plastik jenis PE (polietilen) dengan ukuran 20x30 cm ketebalan 0,8 mm. Roti yang terkemas dilakukan pembekuan dalam *freezer* pada suhu -18°C selama 70 hari.

3. Pemasakan kembali (Pengukusan dan penggorengan)

Selama penyimpanan beku sampel diambil setiap 14 hari untuk dievaluasi struktur fisik dan kimianya (Gerardo-Rodriguez et al., 2016). Roti setelah disimpan beku dicairkan hingga mencapai suhu 4°C dan dilakukan pengukusan, pengukusan dilanjutkan dengan penggorengan dan penggorengan kembali. Pengukusan dilakukan dengan pengukus pada suhu 85-95°C selama 5 menit dan penggorengan dilakukan secara *deep frying* dengan suhu 185°C selama 2-3 menit. Proses pembuatan roti beku dapat dilihat pada gambar 7 berikut ini.



Gambar 8. Diagram alir pengolahan roti beku

D. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian Universitas Gadjah Mada, Jln. Flora 1 Bulaksumur Yogyakarta untuk uji kadar air, uji tekstur dan uji protein terlarut. Uji thermogram DSC (*Differential Scanning Calorimetry*) dilaksanakan di LPPT Universitas Gadjah Mada, Jalan Kaliurang Km. 4 Sekip Utara, Sendowo, Sinduadi, Kecamatan Depok Kabupaten Sleman Yogyakarta. Uji mikrostruktur roti dengan metode SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dilaksanakan di Laboratorium Terpadu Universitas Islam Indonesia, Jalan Kaliurang Km.14,5 Yogyakarta. Proses pembuatan sampel dilakukan di AnnaBil Cake n Bakery, Nguwet Kranggan Temanggung. Uji pengembangan volume dilakukan di laboratorium Dasar Proses Pengolahan hasil Pertanian SMKN 1 Temanggung, Jalan Kadar Kotak Pos 104 Sidorejo Temanggung. Waktu penelitian dilakukan pada Bulan Juli 2021 – Maret 2022.

E. Analisa

Analisa yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri dari pengujian fisik meliputi pengujian tekstur kekerasan (texturometer), pengujian tingkat pengembangan volume roti dan dan pengujian keremahan roti (SEM), pengujian kimiawi meliputi pengujian kadar air dan pengujian protein terlarut, pengujian sifat termal menggunakan uji DCS (*differential scanning calorimetric*), pengujian mikrostruktur keremahan roti menggunakan uji SEM (*scanning electron microscopy*), dan uji organoleptik menggunakan uji tingkat kesukaan panelis.

Adapun metode dari masing-masing analisa tersebut adalah sebagai berikut dengan perincian pada Lampiran 1.

1. Analisa kadar air metode gravimetric (Ruckold *et al.*, 2000)
2. Pengujian tekstur kekerasan menggunakan texturometer
3. Pengujian volume pengembangan roti
4. Pengujian tekstur keremahan roti menggunakan metode SEM (*scanning electron microscopy*)
5. Pengujian sifat thermal menggunakan DSC (*differential scanning calorimetric*)
6. Uji kelarutan protein (metode Lowry *et al.*, 1951)
7. Uji sensori roti beku metode uji rasa, warna, tekstur (kekerasan), tekstur (kelembutan) dan keseluruhan (Lawless dan Heymann, 2003).

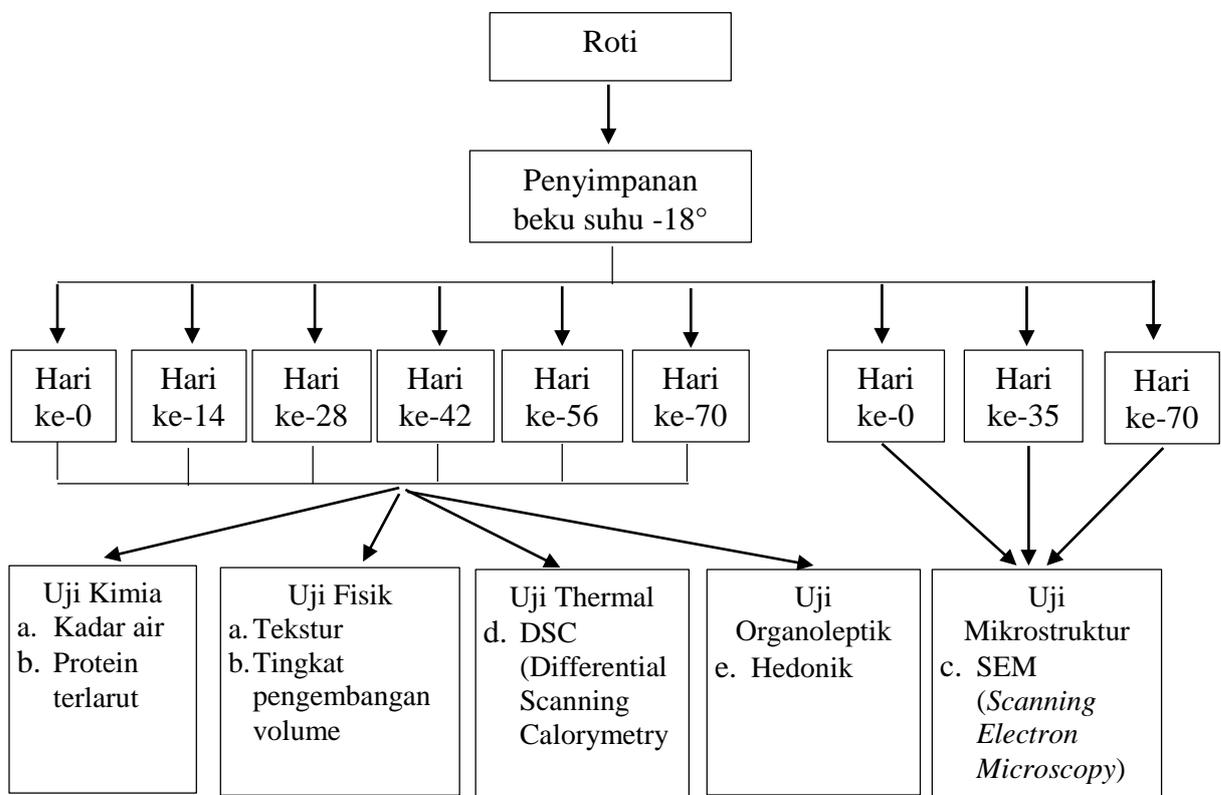
F. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian menggunakan desain acak lengkap dengan variabel yang diteliti adalah lama waktu penyimpanan beku (-18 °C) pada hari ke 0, 14, 28, 42, 5 dan 70 hari dengan variasi pengulangan 2 kali ulangan. Analisa yang dilakukan meliputi pengujian kadar air, pengujian tekstur, pengujian protein terlarut, pengujian gelatinisasi pati (DSC), pengujian tingkat pengembangan roti, pengujian mikrostruktur roti (SEM) dan pengujian tingkat kesukaan.

Selanjutnya, dilakukan penelitian secara factorial pada uji tingkat pengembangan volume roti dengan tiga cara pemasakan kembali yakni

pengukusan, pengukusan dilanjutkan penggorengan dan penggorengan dengan variasi pengulangan 3X6.

Analisis statistik dilakukan dengan analisis varian (ANNOVA) signifikasni 95%. Uji Duncan digunakan untuk mencari perbedaan signifikan antar sampel. Analisis statistik dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak IBM SPSS Statistic Version 26.



Gambar 9. Rancangan penelitian

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Sifat Kimia

1. Kadar Air Roti Selama Penyimpanan Beku

Hasil pengujian kadar air pada roti beku disajikan pada Tabel 4. Berdasarkan data pada Tabel 4 dapat diketahui bahwa terjadi penurunan kadar air pada roti selama penyimpanan beku (suhu -18°C) mulai hari ke-0 sampai hari ke-70. Kadar air pada roti beku selama penyimpanan berbeda nyata, kecuali pada hari ke-42 dan hari ke-56 tidak berbeda nyata. Hal ini dikarenakan adanya pembentukan kristal es selama proses pembekuan yang menyebabkan denaturasi protein sehingga kemampuan mengikat air menurun. Menurut Zhang *et al.* (2005), denaturasi protein gluten karena ikatan hidrogen pada struktur polipeptida protein gluten mengalami kerusakan yang menyebabkan penurunan daya ikat air (*water holding capacity*).

Tabel 4. Kadar air roti selama penyimpanan beku pada -18°C (% bb)

No	Lama Penyimpanan (hari)	Hasil Pengujian
1	0	$30,02 \pm 0,21^a$
2	14	$29,44 \pm 0,21^b$
3	28	$28,95 \pm 0,64^c$
4	42	$28,03 \pm 0,58^d$
5	56	$27,66 \pm 0,82^d$
6	70	$26,70 \pm 1,08^e$

Keterangan : hasil yang diikuti dengan huruf yang berbeda dalam satu barismenunjukkan beda nyata pada taraf kepercayaan 95%.

Data pada Tabel 4. menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar air berkelanjutan semakin lama waktu penyimpanan beku. Penyimpanan pada hari ke-0 hingga hari ke-28 mengalami penurunan kadar air secara signifikan yakni pada

kadar air 30,02% menuju ke 29,44% dan 20,95%. Penurunan kadar air pada hari ke-42 dan hari ke-56 tidak berbeda nyata yakni dari 28,03% menuju 27,66%. Pada penyimpanan hari ke-70 kadar air terus menurun hingga 26,70%. Hal ini disebabkan selama penyimpanan beku, roti yang telah melalui proses fermentasi, pemasakan dengan pengukusan, dan kemudian dilakukan penyimpanan beku menyebabkan kemampuan meretensi air dalam roti berkurang (Vulicevic *et al.*, 2004). Shara *et al.* (2003) menyatakan bahwa kapasitas retensi air adonan menurun dengan waktu penyimpanan beku, ditandai dengan rekristalisasi es pada jaringan gluten. Selain itu, jumlah air yang dapat dibekukan, yaitu fraksi air bebas yang tidak terikat gluten selama pembentukan adonan, meningkat dengan waktu penyimpanan beku karena kerusakan yang dihasilkan pada jaringan gluten oleh pembekuan dan penyimpanan beku.

Seguchi *et al.* (2003) juga menyatakan bahwa penyimpanan dan pembekuan pada adonan roti menyebabkan meningkatnya jumlah molekul air bebas, sehingga kristalisasi es dari air yang terdapat dalam gluten akan terjadi dengan mudah (Shara dan Khan, 2003). Hal ini juga mengakibatkan jumlah air bebas yang semula terikat pada gluten akan semakin meningkat dan menyebabkan kerusakan gluten oleh adanya pembekuan tersebut (Battacharya *et al.*, 2003). Semakin lama penyimpanan beku maka semakin banyak jumlah air bebas sehingga semakin banyak pula yang menguap.

2. Kadar Protein Terlarut

Pengujian protein terlarut pada roti beku yang dilakukan penyimpanan beku dapat ditampilkan sebagai berikut:

Tabel 5. Kadar protein terlarut roti selama penyimpanan beku pada -18 °C

No	Perlakuan Penyimpanan (hari)	Hasil Pengujian (%)
1	0	1,44 ± 0,26 ^a
2	14	1,53 ± 0,04 ^{ab}
3	28	1,48 ± 0,04 ^{ab}
4	42	1,41 ± 0,00 ^{ab}
5	56	1,38 ± 0,01 ^{ab}
6	70	1,31 ± 0,03 ^b

Keterangan : hasil yang diikuti dengan huruf yang berbeda dalam satu baris menunjukkan beda nyata pada taraf kepercayaan 95%.

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa kadar protein terlarut roti yang disimpan beku hingga hari ke 56 tidak berbeda nyata, sedangkan yang disimpan beku selama 70 hari telah menurun secara signifikan dibandingkan roti hari ke 0. Hasil ini menunjukkan bahwa dalam matriks protein, terjadi depolimerisasi selama penyimpanan dalam kondisi beku. Semakin lama penyimpanan depolimerisasi tersebut semakin meningkat. Fakta ini didukung oleh korelasi yang sangat signifikan antara rasio subunit glutenin dari massa molekul tinggi terhadap kandungan protein total dan waktu penyimpanan. Fenomena ini dapat menyebabkan hilangnya kapasitas retensi gas selama fermentasi.

Selama proses fermentasi kapang aktif memecah senyawa-senyawa kompleks protein dalam bahan. Kapang menghasilkan enzim-enzim protease yang mampu merombak senyawa kompleks protein menjadi senyawa yang lebih sederhana (Barus, 2008). Enzim protease akan mendegradasi protein menjadi

dipeptida dan seterusnya hingga menjadi senyawa NH_3 atau NH_2 yang akan menghilang melalui penguapan. Semakin lama fermentasi dapat menurunkan kadar protein karena enzim protease yang dihasilkan oleh *yeast* dapat menghidrolisis protein menjadi asam amino yang dapat dimanfaatkan kapang untuk pertumbuhan dan pengembangan.

Protein terlarut merupakan bagian dari komponen protein yang merupakan oligopeptida. Protein terlarut tersusun atas rantai asam amino yang kurang dari sepuluh macam, dan memiliki sifat yang mudah diserap oleh sistem pencernaan (Nurhikmat *et al.*, 2015). Protein yang mampu larut dalam air maupun yang mudah menguap karena pemanasan disebabkan karena adanya kandungan asam amino yang mudah larut air pula. Asam-asam amino ini memiliki bagian polar yang tinggi sehingga mampu meningkatkan kelarutannya dalam air (Liur *et al.*, 2013).

Berdasarkan Tabel 5. diatas, dapat diketahui bahwa peningkatan dan penurunan kandungan protein terlarut dipengaruhi oleh lama waktu selama proses fermentasi. Selain itu penurunan kadar protein terlarut dipengaruhi lama penyimpanan karena denaturasi protein yang terjadi selama proses pembekuan dan penyimpanan. Akhtar *et al.* (2013) menjelaskan bahwa denaturasi protein dapat terjadi selama proses pembekuan sebagai akibat meningkatnya kekuatan ionik pada jaringan intraseluler yang diikuti migrasi air ke jaringan ekstraseluler.

Penurunan kandungan protein terlarut dipengaruhi oleh lama waktu penyimpanan beku. Protein gluten dan granula pati rusak parah oleh penyimpanan beku jangka panjang. Varriano-Martson *et al.*, telah melaporkan bahwa air berperan dalam mempertahankan struktur adonan roti. Butiran pati yang rusak telah terpisah

bertindak seperti spons di hadapan air, dan mungkin menarik air dari jaringan gluten dengan lebih banyak kerusakan. Hilangnya kemampuan protein gluten untuk menahan air mengakibatkan pemisahan granula pati dan menyebabkan kerusakan struktur roti. Dari sudut pandang struktur mikro adonan roti, granula pati melekat kuat pada jaringan gluten yang utuh, tetapi setelah jaringan gluten rusak, granula pati menunjukkan pola retikuler dan terpisah dari jaringan gluten.

B. Sifat Fisik

1. Tekstur (Kekerasan)

Analisis profil tekstur roti dilakukan untuk menentukan parameter utama kualitas roti, kekerasan, kekenyalan, dan kelembutan. Namun dampak yang dinilai paling signifikan adalah parameter kekerasan dimana hasil pengujian tekstur (kekerasan) dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 6. Hasil Pengujian Tekstur (kekerasan)

No	Lama Penyimpanan (hari)	Hasil Pengujian (N)
1	0	$8,70 \pm 1,48^a$
2	14	$11,18 \pm 0,85^b$
3	28	$12,21 \pm 0,97^b$
4	42	$13,50 \pm 1,74^c$
5	56	$17,06 \pm 0,47^d$
6	70	$17,44 \pm 0,87^d$

Keterangan : hasil yang diikuti dengan huruf yang berbeda dalam satu baris menunjukkan beda nyata pada taraf kepercayaan 95%.

Dari Tabel 6. bisa dilihat bahwa terjadi peningkatan kekerasan tekstur pada roti yang dilakukan penyimpanan beku (suhu -18°C) mulai hari ke-0 sampai hari ke-70. Perubahan tekstur roti terjadi karena adanya retrogradasi pati. Menurut

Damat *et al.* (2017), proses retrogradasi pati (amilopektin) yang berakibat pada meningkatnya kristalisasi atau keteraturan molekuler polimer pati (amilopektin) merupakan penyebab utama dari peningkatan kekerasan *crumb*. Selain itu, terperangkapnya sebagian air di dalam kristal pati selama proses retrogradasi menyebabkan distribusi air di dalam *crumb* bergeser dari gluten ke pati (amilopektin) sehingga menurunkan ketersediaan air sebagai *plasticizer* pada matriks gluten. Hal ini menyebabkan tekstur *crumb* menjadi kering dan rapuh.

Dari Gambar 11. menunjukkan bahwa semakin lama waktu penyimpanan beku, maka terjadi peningkatan kekerasan yang berkelanjutan. Penyimpanan pada hari ke-0 hingga hari ke-56 mengalami peningkatan secara signifikan yakni pada kekerasan 8,70 N menuju ke 11,18 N, 12,21 N, 13,50 N dan 17,06 N. Sedangkan pada hari ke-56 menuju hari ke-70 tidak terjadi peningkatan yang signifikan yakni dari 17,06 N menuju 17,44 N. Peningkatan kekerasan merupakan bukti bahwa selama proses penyimpanan beku, terjadi kerusakan komponen roti seperti rekristalisasi amilosa yang memainkan peran penting dalam kekerasan remah. Kerusakan yang dihasilkan granula pati oleh rekristalisasi es, yang meningkat seiring dengan waktu penyimpanan beku, akan memungkinkan pencucian amilosa intraseluler, meningkatkan interaksi antara amilosa dan intra granula dan pembentukan jaringan amilosa yang mempengaruhi peningkatan kekerasan.

2. Tingkat Pengembangan Volume

Berdasarkan Tabel 7. diketahui bahwa volume roti mengalami kenaikan dari volume awalnya. Peningkatan volume ini terjadi setelah roti dilakukan pemasakan kembali dengan pengukusan dan juga penggorengan.

Tabel 7. Tingkat pengembangan volume roti pada beberapa perlakuan pemasakan kembali

Lama Penyimpanan (hari)	Pengukusan (%)	Pengukusan-Penggorengan (%)	Penggorengan (%)
0	1,11±0,16 ^a	1,12±0,11 ^c	1,37±0,06 ^d
14	1,11±0,16 ^a	1,22±0,11 ^c	1,36±0,06 ^{cd}
28	1,11±0,16 ^a	1,21±0,11 ^c	1,34±0,17 ^{cd}
42	1,10±0,16 ^a	1,21±0,11 ^c	1,34±0,17 ^c
56	1,10±0,16 ^a	1,17±1,00 ^b	1,29±1,00 ^b
70	1,10±0,16 ^a	1,09±1,00 ^a	1,20±1,00 ^a

Keterangan : hasil yang diikuti dengan huruf yang berbeda dalam satu baris menunjukkan beda nyata pada taraf kepercayaan 95%.

Berdasarkan data pada Tabel 7, dapat diketahui bahwa perlakuan pemasakan kembali berpengaruh terhadap tingkat pengembangan volume. Perlakuan pemasakan kembali roti beku dengan pengukusan memberikan hasil tidak berbeda nyata pada tingkat pengembangan volume roti beku. Semakin lama waktu penyimpanan tingkat pengembangan volume semakin menurun. Pada hasil tingkat pengembangan volume roti beku dengan pemasakan kembali pengukusan dilanjutkan dengan penggorengan terdapat beda nyata. Semakin lama waktu penyimpanan tingkat pengembangan volume semakin menurun, terdapat beda nyata pada tingkat pengembangan volume dalam penyimpanan hari ke-56 dan ke-70. Pemasakan kembali roti beku dengan penggorengan langsung setelah penyimpanan beku, memberikan hasil tingkat pengembangan volume yang semakin menurun pula. Tingkat pengembangan volume pada hari ke-0 sebesar 1,37 ±0,06, sedangkan pada hari ke-14 dan ke-28 mengalami penurunan yang berbeda nyata. Penyimpanan hari ke-42 ke-56 dan ke-70 terus mengalami penurunan yang

berbeda nyata tingkat pengembangan volumenya. Hal ini dikarenakan adanya proses penyimpanan beku pada roti. Dengan bertambahnya waktu penyimpanan beku, volume spesifik berkurang sehubungan dengan perkembangan kristal besar selama pencairan. Kehilangan air ini dicerminkan sebagai remah selama penyimpanan. Bosman *et al.* (2014), menemukan bahwa roti dengan periode penyimpanan beku mengurangi volume spesifik roti. Ada kemungkinan bahwa laju pembekuan yang cepat memungkinkan pembentukan kristal pendek, yang mengurangi efek suhu fluktuasi selama penyimpanan beku.

Tingkat pengembangan volume secara umum terus mengalami penurunan, dikarenakan adanya perbedaan lama penyimpanan beku. Lama pembekuan mempengaruhi peningkatan waktu leleh kristal es akibat ukuran kristal es semakin besar (Satria, *et al* 2017). Pengaruh suhu terhadap pembentukan gas pada adonan roti yaitu pada suhu rendah pembentukan gas CO₂ terhambat, sedangkan pada suhu terlalu tinggi gas CO₂ terlalu banyak sehingga volume adonan terlalu besar (Gozalli, 2014). Hal ini menunjukkan semakin lama pembekuan maka pengembangan adonan semakin kecil karena ukuran kristal es semakin besar.

Selain itu, pembekuan dan penyimpanan adonan pada suhu -18°C menghasilkan penurunan kualitas roti yang tercermin dari volume roti yang lebih rendah, waktu fermentasi yang lebih lama, peningkatan proporsi sel gas, dan elastisitas adonan roti yang kurang. Tingkat pengembangan volume pada hari ke-0 sebesar $1,37 \pm 0,06$, sedangkan pada hari ke-14 dan ke-28 mengalami penurunan yang berbeda nyata. Penyimpanan hari ke-42 ke-56 dan ke-70 terus mengalami penurunan yang berbeda nyata tingkat pengembangan volumenya. Hal ini

dikarenakan proses penyimpanan beku yang terus berkelanjutan. Hasil pengamatan menunjukkan hilangnya glutenin dengan berat molekul tinggi dalam agregat makromolekul yang terdiri dari kerja bersih gluten, sangat bergantung pada penyimpanan -18°C.

Protein gluten dalam granula pati rusak parah akibat penyimpanan beku jangka panjang. Hilangnya kemampuan protein gluten untuk menahan air mengakibatkan pemisahan granula pati dan menyebabkan kerusakan struktur adonan. Dari sudut pandang struktur mikro adonan roti, granula melekat kuat pada jaringan gluten yang utuh tetapi setelah jaringan gluten rusak granula pati menunjukkan pola retikuler dan terpisah dari jaringan gluten.

C. Sifat Termal

DSC (*Differential Scanning Calorimetry*)

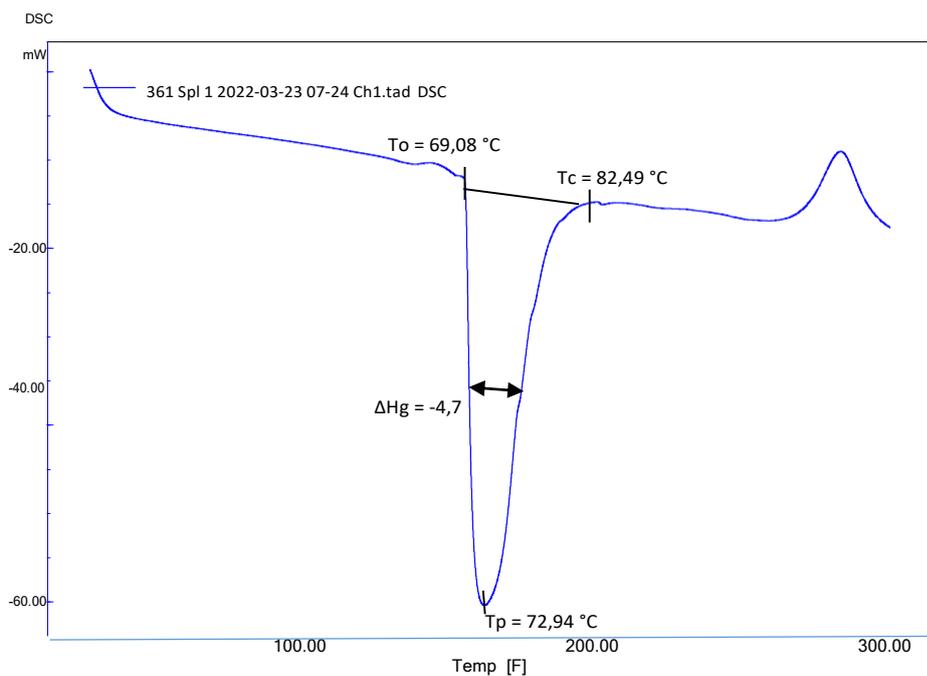
Pengujian menggunakan *Differential Scanning Calorimetry* bertujuan untuk mengetahui suhu retrogradasi pati pada sampel. Termogram DCS menunjukkan bahwa puncak retrogradasi terjadi pada suhu terendah 55,83 dan tertinggi 72,94.

Tabel 8. Profil gelatinisasi

Lama Penyimpanan (hari)	To (°C)	Tc (°C)	Tp (°C)	Δ Hg (joule/g)
0	69,08	82,49	72,94	4,74
14	63,98	78,89	71,70	4,74
28	60,60	62,86	62,16	0,32
42	60,74	64,24	62,85	0,11
56	55,91	60,56	59,39	0,09
70	49,74	59,54	55,83	0,14

To : suhu awal, Tc : suhu puncak, Tp : suhu puncak, ΔHg : entalpi

Suhu awal (T_o), suhu puncak (T_p) dan suhu akhir (T_c) yang terkait dengan retrogradasi pati dan entapi gelatinisasi (ΔH_g) mengalami penurunan. Hasil analisis sampel roti dengan menggunakan uji DSC menunjukkan bahwa puncak retrogradasi keenam sampel secara berurutan adalah 72.94, 71.70, 62.16, 62.85, 59,39, dan 55.83°C. Dari hasil peak retrogradasi tersebut terjadi penurunan signifikan pada sampel 1 hingga 6, dimana sampel tersebut pada perlakuan penyimpanan di hari ke-0 hingga hari ke-70. Penurunan ini terjadi karena adanya proses gelatinisasi dan retrogradasi.



Gambar 10. Profil termogram DSC roti sebelum disimpan beku pada hari ke-0

Sampel yang dianalisis mengalami perlakuan pendahuluan berupa pengukusan, sehingga telah mengalami proses gelatinisasi. Granula pati disuspensikan dalam air kemudian dipanaskan, granula akan menyerap air, jika

dipanaskan secara kontinyu maka ikatan hidrogen granula akan melemah dan secara bertahap granula pati mulai mengembang. Pengembangan granula pati terjadi secara terus menerus sampai pecah sehingga terjadi perubahan yang tak dapat balik (irreversible). Granula pati kehilangan sifat-sifat yang dimilikinya dan terjadi proses gelatinisasi. Selain itu, suhu gelatinisasi juga dipengaruhi oleh daya ikat antar granula pati. Semakin tinggi suhu gelatinisasi suatu jenis pati menunjukkan semakin tinggi daya ikat dalam granula pati tersebut.

Adanya penurunan suhu gelatinisasi pada sampel berhubungan erat dengan kandungan air, tekstur, dan volume pada sampel. Pengaruh kadar air pada gelatinisasi pati dipengaruhi oleh kandungan amilosa, yang juga dapat mempengaruhi kristalisasi amilopektin (Zhou *et al.*, 2011). Semakin rendah kandungan air pada sampel mengakibatkan proses gelatinisasi pati menjadi lebih cepat. Hal ini dikarenakan pati mempunyai gugus hidrofilik yang dapat menyerap air, sehingga apabila kandungan air pada sampel sedikit proses penyerapan akan berlangsung lebih cepat.

Suhu dan lama waktu penyimpanan merupakan penentu utama dalam retrogradasi pati. Secara umum, retrogradasi terjadi cepat pada awalnya dan kemudian melambat. Suhu awal dan perubahan entalpi untuk melelehkan molekul pati meningkat dengan waktu penyimpanan pada suhu yang konstan (Xie *et al.*, 2014). Suhu penyimpanan beku yang digunakan adalah -18°C dengan lama penyimpanan 0, 14, 28, 42, 56, dan 70 hari. Dalam penelitiannya menunjukkan bahwa penyimpanan yang lebih lama akan membentuk lebih banyak kristal pati

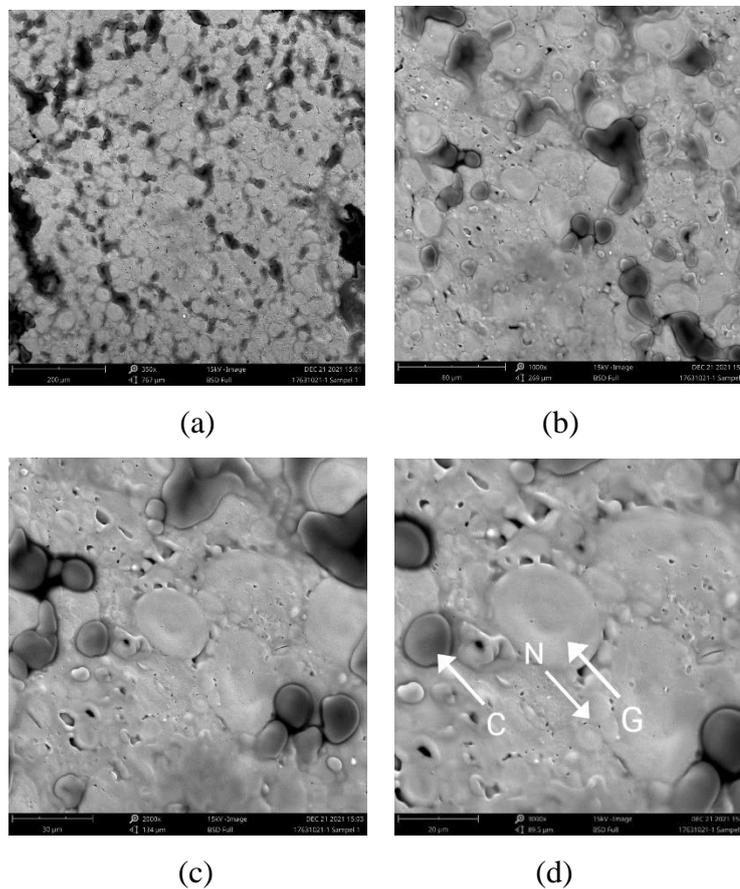
dengan tingkat kesempurnaan yang lebih tinggi. Kekerasan dan kekenyalan gel pati yang teregradasi meningkat selama tahap awal penyimpanan pada suhu konstan, tetapi kemudian berubah pada penyimpanan yang lebih lama. Hal ini sejalan dengan hasil uji DSC pada Tabel 9. yaitu semakin lama penyimpanan, suhu gelatinisasi terus menurun sehingga gelatinisasi berlangsung lebih cepat.

Proses gelatinisasi pati juga berhubungan dengan struktur fisikokimia yang dapat ditinjau dari uji SEM. Penurunan suhu gelatinisasi menunjukkan bahwa penyusunan struktur rantai granula yang semakin tidak teratur dan rusak akibat dari lama penyimpanan beku. Selain itu, gelatinisasi pati menyebabkan pengerasan bagian dalam roti. Perubahan granula pati disebabkan oleh aktivitas enzim yang mulai intensif dalam mendegradasi dinding sel, sehingga dinding sel rusak. Sedangkan Pengecilan rongga udara roti dikarenakan perubahan struktur yang disebabkan oleh proses rekristalisasi yang tinggi sehingga menyebabkan kerusakan pada struktur remah. Proses rekristalisasi meningkat seiring dengan lamanya waktu pembekuan. Sehingga roti dengan waktu pembekuan yang lebih lama dapat meningkatkan jumlah molekul air bebas dan gelatinisasi, karena telah dilaporkan bahwa telah ada hubungan positif antara gelatinisasi pati dan kadar air.

D. Sifat Mikrostruktur

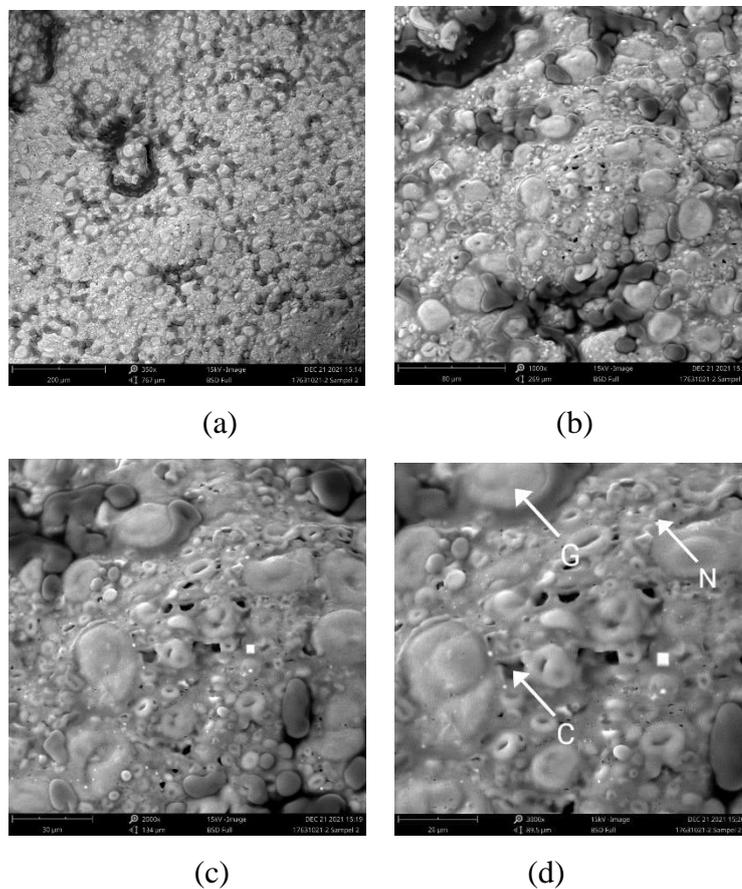
Kenampakan Keremahan Roti

Pengujian mikrostruktur roti beku ini dengan menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) dilakukan untuk mengetahui fisiologis roti beku setelah dilakukan perubahan penyimpanan pada hari ke-0, ke-35, dan ke-70. Gambar perbandingan bagian-bagian struktur mikro roti beku dengan perbesaran 3000x dengan SEM dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Hasil pengujian SEM pada permukaan roti beku penyimpanan hari ke-0 (a) perbesaran 350 kali, (b) perbesaran 1000 kali, (c) perbesaran 2000 kali, (d) perbesaran 3000 kali, (C) Rongga udara, (N) jaringan protein, (G) granula pati

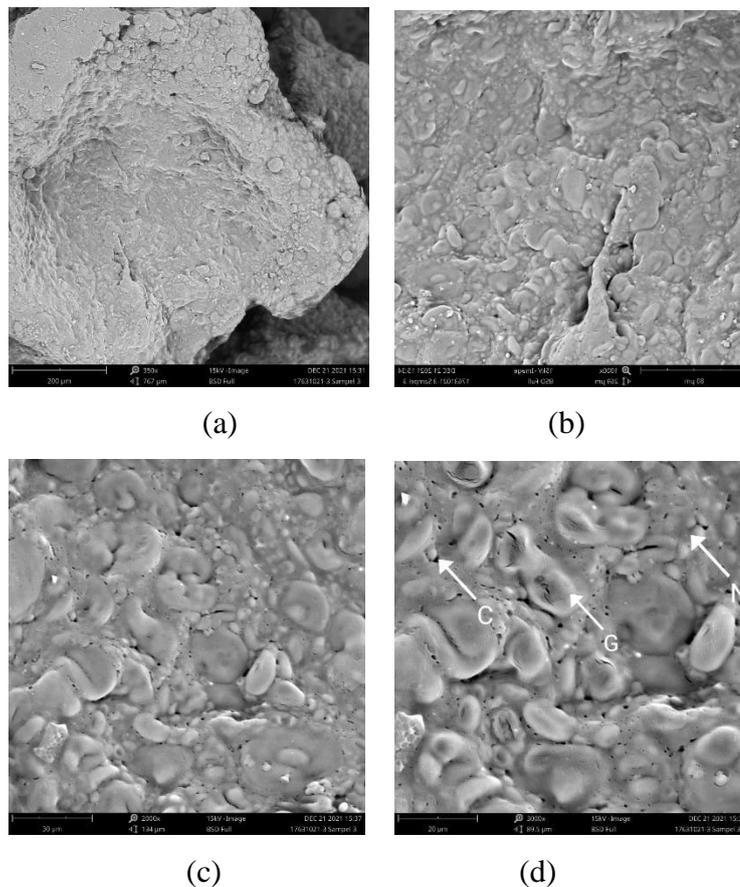
Gambar 11. menunjukkan penampang melintang roti pada penyimpanan di hari ke-0, dimana tampak granula pati yang dikelilingi oleh rongga-rongga udara yang terlihat besar. Beberapa granula pati masih terikat satu sama lain dan bergerombol pada dinding sel. Granula pati mempunyai bentuk yang masih tampak bulat beraturan dan utuh serta homogen. Setelah dilakukan pengukuran, diketahui rongga udara pada sampel roti beku di hari ke-0 sebesar 11 mikrometer.



Gambar 12. Hasil pengujian SEM pada permukaan roti beku penyimpanan hari ke-35 (a) perbesaran 350 kali, (b) perbesaran 1000 kali, (c) perbesaran 2000 kali, (d) perbesaran 3000 kali, (C) Rongga udara, (N) jaringan protein, (G) granula pati

Gambar 12. menunjukkan adanya perubahan struktur mikro dari roti setelah dilakukan penyimpanan pada hari ke-35. Antara granula pati dan komponen lainnya

sudah susah untuk dibedakan. Granula tersebut berubah menjadi suatu gel yang terbentuk dari gelatinisasi pati. Perubahan bentuk granula terlihat pada penyimpanan ke-35, dimana granula mulai memisah dan tidak bergerombol serta rongga-rongga udara semakin mengecil. Diketahui struktur rongga udara roti pada penyimpanan ke-35 setelah dilakukan pengukuran yaitu sebesar 5 mikrometer.



Gambar 13. Hasil pengujian SEM pada permukaan roti beku penyimpanan hari ke-70 (a) perbesaran 350 kali, (b) perbesaran 1000 kali, (c) perbesaran 2000 kali, (d) perbesaran 3000 kali, (C) Rongga udara, (N) jaringan protein, (G) granula pati

Gambar 13. menunjukkan perubahan penyimpanan struktur mikro roti setelah disimpan pada hari ke-70. Proses gelatinisasi menyebabkan granula pati dan komponen lainnya susah untuk dibedakan. Granula pati sudah tidak bergerombol

dan memisah serta mulai berlubang. Selain itu beberapa granula tidak lagi memiliki bentuk bulat beraturan. Ridwan (2007) menyatakan bahwa proses gelatinisasi mengakibatkan molekul-molekul amilosa dan amilopektin terlepas dari granula dan akan membentuk suatu struktur jaringan tiga dimensi. Ditinjau dari struktur rongga udara, roti dengan penyimpanan selama 70 hari menunjukkan adanya perubahan rongga-rongga udara yang semakin mengecil. Ukuran rongga udara roti di hari ke-70 sebesar 1 mikrometer.

Perubahan granula pati tersebut disebabkan oleh aktivitas enzim yang mulai intensif dalam mendegradasi dinding sel, sehingga dinding sel rusak. Akibatnya granula tersebut kemudian dihidrolisis sebagian pada permukaan granula sehingga menyebabkan granula pati berlubang. Sedangkan pengecilan rongga udara roti dikarenakan perubahan struktur yang disebabkan oleh proses rekristalisasi yang tinggi sehingga menyebabkan kerusakan pada struktur remah. Proses rekristalisasi meningkat seiring dengan lamanya waktu pembekuan, sehingga roti dengan waktu pembekuan yang lebih lama akan mengalami pengecilan rongga udara yang lebih banyak. Akibat proses tersebut terjadi perubahan ukuran menjadi sekitar tiga kali lipat dari ukura granula pati mula-mula sehingga menyebabkan struktur rongga udara terdesak.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar 14. Penampang roti bagian dalam pada penyimpanan beku -18°C (a) penyimpanan hari ke-0, (b) penyimpanan hari ke-14, (c) penyimpanan hari ke-28, (d) penyimpanan hari ke-42 (e) Penyimpanan hari ke-56, (f) Penyimpanan hari ke-70

E. Tingkat Kesukaan

Uji sensori pada penelitian ini menggunakan metode uji hedonic yang meliputi tingkat kesukaan warna, aroma rasa dan kesukaan keseluruhan berdasarkan skala 1–5 (angka lebih tinggi menunjukkan skala amat sangat suka) dengan menggunakan panelis 30 orang belum terlatih (Badan Standardisasi Nasional, 2006).

Pada penelitian ini, uji sensori dilakukan sebagai penelitian pendahuluan untuk mengetahui tingkat kesukaan produk roti beku dengan perlakuan lama penyimpanan yang berbeda. Uji sensori yang dilakukan adalah uji rangking hedonik yang bertujuan untuk mengurutkan tingkat kesukaan panelis sehingga didapatkan penilaian terhadap roti dengan perbedaan perlakuan lama penyimpanan beku. Atribut yang diuji pada penelitian ini antara lain rasa, warna, tekstur, kelembutan, dan keseluruhan. Tingkat kesukaan roti beku setelah di goreng kembali dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Tingkat kesukaan roti beku yang disimpan pada suhu -18°C setelah digoreng kembali

Lama Penyimpanan (Hari)	Skor Kesukaan				
	Rasa	Warna	Tekstur	Kelembutan	Keseluruhan
	4,27±0,76 ^a	4,33±0,92 ^a	4,57±0,77 ^a	4,33±0,92 ^a	4,57±0,62 ^a
14	4,33±0,80 ^a	4,20±0,96 ^a	4,40±0,72 ^a	4,17±0,90 ^a	4,51±0,62 ^a
28	4,13±1,00 ^a	4,23±0,77 ^a	4,33±0,75 ^a	4,23±0,77 ^a	4,39±0,61 ^a
42	4,30±0,88 ^a	4,30±0,95 ^a	4,30±0,87 ^a	4,30±0,95 ^a	4,43±0,88 ^a
56	4,07±0,90 ^a	3,90±1,06 ^a	4,33±0,60 ^a	3,93±1,08 ^a	4,46±0,73 ^a
70	4,30±0,75 ^a	4,37±0,91 ^a	3,87±0,90 ^b	4,37±0,80 ^a	3,89±1,06 ^b

kor 1= sangat tidak suka, 2= tidak suka, 3= netral, 4= suka, 5= sangat suka

Keterangan : hasil yang diikuti dengan huruf yang berbeda dalam satu baris menunjukkan beda nyata pada taraf kepercayaan 95%.

1. Rasa

Berdasarkan hasil uji Duncan diketahui tidak terdapat perbedaan yang nyata antara perlakuan lama penyimpanan pada tingkat kesukaan rasa roti beku. Perlakuan lama penyimpanan roti beku yang disukai oleh panelis dengan rangking tertinggi yaitu pada saat penyimpanan ke-14 dengan nilai rerata 4,33. Adapun analisis mutu hedonik rasa yang dihasilkan berada pada kisaran 4,07-4,33. Hal ini selaras dengan uji sensori terhadap parameter rasa yang menunjukkan hasil tidak berbeda nyata. Kemungkinan ini terjadi karena pada proses pembekuan tidak membuat rasa roti menjadi berubah.

2. Warna

Berdasarkan hasil uji Duncan diketahui tidak terdapat perbedaan yang nyata antara perlakuan lama penyimpanan pada tingkat kesukaan warna roti beku. Hasil analisis Duncan terhadap parameter warna roti dengan lama penyimpanan beku yang berbeda berada pada kisaran nilai 3,90-4,37. Nilai tertinggi warna yang disukai panelis pada perlakuan penyimpanan ke-70 dengan rerata 4,37. Panelis memilih sampel di hari ke-70 sebagai sampel dengan rerata nilai warna tertinggi dapat dikarenakan sampel tersebut dianggap memiliki warna yang sesuai dengan preferensi panelis. Sampel penyimpanan ke-70 memiliki warna kuning kecoklatan yang cerah sehingga dimungkinkan panelis lebih menyukainya dibandingkan sampel lainnya. Sampel dengan nilai rerata terendah yang dipilih panelis adalah pada penyimpanan ke-56. Hal ini dapat dikarenakan sampel tersebut memiliki warna yang kurang sesuai dengan preferensi panelis. Sampel dihari ke-56 terlihat memiliki warna kuning kurang cerah dan sedikit coklat dari sampel lainnya

sehingga dimungkinkan panelis kurang menyukainya. Warna dapat mempengaruhi nilai kesukaan produk dan produk yang berwarna tidak sesuai sering mendapatkan nilai penerimaan yang rendah (Mahony, 2001). Meskipun demikian, hasil uji sensori Duncan terhadap parameter warna roti beku dengan penyimpanan yang berbeda tidak menunjukkan hasil yang berbeda nyata.

3. Tekstur

Berdasarkan hasil uji Duncan diketahui terdapat perbedaan yang nyata antara perlakuan lama penyimpanan pada tingkat kesukaan tekstur roti beku. Hasil analisis nilai sensori tekstur pada kisaran 3,87-4,57. Berdasarkan hasil analisis Duncan menunjukkan bahwa perlakuan penyimpanan dihari ke-70 pada roti beku memberikan pengaruh nyata terhadap karakteristik tekstur roti dengan tekstur $17,44 \pm 0,87N$. Hal ini diduga karena adanya proses retrogradasi pati. Penyimpanan roti hari ke-0 hingga hari ke-56 tidak mengalami perubahan yang nyata ditinjau dari penilaian panelis. Sedangkan pada penyimpanan hari ke-70, penilaian panelis menunjukkan hasil berbeda nyata. Hal ini membuktikan selama penyimpanan beku, terjadi proses rekristalisasi yang berperan dalam kekerasan remah roti.

Tekstur memiliki pengaruh penting terhadap produk roti misalnya dari tingkat kelembutan, keempukan, dan kekerasan. Tekstur merupakan sensasi tekanan yang dapat diamati dengan mulut (pada waktu digigit, dikunyah, dan ditelan) ataupun peragaan dengan jari (Kartika *et al.*, 1988 dalam Rakhmah, 2012).

4. Kelembutan

Berdasarkan hasil uji Duncan diketahui tidak terdapat perbedaan yang nyata antara perlakuan lama penyimpanan pada tingkat kesukaan kelembutan roti beku.

Hasil analisis Duncan terhadap parameter kelembutan roti dengan lama penyimpanan beku yang berbeda berada pada kisaran nilai 3,93-4,37. Nilai tertinggi kelembutan yang disukai panelis pada perlakuan penyimpanan ke-70 dengan rerata nilai 4,37. Hal ini menunjukkan bahwa sampel roti pada penyimpanan ke-70 memiliki kelembutan yang sesuai dengan preferensi kesukaan panelis. Hal ini juga kemungkinan terjadi karena peningkatan kekerasan yang berkelanjutan pada penyimpanan sampel roti hari ke-0 hingga ke-56. Akan tetapi tidak terjadi peningkatan kekerasan yang signifikan dari hari ke-56 menuju hari ke-70, sehingga mengakibatkan sampel roti pada penyimpanan ke-70 memiliki tekstur yang lebih lembut.

5. Keseluruhan

Berdasarkan hasil uji Duncan diketahui terdapat perbedaan yang nyata antara perlakuan lama penyimpanan pada tingkat kesukaan keseluruhan roti beku. Hasil analisis nilai sensori keseluruhan pada kisaran 4,57-3,89. Berdasarkan hasil analisis Duncan menunjukkan bahwa perlakuan penyimpanan di hari ke-70 pada roti beku memberikan pengaruh nyata terhadap karakteristik keseluruhan roti. Penyimpanan roti hari ke-0 hingga hari ke-56 tidak mengalami perubahan yang nyata ditinjau dari penilaian panelis. Sedangkan pada penyimpanan hari ke-70, penilaian panelis menunjukkan hasil berbeda nyata. Hal ini sejalan dengan hasil penilaian sensori rasa, warna dan kelembutan yang berbeda tidak nyata pada setiap perlakuan lama penyimpanan beku roti. Hal ini membuktikan selama penyimpanan beku, terjadi proses perubahan struktur fisikokimia roti sehingga mempengaruhi penilaian keseluruhan roti beku. Penilaian sensori panelis terhadap penerimaan

keseluruhan merupakan hasil penilaian terhadap keseluruhan parameter sensori rasa, warna, tekstur, kelembutan, dan keseluruhan.

Selain itu kadar air juga turut menentukan penerimaan keseluruhan roti beku. Perubahan kadar air pada setiap perlakuan lama penyimpanan beku juga turut serta mempengaruhi penilaian sensori terhadap penilaian keseluruhan. Kadar air merupakan salah satu karakteristik yang sangat penting pada bahan pangan, karena air mempengaruhi penampakan, tekstur, dan cita rasa pada bahan pangan, sehingga menentukan penilaian penerimaan keseluruhan roti beku.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan antara lain:

1. Kesimpulan Umum

Penyimpanan roti beku pada suhu (-18°C) sampai hari 56 sudah berpengaruh karakteristik fisik dan kimia roti dengan pemasakan awal pengukusan, menghasilkan roti beku yang disukai sampai sangat disukai dan tidak berbeda nyata dengan kontrol (tanpa pembekuan).

2. Kesimpulan Khusus

- a. Penyimpanan roti beku dengan pemasakan awal pengukusan selama 0-70 hari semakin menurunkan kadar air, kadar protein terlarut dan tingkat pengembangan roti, dan meningkatkan tingkat kekerasan roti.
- b. Penyimpanan roti beku selama 0-70 hari dengan pemasakan awal pengukusan selama 0-70 hari semakin rendah suhu gelatinisasi dan entalpi serta semakin kecil ukuran pori-pori roti yang dimasak kembali.
- c. Penyimpanan roti beku hingga hari ke-56 menghasilkan kualitas roti yang disukai sampai sangat disukai (4-5) dan tidak berbeda nyata dengan kontrol (tanpa pembekuan).

B. Saran

Berdasarkan hasil uji fisik dan kimia serta tingkat kesukaan maka disarankan bahwa penyimpanan beku roti dengan pemasakan awal pengukusan adalah maksimal 56 hari dan perlu dilakukan pengujian retrogradasi pati menggunakan *rapid visco analyzer* (RVA).

DAFTAR PUSTAKA

- Almeida, E. L., Steel, C. J., & Chang, Y. K. (2016). Par-baked bread technology: formulation and process studies to improve quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(1), 70-81. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2012.715603>. PMID:25000472.
- Arlene, A., Witono, R.J., Fransisca, M. 2009. Pembuatan Roti Tawar dari Tepung Singkong dan Tepung Kedelai. Simposim Nasional RAPI VIII. ISSN 1412-9612
- Axel, C., Zannini, E., & Arendt, E. (2017). Mold spoilage of bread and its biopreservation: a review of current strategies for bread shelflife extension. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(16), 3528-3542. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2016.1147417>. PMID:26980564.
- Bárcenas, M. E., Haros, M., Benedito, C., & Rosell, C. M. (2003). Effect of freezing and frozen storage on the staling of part-baked bread. *Food Research International*, 36(8), 863-869. [http://dx.doi.org/10.1016/S0963-9969\(03\)00093-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0963-9969(03)00093-0).
- Cauvain, S., & Young, L. (2008). *Bakery food manufacture and quality: water control and effects* (2nd ed.). Ames: John Wiley & Sons. <http://dx.doi.org/10.1002/9781444301083>.
- Delcour Ja, Joye IJ, Pareyt B, Wilderjans E, Brijs K, Lagrain B. 2012. Wheat gluten functionality as a quality determinant in cereal-based food products. *Annu Rev Food Sci Technol* 3:469–92.
- Fauzi, R. 2012. Mempelajari Tingkat Kekerasan Biji Jagung selama Pengeringan Lapis Tipis. Skripsi. Makassar: Universitas Hasanuddin
- Food and Drug Administration (U.S.FDA). 2013. What is gluten-free? FDA has an answer. Available from: https://www.in.gov/isdh/files/Gluten_Free_Article_October_2013.pdf. Accessed 2016 January 29.
- Hariyadi P. (2019). Masa Simpan dan Batas Kedaluwarsa Produk pangan. PT. Grmaedia, Jakarta.
- Havet, M., Mankai, M., & Le Bail, A. (2000). Influence of the freezing condition on the baking performances of French frozen dough. *Journal of Food Engineering*, 45(3), 139-145. [http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00050-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00050-9).
- Hayta. M, Ertop, M. Hendek, Evaluation of microtextural properties of sourdough wheat bread obtained from optimized formulation using scanning electron microscopy and image analysis during shelf life. *J Food Sci Technol* (January 2018) 55(1):1–9
- Justicia, A., E. Liviawaty, dan H. Hamdani. 2012. Fortifikasi Tepung Tulang Nila Merah sebagai Sumber Kalsium terhadap Tingkat Kesukaan Roti Tawar. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*

- Khatkar BS, Barak S, Mudgil D. 2013. Effects of gliadin addition on the rheological, microscopic, and thermal characteristics of wheat gluten. *Int J Biol Macromol* 53:38–41
- Krisna, D. 2011. Pengaruh Regelatinasi dan Modifikasi Hidrotermal terhadap Sifat Fisik pada Pembuatan Edible Film dari Pati Kacang Merah (*Vigna Angularis* Sp.). Tesis. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Lowry, O. H., Rosebrough, N. J.; Farr, A. L.; Randall, R. J. (1951). "Protein measurement with the folin phenol reagent". *Journal of Biological Chemistry*. 193 (1): 265-75
- Melnyk JP, Dreisoerner J, Marcone MF, Seetharaman K. 2012. Using the gluten peak tester as a tool to measure physical properties of gluten. *J Cereal Sci* 56:561–7.
- Nurul Aisah, Laras Cempaka, Kurnia Ramadhan, Stephanie Hoseva Matatula (2020) Prinsip Dasar Penyimpanan pada Suhu Rendah. CV. Nas Media Pustaka, Makassar.
- Anonim, 2019. Peraturan BPOM No. 13 tahun 2019
- Pico, J., Bernal, J., & Gómez, M. (2015). Wheat bread aroma compounds in crumb and crust: A review. *Food Research International*, 75, 200- 215. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2015.05.051>. PMID:28454949.
- Ribotta, Pablo D. dkk. (2002). Effect of freezing and frozen storage on the gelatinization and retrogradation of amylopectin in dough baked in a differential scanning calorimeter. 36 (2003) 357–363.
- Robertson GH, Cao TK, Gregorski KS, Hurkman WJ, Tanaka CK, Chiou B-S, Glenn GM, Orts WJ. 2013. Modification of vital wheat gluten with phosphoric acid to produce high free swelling capacity. *J Appl Polym Sci* 1–11.
- Rodriguez, Y., E, G., Wong, B., R. (2021). Effect of part-baking time, freezing rate and storage time on part-baked bread quality. *Food Science and Technology Campinas*, 41(Suppl. 1): 352-359, June 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.06820>
- Shirmer, M., Jekle, M., and Becker, T. 2014. Starch gelatinization and its complexity for analysis. *Starch-Starke* 67(1-2): 30-41.
- Shewry PR, Tatham AS. 1997. Disulphide bonds in wheat gluten proteins. *J Cereal Sci* 25:207–27.
- Shewry PR, Halford NG, Belton PS, Tatham AS. 2002. The structure and properties of gluten: an elastic protein from wheat grain. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 357:133–42.
- Singh S, Singh N. 2013. Relationship of polymeric proteins and empirical dough rheology with dynamic rheology of dough and gluten from different wheat varieties. *Food Hydrocoll* 33:342–8.
- Song Y, Zheng Q. 2008. Influence of gliadin removal on strain hardening of hydrated wheat gluten during equibiaxial extensional deformation. *J Cereal Sci* 48:58–67.
- Sugiarti, W. 2018. Optimasi Konsentrasi Sorbitol dan Lama Pembekuan Untuk Meningkatkan Adonan Beku dan Kualitas Roti Manis (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya)

- Sun, Da-Wen. 2012. Handbook of Frozen Food Processing and Packaging. CRC Press
- Tuhumury HCD, Small DM, Day L. 2014. The effect of sodium chloride on gluten network formation and rheology. *J Cereal Sci* 60:229–37.
- Wang KQ, Luo SZ, Zhonga XY, Cai J, Jiang ST, Zheng Z. 2017. Changes in chemical interactions and protein conformation during heat-induced wheat gluten gel formation. *Food Chem* 214:393–9.
- Wang P, Jin Z, Xu X. 2015. Physicochemical alterations of wheat gluten proteins upon dough formation and frozen storage—a review from gluten, glutenin and gliadin perspectives. *Trends Food Sci Technol* 46:189–98.
- Wang Shujun, Li Caili, et.al., Starch Retrogradation: A Comprehensive Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* Vol.14,2015
- Wang SJ, Wang J, Zhang W, Li C, Yu J, Wang S. 2015. Molecular order and functional properties of starches from three waxy wheat varieties grown in China. *Food Chem* 181:43–50.
- Wang SJ, Wang J, Zhang W, Li C, Yu J, Wang S. 2015. Molecular order and functional properties of starches from three waxy wheat varieties grown in China. *Food Chem* 181:43–50.
- Wieser H. 2007. Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiol* 24:115–9. Xu J, Bietz Ja, Carriere CJ. 2007. Viscoelastic properties of wheat gliadin and glutenin suspensions. *Food Chem* 101:1025–30.
- Wisnu Adi Yulianto. 2021. Kimia Beras : Biosintesis dan Sifat Fungsional Pati. CV Budi Utama, Yogyakarta.
- Yuthana Phimolsiripol. 2009. Shelflife Determination of Frozen Bread Dough Stored under Fluctuating Temperature Conditions. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)* 43: 187 - 197 (2009)

LAMPIRAN

Lampiran 1. Metode Analisa

a. Uji Kadar Air (AOAC 1970, Ranggana 1979)

1. Sampel ditimbang (yang telah berupa serbuk) atau bahan yang telah dihaluskan sebanyak 1-2 g kedalam botol timbang yang telah diketahui beratnya.
2. Kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 100-150°C selama 3-5 jam tergantung bahan yang dikeringkan. Kemudian didinginkan kedalam eksikator dan ditimbang. Panaskan lagi ke dalam oven selama 30 menit, dinginkan dalam eksikator dan ditimbang. Perlakuan ini diulangi sampai tercapai berat constant (selisih penimbangan berturut-turut kurang dari 0,2 mg).
3. Pengurangan berat merupakan banyaknya air dalam bahan

$$\text{Rumus Kadar Air (\% wb)} = \frac{\text{Berat awal bahan} - \text{berat akhir bahan}}{\text{Berat awal bahan}} \times 100\%$$

b. Uji Tekstur (Kekerasan)

Pengujian tekstur dilakukan menggunakan instrument LLYOD Texture Analyzer, Merk LLOYD tipe 1000S Load Max 5000N (Extension max 1000mm)

1. Kabel data dari texture analyzer dipastikan telah tersambung dengan CPU computer, kemudian computer dinyalakan.
2. Jarum penusuk sampel (probe) dipasang dan diatur posisinya sampai mendekati sampel, kemudian prog dari computer dioperasikan untuk menjalankan probe. Dipastikan bahwa nilai yang ada pada monitor 0.
3. Pilih menu start test pada computer sehingga probe akan bergerak sampai menusuk sampel roti. Pengujian selesai apabila probe kembali ke posisi semula
4. Hasil uji akan terlihat dalam bentuk grafik dan nilai (angka).

c. Uji Protein Terlarut

Pengujian protein terlarut menggunakan metode Lowry, dkk (1951).

Bahan Pereaksi yang digunakan :

1. Reagen A : dilarutkan 10 g Na_2CO_3 dalam NaOH 0,5 N hingga mencapai volume 100 ml.
2. Reagen B : dilarutkan 1 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dalam aquades hingga mencapai volume 100 ml.
3. Reagen C : dilarutkan 2 g K-tartrat dalam aquades hingga mencapai volume 100 ml (Larutan A, B, C dapat disimpan)
4. Larutan standar serum bovin albumin 0,3 mg/ml, dilarutkan 0,08 g serum bovin albumin dalam larutan buffer sitrat 0,01 M pH 6,0 yang telah didinginkan pada suhu $\pm 10^\circ\text{C}$ selama 24 jam hingga mencapai volume 100 ml.
5. Reagen D ; dicampurkan 20 ml reagen A, 1 ml reagen B dan 2 ml reagen C, kemudian digojog homogeny.
6. Penyediaan reagen E yaitu dengan mengencerkan 5,0 ml reagen Folin-Ciocalteu 2 N menjadi volume 50 ml, kemudian digijig dengan baik.

Prosedur Kerja :

1. Pembuatan kurva Standar
 - Memasukkan BSA (Bovine Serum Albumin) 30 mg/100 ml ke dalam tabung reaksi dengan konsentrasi 0 (blanko); 0,06; 0,12; 0,18; 0,24; dan 0,30 mg/ml dalam 1 ml.
 - Menambahkan 1 ml reagen D
 - Mixing dan inkubasi selama 15 menit pada suhu kamar
 - Menambahkan 3 ml reagen E
 - Mixing dan inkubasi selama 45 menit pada suhu kamar
 - Pengukuran absorbansi pada panjang gelombang 750 nm dan dibuat kurva standar.
2. Pengenceran sampel
 - Mengambil 0,5 g sampel (roti beku)

- Menambahkan 100 ml aquades.
 - Menyaring dengan menggunakan kertas saring.
3. Pengujian lowry-Follin
- Mengambil 1 ml sampel dan memasukkan ke dalam tabung reaksi.
 - Menambahkan 1 ml reagen D.
 - Mixing dan inkubasi selama 15 menit pada suhu kamar.
 - Menambahkan reagen E sebanyak 3 ml.
 - Mixing dan inkubasi selama 45 menit pada suhu kamar.
 - Menera absorbansi dengan panjang gelombang 750 nm.

d. Uji Keremahan dengan Metode SEM (Scanning Electronic Microscope)

1. Menyiapkan spesimen yang akan di uji.
2. Mengeringkan sampel
3. Melakukan pengecilan ukuran dalam bentuk granula
4. Meletakkan spesimen yang sudah siap diuji kedalam mesin foto pengujian SEM.
5. Melakukan Pengujian
6. Mencatat hasil pengujian

e. Uji Pengembangan roti

1. Menyiapkan sampel pada wadah tertutup (plastik)
2. Mengukur air sebanyak 500ml pada wadah
3. Memasukkan sampel dalam gelas ukur
4. Menuangkan air di dalam gelas ukur sampai tanda batas 500ml
5. Mengukur sisa air yang tersisa pada wadah dan mencatat hasil
6. Mengukus sampel selama 10 menit
7. Mengulangi langkah nomor 1-5
8. Menggoreng sampel selama 2-3 menit
9. Mengulangi langkah nomor 1-5

Lampiran 2. Gambar



Persiapan bahan dan pencampuran adonan



Penimbangan adonan dan fermentasi awal



Pembagian dan pembulatan adonan



Pembaluran tepung roti dan fermentasi



Pengukusan dan pengemasan

Lampiran 3. Perhitungan Statistik

a. Pengujian Kadar Air

Univariate Analysis of Variance Descriptive Statistics

Dependent Variable: Kadar_air

Roti Beku	Batch	Mean	Std. Deviation	N
Hari ke-0	Batch 1	29.835000	.0353553	2
	Batch 2	30.205000	.0070711	2
	Total	30.020000	.2146315	4
Hari ke-14	Batch 1	29.260000	.0282843	2
	Batch 2	29.635000	.0212132	2
	Total	29.447500	.2174665	4
Hari ke-28	Batch 1	28.400000	.0141421	2
	Batch 2	29.515000	.0212132	2
	Total	28.957500	.6439138	4
Hari ke-42	Batch 1	27.525000	.0494975	2
	Batch 2	28.540000	.0000000	2
	Total	28.032500	.5867069	4
Hari ke-56	Batch 1	26.945000	.0353553	2
	Batch 2	28.375000	.0353553	2
	Total	27.660000	.8261154	4
Hari ke-70	Batch 1	25.765000	.0212132	2
	Batch 2	27.640000	.0141421	2
	Total	26.702500	1.0826318	4
Total	Batch 1	27.955000	1.4422048	12
	Batch 2	28.985000	.9117565	12
	Total	28.470000	1.2919348	24

**Post Hoc Tests
Roti Beku
Homogeneous Subsets**

Kadar_air

Duncan^{a,b}

Roti Beku	N	Subset				
		1	2	3	4	5
Hari ke-70	4	26.702500				
Hari ke-56	4		27.660000			
Hari ke-42	4		28.032500			
Hari ke-28	4			28.957500		
Hari ke-14	4				29.447500	
Hari ke-0	4					30.020000
Sig.		1.000	.119	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .103.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

b. Alpha = .05.

b. Pengujian Protein Terlarut

Univariate Analysis of Variance

Descriptive Statistics

Dependent Variable: Kadar_protein_wb

Roti Beku	Batch	Mean	Std. Deviation	N
Hari ke-0	Batch 1	1.110000	.0282843	2
	Batch 2	1.110000	.0141421	2
	Total	1.110000	.0182574	4
Hari ke-14	Batch 1	1.105000	.0212132	2
	Batch 2	1.055000	.0070711	2
	Total	1.080000	.0316228	4
Hari ke-28	Batch 1	1.090000	.0141421	2
	Batch 2	1.015000	.0070711	2
	Total	1.052500	.0442531	4
Hari ke-42	Batch 1	1.020000	.0000000	2

	Batch 2	1.015000	.0070711	2
	Total	1.017500	.0050000	4
Hari ke-56	Batch 1	1.020000	.0000000	2
	Batch 2	.980000	.0141421	2
	Total	1.000000	.0244949	4
Hari ke-70	Batch 1	.960000	.0282843	2
	Batch 2	.965000	.0070711	2
	Total	.962500	.0170783	4
Total	Batch 1	1.050833	.0591544	12
	Batch 2	1.023333	.0508712	12
	Total	1.037083	.0557541	24

Post Hoc Tests Roti Beku Homogeneous Subsets

Kadar_protein_wb

Duncan^{a,b}

Roti Beku	N	Subset			
		1	2	3	4
Hari ke-70	4	.962500			
Hari ke-56	4		1.000000		
Hari ke-42	4		1.017500		
Hari ke-28	4			1.052500	
Hari ke-14	4			1.080000	1.080000
Hari ke-0	4				1.110000
Sig.		1.000	.272	.092	.068

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

b. Alpha = .05.

c. Pengujian Tekstur

Univariate Analysis of Variance

Descriptive Statistics

Dependent Variable: Tekstur_kekerasan

Roti Beku	Batch	Mean	Std. Deviation	N
Hari ke-0	Batch 1	7.420000	.2828427	2
	Batch 2	9.980000	.1555635	2
	Total	8.700000	1.4897203	4
Hari ke-14	Batch 1	11.180000	.7071068	2
	Batch 2	11.195000	1.2940054	2
	Total	11.187500	.8514057	4
Hari ke-28	Batch 1	11.545000	.6576093	2
	Batch 2	12.880000	.8061017	2
	Total	12.212500	.9771515	4
Hari ke-42	Batch 1	12.095000	.4171930	2
	Batch 2	14.920000	1.0040916	2
	Total	13.507500	1.7476532	4
Hari ke-56	Batch 1	16.885000	.7000357	2
	Batch 2	17.238000	.2658721	2
	Total	17.061500	.4779634	4
Hari ke-70	Batch 1	16.920000	.4384062	2
	Batch 2	17.975000	.9828784	2
	Total	17.447500	.8701101	4
Total	Batch 1	12.674167	3.5198617	12
	Batch 2	14.031333	3.1509103	12
	Total	13.352750	3.3397845	24

**Post Hoc Tests
Roti Beku
Homogeneous Subsets**

Tekstur_kekerasan

Duncan^{a,b}

Roti Beku	N	Subset			
		1	2	3	4
Hari ke-0	4	8.700000			
Hari ke-14	4		11.187500		
Hari ke-28	4		12.212500		
Hari ke-42	4			13.507500	
Hari ke-56	4				17.061500
Hari ke-70	4				17.447500
Sig.		1.000	.113	1.000	.537

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .751.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

b. Alpha = ,05.

d. Pengujian Tingkat Pengembangan Volume

Univariate Analysis of Variance

Descriptive Statistics

Dependent Variable: TPV awal-kukus

Lama Penyimpanan	Batch	Mean	Std. Deviation	N
Penyimpanan Hari ke-0	1	1.1100	.	1
	2	1.1200	.	1
	Total	1.1150	.00707	2
Penyimpanan Hari ke-14	1	1.1200	.	1
	2	1.1100	.	1
	Total	1.1150	.00707	2
Penyimpanan Hari ke-28	1	1.1000	.	1
	2	1.1200	.	1
	Total	1.1100	.01414	2

Penyimpanan Hari ke-42	1	1.1100	.	1
	2	1.1000	.	1
	Total	1.1050	.00707	2
Penyimpanan Hari ke-56	1	1.1100	.	1
	2	1.1000	.	1
	Total	1.1050	.00707	2
Penyimpanan Hari ke-70	1	1.1000	.	1
	2	1.1000	.	1
	Total	1.1000	.00000	2
Total	1	1.1083	.00753	6
	2	1.1083	.00983	6
	Total	1.1083	.00835	12

Post Hoc Tests

Lama Penyimpanan

Homogeneous Subsets

TPV awal-kukus

Duncan^{a,b}

Lama Penyimpanan	N	Subset
		1
Penyimpanan Hari ke-70	2	1.1000
Penyimpanan Hari ke-42	2	1.1050
Penyimpanan Hari ke-56	2	1.1050
Penyimpanan Hari ke-28	2	1.1100
Penyimpanan Hari ke-0	2	1.1150
Penyimpanan Hari ke-14	2	1.1150
Sig.		.165

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 8.000E-5.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

b. Alpha = .05.

Descriptive Statistics

Dependent Variable: TPV kukus-goreng

Lama Penyimpanan	Batch	Mean	Std. Deviation	N
Penyimpanan Hari ke-0	1	1.2300	.	1
	2	1.2400	.	1
	Total	1.2350	.00707	2
Penyimpanan Hari ke-14	1	1.2200	.	1
	2	1.2300	.	1
	Total	1.2250	.00707	2
Penyimpanan Hari ke-28	1	1.2300	.	1
	2	1.2000	.	1
	Total	1.2150	.02121	2
Penyimpanan Hari ke-42	1	1.2200	.	1
	2	1.2000	.	1
	Total	1.2100	.01414	2
Penyimpanan Hari ke-56	1	1.1700	.	1
	2	1.1800	.	1
	Total	1.1750	.00707	2
Penyimpanan Hari ke-70	1	1.0900	.	1
	2	1.0900	.	1
	Total	1.0900	.00000	2
Total	1	1.1933	.05538	6
	2	1.1900	.05367	6
	Total	1.1917	.05202	12

Post Hoc Tests

Lama Penyimpanan

Homogeneous Subsets

TPV kukus-goreng

Duncan^{a,b}

Lama Penyimpanan	N	Subset		
		1	2	3
Penyimpanan Hari ke-70	2	1.0900		
Penyimpanan Hari ke-56	2		1.1750	
Penyimpanan Hari ke-42	2			1.2100
Penyimpanan Hari ke-28	2			1.2150
Penyimpanan Hari ke-14	2			1.2250
Penyimpanan Hari ke-0	2			1.2350
Sig.		1.000	1.000	.110

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

b. Alpha = .05.

Univariate Analysis of Variance

Descriptive Statistics

Dependent Variable: TPV awal-goreng

Lama Penyimpanan	Batch	Mean	Std. Deviation	N
Penyimpanan Hari ke-0	1	1.3600	.	1
	2	1.3900	.	1
	Total	1.3750	.02121	2
Penyimpanan Hari ke-14	1	1.3600	.	1
	2	1.3600	.	1
	Total	1.3600	.00000	2
Penyimpanan Hari ke-28	1	1.3500	.	1
	2	1.3400	.	1
	Total	1.3450	.00707	2
Penyimpanan Hari ke-42	1	1.3500	.	1
	2	1.3300	.	1

	Total	1.3400	.01414	2
Penyimpanan Hari ke-56	1	1.2900	.	1
	2	1.3000	.	1
	Total	1.2950	.00707	2
Penyimpanan Hari ke-70	1	1.2000	.	1
	2	1.2000	.	1
	Total	1.2000	.00000	2
Total	1	1.3183	.06369	6
	2	1.3200	.06603	6
	Total	1.3192	.06186	12

Post Hoc Tests

Lama Penyimpanan

Homogeneous Subsets

TPV awal-goreng

Duncan^{a,b}

Lama Penyimpanan	N	Subset			
		1	2	3	4
Penyimpanan Hari ke-70	2	1.2000			
Penyimpanan Hari ke-56	2		1.2950		
Penyimpanan Hari ke-42	2			1.3400	
Penyimpanan Hari ke-28	2			1.3450	1.3450
Penyimpanan Hari ke-14	2			1.3600	1.3600
Penyimpanan Hari ke-0	2				1.3750
Sig.		1.000	1.000	.171	.062

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

b. Alpha = .05.

e. Pengujian Sensoris

Univariate Analysis of Variance

Descriptive Statistics

Dependent Variable: Kesukaan rasa

Lama Penyimpanan	Mean	Std. Deviation	N
Penyimpanan hari ke-0	4.27	.785	30
Penyimpanan heri ke-14	4.33	.802	30
Penyimpanan hari ke-28	4.13	1.008	30
Penyimpanan hari ke-42	4.30	.877	30
Penyimpanan hari ke-56	4.07	.907	30
Penyimpanan hari ke-70	4.30	.750	30
Total	4.23	.853	180

Post Hoc Tests

Lama Penyimpanan

Homogeneous Subsets

Kesukaan rasa

Duncan^{a,b}

Lama Penyimpanan	N	Subset
		1
Penyimpanan hari ke-56	30	4.07
Penyimpanan hari ke-28	30	4.13
Penyimpanan hari ke-0	30	4.27
Penyimpanan hari ke-42	30	4.30
Penyimpanan hari ke-70	30	4.30
Penyimpanan heri ke-14	30	4.33
Sig.		.303

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .738.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

b. Alpha = .05.

Univariate Analysis of Variance

Descriptive Statistics

Dependent Variable: Kesukaan warna

Lama Penyimpanan	Mean	Std. Deviation	N
Penyimpanan hari ke-0	4.33	.922	30
Penyimpanan hari ke-14	4.20	.961	30
Penyimpanan hari ke-28	4.23	.774	30
Penyimpanan hari ke-42	4.30	.952	30
Penyimpanan hari ke-56	3.90	1.062	30
Penyimpanan hari ke-70	4.37	.809	30
Total	4.22	.919	180

Post Hoc Tests

Lama Penyimpanan

Homogeneous Subsets

Kesukaan warna

Duncan^{a,b}

Lama Penyimpanan	N	Subset
		1
Penyimpanan hari ke-56	30	3.90
Penyimpanan hari ke-14	30	4.20
Penyimpanan hari ke-28	30	4.23
Penyimpanan hari ke-42	30	4.30
Penyimpanan hari ke-0	30	4.33
Penyimpanan hari ke-70	30	4.37
Sig.		.087

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .844.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

b. Alpha = .05.

Univariate Analysis of Variance

Descriptive Statistics

Dependent Variable: Kesukaan tekstur

Lama Penyimpanan	Mean	Std. Deviation	N
Penyimpanan hari ke-0	4.57	.774	30
Penyimpanan hari ke-14	4.40	.724	30
Penyimpanan hari ke-28	4.33	.758	30
Penyimpanan hari ke-42	4.30	.877	30
Penyimpanan hari ke-56	4.33	.606	30
Penyimpanan hari ke-70	3.87	.900	30
Total	4.30	.797	180

Post Hoc Tests

Lama Penyimpanan

Homogeneous Subsets

Kesukaan tekstur

Duncan^{a,b}

Lama Penyimpanan	N	Subset	
		1	2
Penyimpanan hari ke-70	30	3.87	
Penyimpanan hari ke-42	30		4.30
Penyimpanan hari ke-28	30		4.33
Penyimpanan hari ke-56	30		4.33
Penyimpanan hari ke-14	30		4.40
Penyimpanan hari ke-0	30		4.57
Sig.		1.000	.245

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .607.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

b. Alpha = .05.

Univariate Analysis of Variance

Descriptive Statistics

Dependent Variable: Kesukaan kelembutan

Lama Penyimpanan	Mean	Std. Deviation	N
Penyimpanan hari ke-0	4.33	.922	30
Penyimpanan hari ke-14	4.17	.950	30
Penyimpanan hari ke-28	4.23	.774	30
Penyimpanan hari ke-42	4.30	.952	30
Penyimpanan hari ke-56	3.93	1.081	30
Penyimpanan hari ke-70	4.37	.809	30
Total	4.22	.919	180

Post Hoc Tests

Lama Penyimpanan

Homogeneous Subsets

Kesukaan kelembutan

Duncan^{a,b}

Lama Penyimpanan	N	Subset
		1
Penyimpanan hari ke-56	30	3.93
Penyimpanan hari ke-14	30	4.17
Penyimpanan hari ke-28	30	4.23
Penyimpanan hari ke-42	30	4.30
Penyimpanan hari ke-0	30	4.33
Penyimpanan hari ke-70	30	4.37
Sig.		.114

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .847.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

b. Alpha = .05.

Univariate Analysis of Variance

Descriptive Statistics

Dependent Variable: kesukaan keseluruhan

Lama Penyimpanan	Mean	Std. Deviation	N
Penyimpanan hari ke-0	4.57	.634	28
Penyimpanan heri ke-14	4.57	.634	28
Penyimpanan hari ke-28	4.39	.832	28
Penyimpanan hari ke-42	4.43	.879	28
Penyimpanan hari ke-56	4.46	.508	28
Penyimpanan hari ke-70	3.89	.956	28
Total	4.39	.781	168

Post Hoc Tests

Lama Penyimpanan

Homogeneous Subsets

kesukaan keseluruhan

Duncan^{a,b}

Lama Penyimpanan	N	Subset	
		1	2
Penyimpanan hari ke-70	28	3.89	
Penyimpanan hari ke-28	28		4.39
Penyimpanan hari ke-42	28		4.43
Penyimpanan hari ke-56	28		4.46
Penyimpanan hari ke-0	28		4.57
Penyimpanan heri ke-14	28		4.57
Sig.		1.000	.442

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .573.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 28.000.

b. Alpha = .05.

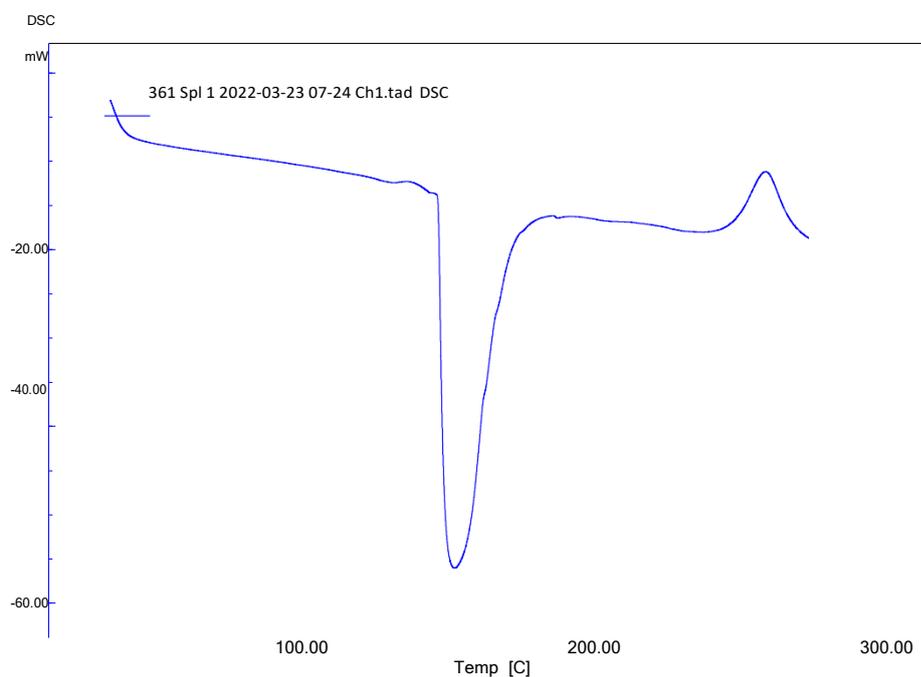
Lampiran 4. Hasil Uji DSC

1. Spl 1

[File Information]		[Temp Prog]	
File Name:	361 Spl 1 2022-03-23 07-24 Ch1.tad	Start Temp [°C]	30
Sample Name:	Spl 1	Temp Rate [°C/min]	10
Lot No:	361	Hold Temp [°C]	300
Acquisition Date	2022/03/23	Hold Time [min]	0
Acquisition Time	07:25:08(+0700)	Gas	Udara
Detector:	DSC-60		
Serial No:	C30935200137SA		
Operator:	Heri		
Atmosphere:	Air		
Flow Rate:	10[ml/min]		
Cell:	Aluminum Seal		
Sample Weight:	10.100[mg]		
Molecular Weight:	0.00		

[Analysis Result]

[DSC Peak]	1	2
Peak		
[°C]	163.30	285.03
Onset		
[°C]	156.99	273.74
Endset		
[°C]	180.48	294.32
Heat		
mJ	-5.23	697.38
J/g	-517.45	69.05
Height		
mW	-47.82	7.93
mW/mg	-4.74	0.78



[File Information]		[Temp Prog]	
File Name:	361 Spl 2 2022-03-23 08-33 Ch1.tad	Start Temp [°C]	30
Sample Name:	Spl 2	Temp Rate [°C/min]	10
Lot No:	361	Hold Temp [°C]	300
Acquisition Date	2022/03/23	Hold Time [min]	0
Acquisition Time	08:37:15(+0700)	Gas	Udara
Detector:	DSC-60		
Serial No:	C30935200137SA		
Operator:	Heri		
Atmosphere:	Air		
Flow Rate:	10[ml/min]		
Cell:	Aluminum Seal		
Sample Weight:	10.300[mg]		
Molecular Weight:	0.00		

[Analysis Result]

[DSC Peak]	1	2
Peak		
[°C]	161.07	285.59
Onset		
[°C]	148.58	275.34
Endset		

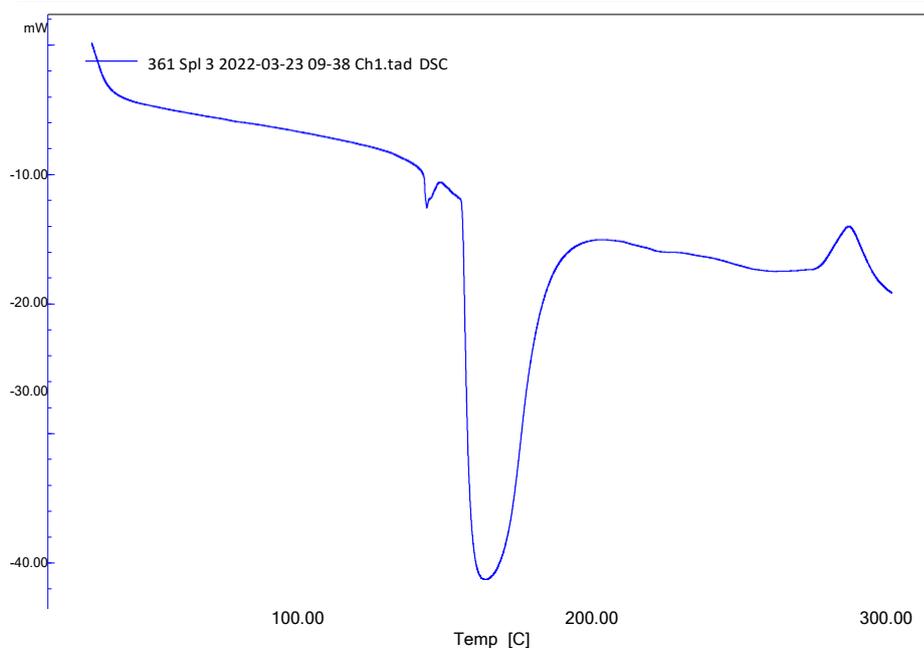
[°C]	174.01	293.27
Heat		
mJ	-5.48	310.66
J/g	-532.37	30.16
Height		
mW	-48.80	4.37
mW/mg	-4.74	0.42



[Analysis Result]

[DSC Peak]	1	2	3
Peak			
[°C]	143.88	163.62	287.21
Onset			
[°C]	142.96	156.02	277.72
Endset			
[°C]	145.14	182.72	295.65
Heat			
mJ	-43.01	-3.54	279.85
J/g	-5.18	-427.04	33.72
Height			
mW	-2.65	-28.69	4.04
mW/mg	-0.32	-3.46	0.49

[File Information]		[Temp Prog]	
File Name:	361 Spl 4 2022-03-23 10-52 Ch1.tad	Start Temp [°C]	30
Sample Name:	Spl 4	Temp Rate [°C/min]	10
Lot No:	361	Hold Temp [°C]	300
Acquisition Date	2022/03/23	Hold Time [min]	0
Acquisition Time	11:01:56(+0700)	Gas	Udara
Detector:	DSC-60		
Serial No:	C30935200137SA		
Operator:	Heri		
Atmosphere:	Air		
Flow Rate:	10[ml/min]		
Cell:	Aluminum Seal		
Sample Weight:	7.400[mg]		
DSC Molecular Weight:	0.00		



[File Information]		[Temp Prog]	
	100.00	200.00	300.00
File Name:	361 Spl 3 2022-03-23 09-38 Ch1.tad	Temp [C]	
Sample Name:	Spl 3	Start Temp [°C]	30
		Temp Rate [°C/min]	10
Lot No:	361	Hold Temp [°C]	300
Acquisition Date	2022/03/23	Hold Time [min]	0
Acquisition Time	09:48:08(+0700)	Gas	Udara
Detector:	DSC-60		

Serial No:	C30935200137SA		
Operator:	Heri		
Atmosphere:	Air		
Flow Rate:	10[ml/min]		
Cell:	Aluminum Seal		
Sample Weight:	8.300[mg]		
Molecular Weight:	0.00		

[DSC Peak]	1	2	3
Peak			
[°C]	145.13	161.06	286.07
Onset			
[°C]	143.20	153.81	275.67
Endset			
[°C]	147.63	178.46	294.15
Heat			
mJ	-17.11	-2.91	442.11
J/g	-2.31	-393.49	59.74
Height			
mW	-0.80	-27.01	5.20
mW/mg	-0.11	-3.65	0.70

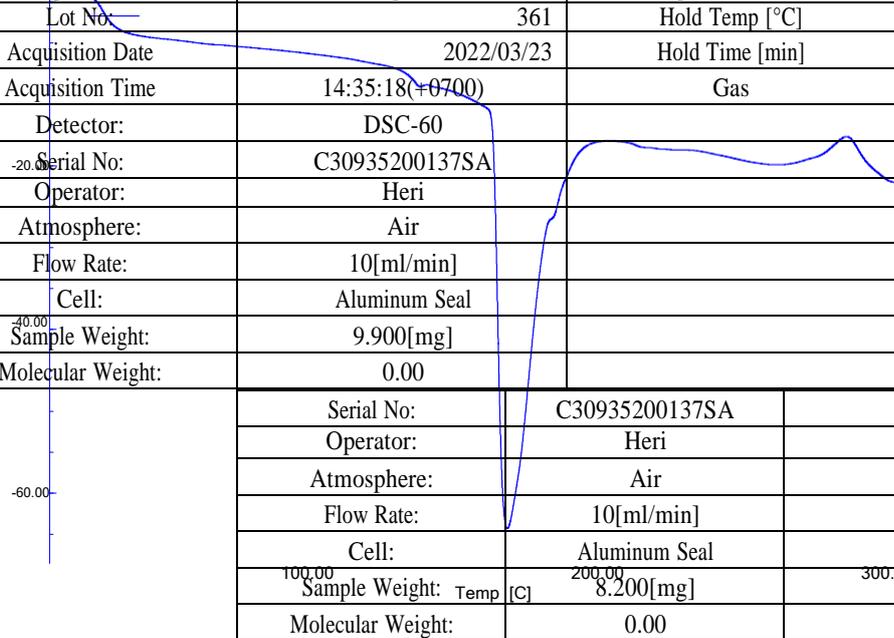
[Analysis Result]

[File Information]		[Temp Prog]	
File Name:	361 Spl 5 2022-03-23 13-18 Ch1.tad	Start Temp [°C]	30
Sample Name:	361 Spl 4 2022-03-23 10-52 Ch1.tad DSC Spl 5	Temp Rate [°C/min]	10
Lot No:	361	Hold Temp [°C]	300
Acquisition Date	2022/03/23	Hold Time [min]	0
Acquisition Time	13:19:07(+0700)	Gas	Udara
Detector:	DSC-60		

-20.00

94

[File Information]		[Temp Prog]	
File Name:	361 Spl 6 2022-03-23 14-20 Ch1.tad	Start Temp [°C]	30
Sample Name:	361 Spl 5 2022-03-23 13-18 Ch1.tad DSC Spl 6	Temp Rate [°C/min]	10
Lot No:	361	Hold Temp [°C]	300
Acquisition Date	2022/03/23	Hold Time [min]	0
Acquisition Time	14:35:18(+0700)	Gas	Udara
Detector:	DSC-60		
Serial No:	C30935200137SA		
Operator:	Heri		
Atmosphere:	Air		
Flow Rate:	10[ml/min]		
Cell:	Aluminum Seal		
Sample Weight:	9.900[mg]		
Molecular Weight:	0.00		



Serial No:	C30935200137SA		
Operator:	Heri		
Atmosphere:	Air		
Flow Rate:	10[ml/min]		
Cell:	Aluminum Seal		
Sample Weight:	8.200[mg]	300.00	
Molecular Weight:	0.00		

[Analysis Result]

[DSC Peak]	1	2	3

Peak			
[°C]	138.91	168.78	285.66
Onset			
[°C]	135.08	163.95	277.68
Endset			
[°C]	141.00	183.59	294.35
Heat			
mJ	-18.23	-4.22	354.92
J/g	-2.22	-514.13	43.28
Height			
mW	-0.73	-50.36	4.31
mW/mg	-0.09	-6.14	0.53

[Analysis Result]

[DSC Peak]	1	2	3
Peak			
[°C]	132.50	164.65	287.12
Onset			
[°C]	123.81	159.12	275.90
Endset			
[°C]	139.17	184.58	294.01
Heat			
mJ	-85.49	-5.79	289.16
J/g	-8.64	-584.39	29.21
Height			
mW	-1.37	-55.43	3.89
mW/mg	-0.14	-5.60	0.39

