**Pengaruh Penggunaan Trehalose Dalam Adonan Beku Dan Waktu Pembekuan Terhadap Viabilitas Yeast Dan Karakteristik Roti Manis**

Effect of trehalose use in the frozen dough and freezing time on yeast viability and sweet bread characteristics

**ABSTRAK**

Trehalosa sebagai krioprotektan dalam adonan beku berfungsi untuk mencegah kerusakan adonan roti saat penyimpanan beku dengan cara melindungi membran ragi dan mencegah melemahnya jaringan gluten. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi penambahan trehalosa yang efektif untuk mempertahankan karakteristik roti manis selama pembekuan. Rancangan percobaan yang digunakan yaitu Rancangan Tersarang (Nested) dengan 2 faktor yaitu penambahan trehalosa (0; 0,1; 0,15 dan 0,2% b/b) dan waktu pembekuan (0, 15, 30, 45 dan 60 hari). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan trehalosa efektif mempertahankan yeast yang hidup sebanyak 4,29%, dimana pada hari ke-0 ragi yang hidup sebanyak 33x106 CFU/g dan pada hari ke-60 ragi yang hidup sebanyak 141,5x106 CFU/g, selain itu juga dapat mempertahankan spread ratio sebanyak 2,4 cm, volume spesifik sebesar 1%, volume pengembangan sebesar 1,6%, dan menurunkan daya tekan sebanyak 0,6 N sehingga roti menjadi semakin lembut. Skor organoleptik untuk rasa agak enak, aroma agak harum, tekstur agak lembut dan warna agak menarik.

**Kata kunci**: Adonan beku; trehalosa; volume spesifik, viabilitas yeast

**ABSTRACT**

Trehalose as a cryoprotectant in the frozen dough is necessary to prevent damage to bread dough during frozen storage by protecting the yeast membrane and also the loss of gluten tissue by replacing the frozen loss. This study discusses the understanding of effective trehalose conversion to maintain the characteristics of sweet bread during freezing. The experimental design used is the Nested Design (Stacked) with 2 factors, namely trehalose approval (0; 0.1; 0.15 and 0.2% w / w) and freezing time (0, 15, 30, 45 and 60 days). The results showed that trehalose was effective in maintaining the viability of live yeast on day 0 of live yeast as much as 33x106 CFU / g and on day 60 of live yeast as much as 141.5x106 CFU / g as much as 4.29% yeast that lived after 60 freezing days. However, it can also maintain a spread ratio of 2.4 cm, a specific volume of 1%, a development volume of 1.6%, and a decrease in compressive power of 0.6 N. Organoleptic score for taste rather good, slightly fragrant aroma, the texture is rather soft, and the color is rather attractive.

**Keywords**: Frozen dough; specific volume; trehalose; yeast viability

**PENDAHULUAN**

Roti manis merupakan salah satu produk bakery yang digemari masyarakat Indonesia karena rasanya yang manis dan bentuknya yang menarik (Halim dkk., 2015; Suryatna, 2015). Menurut Badan Pusat Statistik (2019) tingkat konsumsi roti manis di Indonesia di tahun 2018 ke Maret 2019 terjadi peningkatan 27.1%. Bagi produsen roti manis, tingkat konsumsi roti manis yang meningkat 27.1% (161.8 ton) (Rizka dkk., 2018) perlu diiringi dengan peningkatan efisiensi proses produksi, dan juga meningkatkan mutu produk. Inovasi yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi proses produksi namun tetap menjaga mutu produk adalah pembuatan roti yang dapat mempercepat proses produksi yaitu pembuatan roti dari adonan beku. Belakangan, teknologi roti adonan beku digunakan karena meningkatkan kondisi tenaga kerja di industri roti dan memungkinkan konsumen untuk membeli roti segar (Sasano dkk., 2012). Kelebihan metode adonan beku antara lain lebih menghemat ruang, biaya peralatan dan tenaga kerja, produksi adonan terpusat dan adonan beku mudah didistribusikan (Sze-Yin & Lai-Hoong, 2013).

Beberapa kelemahan pembuatan roti dari adonan beku adalah terbentuknya kristal es dan dehidrasi intraseluler selama proses pembekuan yang dapat mempengaruhi kinerja *yeast* pada adonan (Momose dkk., 2010). Sebagian besar ragi roti mengalami banyak tekanan yaitu pada proses thawing, pengeringan udara, pemanggangan dan konsentrasi sukrosa yang tinggi (Sasano dkk., 2012). Menurut Akbarian dkk. (2015) pembekuan dan thawing merupakan proses yang dapat menurunkan bahkan merusak sel-sel ragi pada adonan. Ragi berperan untuk menghasilkan karbondioksida sehingga adonan dapat mengembang. Oleh karena itu kerusakan sel ragi pada adonan karena proses pembekuan dapat menurunkan karbondioksida sehingga roti tidak dapat mengembang (Meziani dkk., 2012).

Masalah pada adonan beku dapat diatasi dengan penambahan krioprotektan yang diharapkan dapat menjaga kualitas adonan roti dengan mencegah terjadinya kematian *yeast* dan kerusakan granula pati serta melindungi matriks gluten dari kerusakan selama proses penyimpanan beku (Meziani dkk., 2012). Krioprotektan dapat mengurangi terbentuknya kristal es yang menyebabkan ekskresi air keluar dari sel (Momose dkk., 2010), salah satunya adalah trehalosa. Trehalosa memiliki peranan penting pada adonan beku yaitu dapat meningkatkan toleransi stress ragi saat proses pembekuan (Sze-Yin & Lai-Hoong, 2013). Trehalosa diaplikasikan pada roti adonan beku dengan hasil terbaik yaitu dengan konsentrasi trehalosa 800 ppm dengan waktu pembekuan selama 42 hari (Gerardo-Rodríguez dkk., 2017). Pada Chinese Steamed Bread (CSB), penambahan trehalosa dilakukan sebanyak 0,1% dan maltodekstrin sebanyak 2% dengan waktu pembekuan sampai dengan 5 bulan (Sze-Yin & Lai-Hoong, 2013). Namun demikian, aplikasi trehalosa dan pengaruh lama pembekuan pada roti manis Indonesia belum diteliti.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk ~~menyelidiki~~menemukan konsentrasi dan lama penyimpanan beku maksimal yang dapat dilakukan oleh perusahaan rumah tangga. Dengan fokus evaluasi trehalosa sebagai alternatif agen krioprotektan ~~alternatif~~ dalam melindungi yeast, dan mengevaluasi efek penggunaan trehalosa pada beberapa lama waktu penyimpanan.

**METODE PENELITIAN**

**Bahan**

Bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan roti adalah tepung terigu protein tinggi 13,1% (merk cakra kembar), tepung terigu protein sedang 16% (merk segitiga biru), telur, ragi instant, gula, *bread improver*, *emulsifier*, garam, mentega, butter, air es, susu skim, dan *trehalosa* dengan tingkat kemurnian 100% yang diperoleh dari *Swason Health Products* (USA). Bahan kimia yang digunakan adalah media PDA (*Potato Dextrose Agar*) dan aquades.

**Alat**

Alat-alat yang digunakan dalam pembuatan adonan beku dan roti manis adalah *mixer*, *chest freezer*, *proofer* merk GETRA, oven, pisau, loyang, timbangan analitik merk Ohauss, baskom, solet, sendok, timbangan, *texture analyzer* merk Texture Profile Analyzer Shimadzu TPA EZ-SX test model SM-500N-168, jangka sorong, *petridish*, incubator, tabung reaksi dan *colony counter*.

**Analisis Statistik**

Hasil analisis sifat fisik dan mikrobiologi adonan beku dan roti manis dianalisis secara satistik (Anova) menggunakan perangkat lunak Minitab 16 kemudian dilakukan uji lanjut metode DMRT dengan taraf kepercayaan 5%.

**Metode Pembuatan Roti Manis (Damat dkk., 2017 Modifikasi)**

Pembuatan roti manis diawali dengan mencampurkan beberapa bahan kering antara lain tepung terigu, ragi, gula, susu bubuk, *bread improver*, pelembut roti dan trehalosa sesuai dengan formulasi yang sudah ditentukan (Tabel 1.), serta telur dan air, kemudian diaduk dengan *mixer* dengan kecepatan sedang (120 rpm) (selama ±5 menit, kemudian sisa bahan (garam, mentega dan butter) dimasukkan dan diaduk dengan kecepatan tinggi (200rpm) selama ±15 menit atau sampai menjadi kalis. Adonan yang sudah kalis dibagi rata dengan berat 20 g (*dividing*) lalu dibulat-bulatkan *(moulding)* dan didiamkan. Adonan dimasukkan ke dalam loyang plastik kemudian ditutup dengan *plastic wrap* dan penutup loyang dilanjutkan dengan pembekuan cepat dengan suhu -20°C selama 0, 15, 30, 45 dan 60 hari. Setelah penyimpanan dalam freezer, adonan beku dilanjutkan dengan proses *thawing* menggunakan *proofer* (T=30°C, t=1 jam) setelah itu dilanjutkan dengan fermentasi (*proofing*) menggunakan *proofer* (T=40°C, t=1 jam, RH=80-85%). Selanjutnya, adonan dioven pada suhu 180°C selama 10 menit sampai warna roti manis menjadi kuning kecoklatan. Formula penambahan trehalosa pada adonan beku roti manis dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Formulasi Penambahan Trehalosa (%) pada Adonan Beku Roti Manis

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Komposisi (%) | T0 | T1 | T2 | T3 |
| Tepung Terigu Protein Tinggi | 80 | 80 | 80 | 80 |
| Tepung Terigu Protein Rendah | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Margarin | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Butter | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Telur | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Susu Bubuk | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Gula Pasir | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Bread Improver | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Emulsifier | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Yeast | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Air | 45 | 45 | 45 | 45 |
| Garam | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| Trehalosa | 0 | 0,1 | 0,15 | 0,2 |

## Spread Ratio (Sze-Yin & Lai-Hoong, 2013)

Roti manis yang telah dipanggangdiukur tinggi dan lebar (adonan) dengan menggunakan penggaris, pengukuran dilakukan pada tiga tempat berbeda, kemudian hasilnya dirata-rata. Rasio penyebaran dihitung dengan membagi antara lebar roti dengan tingginya.

**Volume Spesifik Roti (Almeida dkk., 2013)**

Pengukuran volume spesifik roti menggunakan metode pemindahan biji, dimana pada penelitian ini digunakan biji wijen. Roti manis ditimbang setelah didiamkan selama 1 jam setelah pemanggangan. Roti dimasukkan dalam wadah yang terdapat volume lalu ditutup dengan biji wijen sampai volume penuh. Volume biji yang tergantikan (volume roti) oleh roti dicatat, volume spesifik dihitung dengan rumus :

**Daya Potong Roti (Bhat dkk., 2015)**

Pengukuran daya potong roti atau *hardness* dilakukan dengan menggunakan texture analyzer (TA HD Plus) dengan prinsip pengukuran gaya potong. Roti manis diukur ketebalan dan diameternya kemudian diletakkan diatas meja sampel texture analyzer yang telah dipasang knife probe. Texture Analyzer diatur mode : test (Normal), Trigger (0,5 g), Deformation (30 mm), Speed (0,5 mm/s). Kompresi menghasilkan kurva antara kekuatan jarak dan nilai puncak pertama tertinggi dengan pecah atau terbelahnya potongan roti pada satu titik dan nilai gaya yang sesuai diambil sebagai pengukuran kekerasan.

**Daya Tekan Roti (Feili, 2013)**

Sebelum dilakukan pengukuran daya tekan, roti bagian tengah dipotong dadu dengan ukuran 2x2x2 cm kemudian diletakkan dibawah probe (p/36 probe silinder (36mm)). Analisis ini menggunakan sel beban 5 kg dan sampel dikompresi hingga 45% dari ketinggian aslinya. Strain yang diperlukan untuk kompresi 45% Texture Analyzer diatur mode: kecepatan pretest: 1,0 mm/dt, kecepatan pengujian: 1,7 mm/s, kecepatan post test: 10 m/s, jarak kompresi: 25% dan tipe pemicu: otomatis 5 g. Nilai yang dilaporkan adalah rata-rata dari tiga bacaan. Data dianalisis menggunakan software Tekstur Versi 1.05 (Stable Micro system Ltd).

**Volume Pengembangan (Imami & Sutrisno, 2018)**

Pengukuran volume pengembangan dilakukan pada adonan sebelum proofing dan adonan yang telah dipanggang. Adonan sebelum proofing dan telah dipanggang diukur jari-jarinya secara horizontal dengan menggunakan jangka sorong, kemudian masing-masing dihitung volumenya dengan rumus setengah bola. Volume pengembangan dihitung dengan rumus :

**Viabilitas Yeast (Rosli dkk., 2019 Modifikasi)**

Alat-alat dan media potato dextrose agar (PDA) disterilkan menggunakan autoklaf (121oC, 15 menit). Adonan roti sebanyak 1 gram diencerkan dalam tabung reaksi berisi 9ml aquades yang telah disterilkan. Pengenceran dilakukan hingga tingkat 6 (10-6). Isolate yeast sebanyak 1ml dari pengenceran ke-6 dipindahkan pada media PDA dengan menggunakan metode spread plate. Setelah itu dilakukan inkubasi dengan suhu 35oC selama 48 jam. Setelah inkubasi dilakukan perhitungan dengan menggunakan *colony counter.*

**Intensitas Warna (Almeida dkk., 2013)**

Pengukuran warna *crust* dan *crumb* roti dilakukan dengan menggunakan *color reader*, dimana roti diukur warnanya berdasarkan tingkat kecerahan (L), hijau atau merah (a), dan biru atau kuning (b).

## Uji Organoleptik (Damat dkk., 2017; Pusuma dkk., 2018)

Uji organoleptik dilakukan untuk mengetahui tingkat kesukaan atau kelayakan suatu produk agar dapat diterima oleh panelis atau konsumen. Metode pengujian yang dilakuakan adalah metode hedonik (uji kesukaan) meliputi warna, aroma, tekstur dan rasa dari roti manis. Dalam metode hedonik ini, panelis diminta memberikan penilaian berdasarkan tingkat kesukaan. Skor yang digunakan adalah 7 (sangat suka), 6 (suka), 5 (agak suka), 4 (netral), 3 (agak tidak suka), 2 (tidak suka), 1 (sangat tidak suka). Penilaian organoleptik ini dilakukan oleh 25 orang panelis.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Viabilitas Yeast**

Penggunaan trehalosa dan waktu pembekuan yang berbeda berpengaruh nyata terhadap viabilitas *yeast* adonan beku roti manis (*p*<0,05). Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah yeast pada adonan tanpa penambahan trehalosa dan tanpa penyimpanan beku yaitu 45x106 CFU/g dan menurun setelah 60 hari pembekuan menjadi 33x106 CFU/g (Gambar 1). Namun, setelah penambahan trehalosa sebanyak 0,2% dengan pembekuan selama 60 hari jumlah yeast yang hidup sebanyak 141,5x106 CFU/g. Viabilitas *yeast* pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian Meziani dkk. (2012) bahwa dengan penggunaan *simple yeasted dough* pada adonan manis, semakin lama waktu pembekuan maka viabilitas *yeast* akan semakin menurun, yaitu pada hari ke 0 sebanyak 10x106 CFU/g dan pada hari ke 60 menurun menjadi 6,5x106 CFU/g.

Gambar 1. Grafik Viabilitas Yeast Roti Manis dengan Penambahan Trehalosa dan Waktu Pembekuan yang Berbeda

Penambahan trehalosa dapat mempengaruhi viabilitas *yeast* roti manis, semakin tinggi penambahan trehalosa maka viabilitas *yeast* akan meningkat. Penambahan trehalosa 0,2% memiliki viabilitas yeast lebih tinggi dibandingkan dengan penambahan trehalosa 0%, 0,1% dan 0,15% pada hari yang sama. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Mellado dan Chang ( 2003) bahwa viabilitas *yeast* adonan roti manis dengan konsentrasi trehalosa 5% pada hari ke 0 yaitu 950x104 CFU/g dan menurun pada hari ke 45 yaitu 763x104 CFU/g, sedangkan viabilitas *yeast* adonan manis roti dengan konsentrasi trehalosa 10% pada hari ke 0 yaitu 1033x104 CFU/g dan menurun pada hari ke 45 yaitu 957x104 CFU/g. Viabilitas yeast roti manis dengan penambahan trehalosa 0,2% setelah 60 hari pembekuan yaitu 141,5 CFU/g sedangkan tanpa penambahan trehalosa yaitu 33 CFU/g.

Meningkatnya viabilitas *yeast* dikarenakan sifat trehalosa yang dapat melindungi sel ragi saat proses pembekuan. Penambahan trehalosa dapat mengurangi bahkan mencegah jumlah ragi yang mati. Salah satu penyebab kematian ragi saat proses pembekuan adalah terbentuknya kristal es yang besar. Kristal es yang besar dapat menyebabkan kerusakan ragi. Fluktuasi suhu yang parah selama penyimpanan beku dan transportasi juga menyebabkan peningkatan ukuran kristal es sehingga mengakibatkan kerusakan beku pada ragi (Shi dkk., 2013). Menurut Sze-Yin & Lai-Hoong (2013) penambahan trehalosa sebagai krioprotektan memiliki peranan penting pada adonan beku yaitu dapat meningkatkan toleransi *stress* ragi saat proses pembekuan. Kristal es besar yang terbentuk karena pembekuan lambat dapat merusak sel membran ragi.

**Spread Ratio**

Rasio penyebaran merupakan perbandingan antara tinggi dengan luas roti manis, semakin tinggi nilai rasio penyebaran maka semakin bagus kualitas roti manis (Dogan dkk, 2010). Perlakuan konsentrasi trehalosa dan waktu pembekuan yang berpengaruh nyata terhadap rasio penyebaran roti manis (*p*<0,05) (Gambar 2). Penambahan trehalosa 0,15% lebih efektif dalam mempertahankan spread ratio roti manis pada waktu pembekuan 15 hari sebanyak 2,4 cm daripada roti manis dengan penambahan trehalosa 0,1%. Spread ratio roti manis dengan penambahan trehalosa 0,15% setelah pembekuan 15 hari yaitu 10,9 cm sedangkan dengan penambahan trehalosa 0,1% yaitu 8,5 cm.

Gambar 2. Grafik Spread Ratio Roti Manis dengan Penambahan Trehalosa dan Waktu Pembekuan yang Berbeda

Rasio penyebaran roti manis pada penelitian ini mengalami penurunan seiring dengan lamanya waktu pembekuan adonan roti manis. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Sze-Yin & Lai-Hoong (2013) bahwa rasio penyebaran Chinese Steamed Bread (CSB) dari adonan beku dengan penambahan trehalosa sebanyak 0, 0,1 dan 0,2% dan maltodekstrin sebanyak 0, 1 dan 2% serta waktu pembekuan selama 1, 3 dan 5 bulan menurun secara signifikan seiring dengan lamanya waktu pembekuan*.* Rasio penyebaran pada penelitian Sze-Yin & Lai-Hoong (2013) ini lebih rendah dibandingkan rasio penyebaran roti manis pada penelitian ini, rasio penyebaran tertinggi yaitu 2. Penambahan trehalosa pada roti manis dari adonan beku dapat meningkatkan rasio penyebaran, hal ini sesuai dengan hasil penelitian Sze-Yin & Lai-Hoong (2013) bahwa pada penambahan trehalosa sebesar 0,2% dengan waktu pembekuan 1 bulan menghasilkan rasio penyebaran 1,95, hasil ini lebih tinggi dari penambahan trehalosa 0,1% yaitu sebeasar 1,8.

Menurut Dogan dkk. (2010) tingginya rasio penyebaran berkaitan dengan adonan gandum yang lebih menyebar yaitu berasal dari kekentalan adonan. Penurunan rasio penyebaran disebabkan oleh turunnya elastisitas adonan, hal ini disebabkan oleh meningkatnya kekakuan adonan selama penyimpanan beku. Selain itu juga disebabkan oleh degradasi fisik pada molekul gluten (Sze-Yin & Lai-Hoong, 2013). Menurut Sze-Yin & Lai-Hoong (2013), proses pembekuan dapat mengakibatkan hilangnya kandungan air sehingga adonan menjadi kaku, molekul gluten yang kering akibat proses pembekuan kemungkinan tidak mudah tegang selama proses *proofing* dan pemanggangan untuk mempengaruhi kenaikan adonan secara merata.

**Volume Spesifik**

Penambahan trehalosa dan waktu pembekuan berpengaruh nyata (*p*<0,05) terhadap volume spesifik roti manis (Gambar 3). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Gerardo-Rodríguez dkk. (2017) yang menyatakan bahwa penambahan trehalosa dan waktu pembekuan yang berbeda berpengaruh terhadap volume spesifik roti manis secara signifikan. Volume spesifik roti manis tertinggi pada perlakuan Trehalosa 0,2% dan waktu pembekuan 30 hari yaitu 5,8 ml/g, sedangkan volume spesifik roti manis terendah pada perlakuan trehalosa 0% dan waktu pembekuan 60 hari yaitu 3,9 ml/g. Penambahan trehalosa 0,2% dengan waktu pembekuan 30 hari efektif untuk meningkatkan volume spesifik roti manis sebanyak 1 ml/g dibandingkan dengan penambahan trehalosa 0,15% dan pelakuan lainnya. Volume spesifik roti manis dengan penambahan trehalosa 0,2% setelah 30 hari pembekuan yaitu 5,8 ml/g sedangkan dengan penambahan trehalosa 0,15% hanya 4,8 ml/g.

Gambar 3. Grafik Volume Spesifik Roti Manis dengan Penambahan Trehalosa dan Waktu Pembekuan yang Berbeda

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi trehalosa maka volume spesifik roti manis juga semakin meningkat. Hasil ini sejalan dengan laporan Gerardo-Rodríguez dkk (2017) yaitu semakin tinggi penambahan trehalosa menghasilkan volume spesifik roti dari adonan beku semakin meningkat, volume spesifik roti dari adonan beku dengan penambahan trehalosa sebanyak 0, 400 dan 800 ppm secara signifikan meningkat dari 3,5-4 cm3/g. Hal ini dikarenakan dengan semakin tinggi konsentrasi trehalosa maka ragi lebih terlindungi saat proses pembekuan. Menurut Sze-Yin & Lai-Hoong (2013) penambahan trehalosa sebagai krioprotektan memiliki peranan penting pada adonan beku yaitu dapat meningkatkan toleransi *stress* ragi saat proses pembekuan. Semakin lama waktu pembekuan maka semakin menurun volume spesifik roti manis. Hal tersebut dikarenakan semakin lama waktu pembekuan maka banyak ragi yang mengalami kematian. Proses pembekuan dapat mengakibatkan terganggunya metabolisme sel ragi yang bertahan serta penurunan aktivitas ragi (Akbarian dkk., 2015). Hal ini sesuai dengan pernyataan Sze-Yin & Lai-Hoong (2013) bahwa penyimpanan beku dapat menurunkan volume spesifik *Chinese Steamed Bread* dari adonan beku secara signifikan, volume spesifik CSB dengan penambahan trehalosa 0,2% dan maltodekstrin 2% dengan waktu pembekuan 0, 1,3 dan 5 bulan berturut-turut adalah 4 ml/g, 3 ml/g, 2,9 ml/g dan 2,4 ml/g. Hasil tersebut lebih rendah dibandingkan volume spesifik roti manis pada penelitian ini. Selain itu juga terdapat interaksi antara trehalosa dengan waktu pembekuan adonan terhadap volume spesifik.

Penurunan volume spesifik diakibatkan matinya sel ragi selama proses pembekuan adonan. Kristal es besar yang terbentuk selama pembekuan dapat merusak sel membran ragi. Kemudian, mengakibatkan terganggunya metabolisme sel ragi yang bertahan serta penurunan aktivitas ragi (Akbarian dkk., 2015). Selanjutnya, proses pembekuan dan *thawing* merupakan tahapan yang dapat menyebabkan kerusakan sel-sel ragi dan menurunkan kemampuan ragi yang lebih parah (Akbarian dkk., 2015). Dengan penambahan krioprotektan kedua fase ini dapat dihindari dengan cara melindungi ragi selama proses pembekuan. Menurut Momose dkk (2010), krioprotektan berfungsi untuk melindungi matriks gluten dari kerusakan serta mengurangi terjadinya kematian ragi dengan cara mengurangi terbentuknya kristal es dengan cara mengekskresi air keluar dari sel.

Penambahan trehalosa sebagai krioprotektan dapat meningkatkan toleransi *stress* ragi saat proses pembekuan (Sze-Yin & Lai-Hoong, 2013). Menurut Kontogiorgos dkk. (2008) dan Leray dkk. (2010) menyatakan bahwa kristal es dalam jumlah tinggi dapat mempengaruhi kemampuan jaringan gluten dalam mempertahankan gas. Trehalosa memiliki kemampuan untuk meningkatkan kemampuan retensi gas dari jaringan gluten karena sifatnya yang dapat menurunkan titik beku, sehingga dapat mencegah terjadinya kristalisasi air yang merusak jaringan gluten. Hal ini sesuai Lerbret dkk. (2005), trehalosa mencegah terjadinya kristalisasi air. Kim dkk. (2008) menyatakan bahwa trehalosa meningkatkan viabilitas sel-sel ragi serta kemampuan retensi gas dari jaringan gluten untuk memastikan gas yang terperangkap tidak hilang pada saat *proofing* dan pemanggangan yang dapat mempengaruhi volume roti.

**Volume Pengembangan**

Roti manis dengan penambahan trehalosa dengan konsentrasi yang berbeda berpengaruh nyata (*p*<0,05) terhadap volume pengembangan roti manis (Gambar 4). Hal ini sesuai dengan pernyataan Sze-Yin & Lai-Hoong (2013) bahwa penyimpanan beku dapat menurunkan volume pengembangan *Chinese Steamed Bread* dari adonan beku secara signifikan, selain itu juga terdapat interaksi antara trehalosa dengan waktu pembekuan adonan terhadap volume pengembangan. Konsentrasi penambahan trehalosa yang semakin tinggi dapat meningkatkan volume spesifik. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Gerardo-Rodríguez dkk., (2017) bahwa semakin tinggi konsentrasi trehalosa maka volume spesifik roti dari adonan beku semakin meningkat, volume spesifik roti dari adonan beku dengan penambahan trehalosa sebanyak 0, 400 dan 800 ppm secara signifikan meningkat dari 3,5-4 cm3/g. Penambahan trehalosa 0,2% dengan waktu pembekuan 45 hari efektif untuk meningkatkan volume pengembangan roti manis sebanyak 1,6% dibandingkan tanpa penambahan trehalosa. Volume pengembangan roti manis dengan penambahan trehalosa 0,2% setelah 45 hari pembekuan yaitu 7,2% sedangkan tanpa penambahan trehalosa hanya 5,6%.

Gambar 4.Grafik Volume Pengembangan Roti Manis dengan Penambahan Trehalosa dan Waktu Pembekuan yang Berbeda.

Proses pengembangan roti berkaitan dengan gas CO2 yang dihasilkan ragi saat proses fermentasi. Hal ini sesuai dengan pernyataan Ali dkk. (2012) bahwa ragi mengubah gula dalam adonan menjadi karbondioksida dan alkohol. Gelembung gas karbondioksida inilah yang menyebabkan adonan mengembang. Proses pembekuan dapat menyebabkan tekanan pada ragi sehingga sel ragi mengalami lisis. Penambahan trehalosa sebagai krioprotektan memiliki peranan penting pada adonan beku yaitu dapat meningkatkan toleransi *stress* ragi saat proses pembekuan Sze-Yin & Lai-Hoong (2013). Volume pengembangan roti manis dari adonan beku dipengaruhi oleh jumah gas hasil fermentasi yeast yang dihasilkan saat *proofing*. Pada proses pembekuan, banyak sel ragi yang mengalami kematian. Salah satu penyebab kematian ragi saat proses pembekuan adalah terbentuknya kristal es yang besar. Hal ini sesuai dengan pernyataan Shi dkk. (2013) bahwa fluktuasi suhu yang parah selama penyimpanan dan transportasi menyebabkan peningkatan ukuran kristal es sehingga mengakibatkan kerusakan beku pada ragi. Selain itu, hilangnya kekuatan jaringan gluten akibat proses pembekuan dapat mengakibaktkan rendahnya karbondioksida Meziani dkk. (2012). Menurut Rauf dan Andini (2019) lamanya pencampuran adonan juga mempengaruhi pengembangan roti. Lamanya pencampuran adonan dapat mempengaruhi strain adonan, karena berhubungan dengan terbentuknya jaringan gluten. Menurut Meerts dkk. (2017), singkatnya pencampuran adonan menyebabkan jaringan gluten yang terbentuk tidak maksimal sehingga saat adonan meregang mudah putus. Sedangkan pencampuran adonan yang terlalu lama mengakibatkan depolimerisasi gluten atau mengalami kerusakan (Rauf & Andini, 2019).

**Daya Tekan**

Roti manis dengan penambahan trehalosa dengan berbagai konsentrasi ~~yang berbeda~~ tidak ~~berpengaruh~~ berbeda nyata (*p*>0,05) terhadap daya tekan roti manis (Gambar 5). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Gerardo-Rodríguez dkk., (2017) bahwa konsentrasi trehalosa dan penyimpanan beku berpengaruh nyata (p<0,01). Semakin lama waktu pembekuan adonan maka daya tekan roti manis juga semakin tinggi yang menandakan bahwa roti menjadi semakin keras akibat hilangnya air dari adonan saat proses pembekuan dan *thawing*. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Parwiyanti dkk. (2019) bahwa nilai tekstur yang semakin tinggi maka tekstur roti menjadi semakin keras. Sze-Yin & Lai-Hoong (2013) menyatakan bahwa semakin lama waktu pembekuan maka daya tekan atau kekerasan akan meningkat dan semakin tinggi konsentrasi trehalosa maka tekstur akan menurun.

Gambar 5. Daya Tekan Roti Manis dengan Penambahan Trehalosa dan Waktu Pembekuan yang Berbeda

Penambahan trehalosa 0,2% dengan waktu pembekuan 45 hari efektif untuk menurunkan daya tekan roti manis sebanyak 0,6 N dibandingkan tanpa penambahan trehalosa. Semakin tinggi daya tekan roti manis maka tekstur roti akan semakin keras. Daya tekan roti manis dengan penambahan trehalosa 0,2% setelah 45 hari pembekuan yaitu 0,3 N sedangkan tanpa penambahan trehalosa mencapai 0,9 N. ~~D~~aya tekan roti manis pada penelitian ini lebih rendah dari hasil penelitian Sze-Yin & Lai-Hoong (2013), sehingga daya tekan roti yang dihasilkan lebih baik. Meningkatnya kekerasan roti manis disebabkan oleh air yang sebelumnya terikat oleh protein dan pati telah keluar dari adonan saat proses *thawing* dan tidak dapat kembali ke tempat asalnya Gerardo-Rodríguez dkk., (2017). Trehalosa dapat menyerap air dan mencegah penyebaran (Bar, 2000). Penyimpanan beku dapat mengakibatkan hancurnya remah (*crumb*), terbentuknya kristal es yang besar dan kehilangan air pada saat proses *thawing* Gerardo-Rodríguez dkk., (2017).

**Daya Potong**

Hasil penelitian menunjukkan semakin lama waktu pembekuan adonan maka daya potong roti semakin besar yang berarti roti menjadi semakin keras (Gambar 6). Sze-Yin & Lai-Hoong (2013) menyatakan bahwa kekerasan CSB meningkat seiring dengan lamanya waktu pembekuan adonan.

Gambar 6. Grafik Daya Potong Roti Manis dengan Penambahan Trehalosa dan Waktu Pembekuan yang Berbeda

Menurut Gerardo-Rodríguzez dkk., (2017) meningkatnya kekerasan roti manis disebabkan oleh air yang sebelumnya terikat oleh protein dan pati telah keluar dari adonan saat proses *thawing* dan tidak dapat kembali ke tempat asalnya. Selain itu daya potong roti juga dipengaruhi oleh besarnya pori-pori pada *crumb* roti. Banyaknya ragi yang mati akibat proses pembekuan dapat menyebabkan kecilnya pori-pori yang terbentuk saat proses fermentasi. Proses pembekuan menyebabkan menurunnya kekuatan gluten untuk menahan karbondioksida hasil fermentasi. Penambahan krioprotektan yang sesuai dapat mengontrol pelelehan es dan rekristalisasi pada adonan saat penyimpanan beku, sedangkan penambahan krioprotektan yang terlalu banyak dapat menyebabkan kerusakan pada tekstur roti (Sze-Yin & Lai-Hoong, 2013).

**Intensitas Warna *Crust***

Penambahan trehalosa dan waktu pembekuan berpengaruh nyata (*p*<0,05) terhadap tingkat kecerahan (L) dan tidak berpengaruh nyata terhadap tingkat kemerahan (a) dan tingkat kekuningan (b) *crust* roti manis (Tabel 2).

**Tabel 2. Intensitas Warna *Crust* Roti Manis dengan Penambahan Trehalosa dan Waktu Pembekuan yang Berbeda**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Perlakuan | | Intensitas Warna *Crust* | | |
| Konsentrasi Trehalosa | Waktu Pembekuan | L | a | b |
| T0 (Trehalosa0,0% ) | P0 (0 hari) | 60,3 a | +3,7 a | +24,7 a |
| P1 (15 hari) | 55,8 abc | +5,3 a | +21,9 a |
| P2 (30 hari) | 56,8 abc | +6,1 a | +23,6 a |
| P3 (45 hari) | 53,9 bc | +6,8 a | +21,4 a |
| P4 (60 hari) | 52,6 c | +7,4 a | +22,2 a |
| T1 (Trehalosa0,1% ) | P0 (0 hari) | 56,4 abc | +7,3 a | +23,6 a |
| P1 (15 hari) | 58,0 abc | +6,6 a | +23,9 a |
| P2 (30 hari) | 55,6 abc | +6,0 a | +22,3 a |
| P3 (45 hari) | 53,9 bc | +6,8 a | +21,4 a |
| P4 (60 hari) | 54,1 bc | +8,1 a | +21,9 a |
| T2 (Trehalosa0,15%) | P0 (0 hari) | 56,4 abc | +6,3 a | +22,8 a |
| P1 (15 hari) | 57,9 abc | +4,4 a | +22,0 a |
| P2 (30 hari) | 53,9 bc | +6,2 a | +21,6 a |
| P3 (45 hari) | 55,6 abc | +6,8 a | +23,4 a |
| P4 (60 hari) | 53,7 bc | +7,7 a | +22,3 a |
| T3 (Trehalosa0,2% ) | P0 (0 hari) | 57,8 abc | +5,3 a | +23,8 a |
| P1 (15 hari) | 59,0 ab | +5,3 a | +23,1 a |
| P2 (30 hari) | 54,5 bc | +5,5 a | +21,3 a |
| P3 (45 hari) | 55,4 abc | +5,3 a | +20,9 a |
| P4 (60 hari) | 56,0 abc | +7,2 a | +22,8 a |

Keterangan : Huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang signifikan (*p*>0,05)

Hasil penelitian ini hampir sama dengan hasil penelitian Phimolsiripol dkk. (2012) bahwa *crust* roti memiliki tingkat kecerahan antara 61,56-76,12 sedangkan tingkat kemerahan antara 1,62-7,73 dan tingkat kekuningan antara 14,93-28,49. Penambahan trehalosa tidak dapat mempengaruhi warna roti manis karena tidak ikut berperan dalam reaksi Maillard. Hal ini sesuai dengan pernyataan Gerardo-Rodríguez dkk. (2017), bahwa trehalosa tidak akan mempengaruhi warna roti karena tidak ikut berpartisipasi pada reaksi Maillard. Proses pembekuan dapat menghilangkan kandungan air dalam adonan sehingga roti yang yang telah dipanggang memiliki warna yang lebih gelap. Hal ini sesuai dengan pernyataan Topaloglu (2015) bahwa setelah 7 hari penyimpanan beku produk dapat meningkatkan hilangnya kandungan air dalam adonan.

**Intensitas Warna *Crumb***

Perlakuan konsentrasi trehalosa dan waktu pembekuan yang berbeda berpengaruh nyata (*p*<0,05) terhadap tingkat kecerahan (L) dan tingkat kemerahan (a) *crumb* roti manis namun tidak berpengaruh nyata (p>0,01) terhadap tingkat kekuningan (b) (Tabel 3). Nilai b *crust* roti manis lebih cenderung ke nilai positif yang berarti menunjukkan warna kekuningan.

**Tabel 3. Intensitas Warna *Crust* Roti Manis dengan Penambahan Trehalosa dan Waktu Pembekuan yang Berbeda**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Perlakuan | | Intensitas Warna *Crumb* | | |
| Konsentrasi Trehalosa | Waktu Pembekuan | L | a | b |
| T0 (Trehalosa0,0% ) | P0 (0 hari) | 56,1 ab | +0 ab | +14,4 a |
| P1 (15 hari) | 55,2 ab | -0,4 ab | +14,8 a |
| P2 (30 hari) | 55,4 ab | -0,9 b | +14,3 a |
| P3 (45 hari) | 57,1 ab | -0,5 ab | +14,4 a |
| P4 (60 hari) | 57,9 ab | -0,3 ab | +15,1 a |
| T1 (Trehalosa0,1% ) | P0 (0 hari) | 56,9 ab | -0,1 ab | +15,0 a |
| P1 (15 hari) | 57,0 ab | -0,5 ab | +13,0 a |
| P2 (30 hari) | 56,9 ab | -0,8 ab | +14,6 a |
| P3 (45 hari) | 57,5 ab | -0,6 ab | +13,5 a |
| P4 (60 hari) | 58,1 ab | -0,2 ab | +13,8 a |
| T2 (Trehalosa0,15%) | P0 (0 hari) | 53,0 b | +0,6 a | +14,1 a |
| P1 (15 hari) | 54,0 ab | -0,4 ab | +14,1 a |
| P2 (30 hari) | 56,6 ab | -0,9 ab | +15,4 a |
| P3 (45 hari) | 59,1 a | -0,5 ab | +15,9 a |
| P4 (60 hari) | 56,4 ab | -0,8 ab | +14,7 a |
| T3 (Trehalosa0,2% ) | P0 (0 hari) | 57,5 ab | +0 ab | +14,8 a |
| P1 (15 hari) | 57,1 ab | -0,8 ab | +13,2 a |
| P2 (30 hari) | 54,0 ab | -0,8 ab | +13,3 a |
| P3 (45 hari) | 56,0 ab | -0,6 ab | +15,1 a |
| P4 (60 hari) | 56,6 ab | -0,2 ab | +13,1 a |

Keterangan : Huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang signifikan (*p*>0,05)

Penambahan trehalosa tidak dapat mempengaruhi warna roti manis karena tidak ikut berperan dalam reaksi Maillard. Proses pembekuan dapat menghilangkan kandungan air dalam adonan sehingga roti yang yang telah dipanggang memiliki warna yang lebih gelap. Hal ini sesuai dengan pernyataan Topaloglu (2015) bahwa setelah 7 hari penyimpanan beku produk dapat meningkatkan hilangnya kandungan air dalam adonan.

**Organoleptik**

Perlakuan konsentrasi trehalosa dan waktu pembekuan tidak berpengaruh nyata (p>0,05) terhadap sifat organoleptik roti manis baik dari segi rasa, aroma, tekstur dan warna (Tabel 4). Hasil analisa organoleptik terhadap rasa menunjukkan bahwa perlakuan penambahan trehalosa pada adonan beku menghasilkan roti dengan rasa agak enak atau cukup enak sampai enak (skor 4,5-5,7). Skor rasa roti manis pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian N.T.Thuy. & N.N.M. (2017), bahwa rasa roti dari adonan beku memiliki skor rasa antara 3- 4,3.

**Tabel 4. Rerata Skor Organoleptik Roti Manis dengan Penambahan Trehalosa dan Waktu Pembekuan yang Berbeda**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **%Trehalosa** | **Waktu Pembekuan (Hari)** | **Rasa** | **Aroma** | **Tekstur** | **Warna** |
| 0 | 0 | 4,8+0,21 | 4,5+0,47 | 5,0+0,21 | 4,5+0,07 |
| 15 | 5,0+0,07 | 4,3+0,26 | 4,4+0,28 | 4,8+0,05 |
| 30 | 5,2+0,12 | 4,4+0,16 | 4,7+0,14 | 4,7+0,19 |
| 45 | 5,1+0,02 | 4,7+0,19 | 4,7+0,02 | 4,6+0,52 |
| 60 | 4,5+ 0,07 | 4,2+0,49 | 4,1+0,21 | 5,3+0,33 |
| 0,1 | 0 | 5,4+0,33 | 5,0+0,21 | 4,6+0,62 | 5,3+0,26 |
| 15 | 5,3+0,54 | 5,0+0,07 | 5,0+0,12 | 5,4+0,57 |
| 30 | 5,3+0,30 | 4,9+0,14 | 4,9+0,78 | 5,3+0,42 |
| 45 | 5,7+0,35 | 5,0+0,05 | 5,1+0,76 | 5,3+0,21 |
| 60 | 5,1+0,47 | 4,7+0,19 | 4,7+0,19 | 5,3+0,71 |
| 0,15 | 0 | 5,2+0,33 | 4,9+0,07 | 5,0+0,05 | 5,1+0,14 |
| 15 | 5,2+0,16 | 4,7+0,02 | 4,7+0,02 | 4,8+0,33 |
| 30 | 5,1+0,14 | 4,7+0,26 | 4,9+0,30 | 4,9+0,26 |
| 45 | 4,5+0,02 | 4,7+0,02 | 5,0+0,69 | 4,6+0,35 |
| 60 | 4,8+0,16 | 4,2+0,40 | 4,4+0,07 | 4,6+0,28 |
| 0,2 | 0 | 5,2+0,73 | 4,9+0,42 | 4,4+0,40 | 5,2+0,62 |
| 15 | 5,2+0,40 | 4,5+0,09 | 4,8+0,12 | 5,5 +0,30 |
| 30 | 5,3+0,42 | 4,9+0,26 | 4,7+0,35 | 5,6+0,57 |
| 45 | 5,5+0,47 | 5,1+0,42 | 4,9+0,54 | 5,7+0,47 |
| 60 | 5,3+0,35 | 4,8+0,33 | 5,0+0,45 | 5,6+0,62 |

Hasil analisa organoleptik terhadap tekstur menunjukkan bahwa perlakuan penambahan trehalosa pada adonan beku menghasilkan roti dengan tekstur netral sampai agak lembut (skor 4,1-5,1). menghasilkan roti dengan aroma netral sampai agak harum (skor 4,3-5,1). Hal tersebut menandakan bahwa aroma roti manis masih diterima oleh konsumen. Hasil penelitian ini memiliki skor tekstur yang lebih tinggi dibandingkan dengan roti dari adonan beku hasil penelitian N.T.Thuy. & N.N.M. (2017), bahwa tekstur roti dari adonan beku memiliki skor tekstur antara 2,9-4,4. Tekstur roti manis dipengaruhi oleh banyaknya gas karbondioksida yang terbentuk saat proses fermentasi. Proses pembekuan menyebabkan menurunnya kekuatan gluten untuk menahan karbondioksida hasil fermentasi.

Hasil analisa organoleptik terhadap warna menunjukkan bahwa perlakuan penambahan trehalosa pada adonan beku menghasilkan roti dengan warna agak menarik sampai menarik (skor 4,5-5,7). Hasil pengujian organoleptik warna roti manis pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian N.T.Thuy. & N.N.M. (2017) bahwa warna roti dari adonan beku hasil penelitiannya memiliki skor tertinggi 4,7. Penambahan trehalosa tidak dapat mempengaruhu warna roti manis karena tidak ikut berperan dalam reaksi maillard. Hal ini sesuai dengan pernyataan Gerardo-Rodríguez dkk., (2017), bahwa trehalosa tidak akan mempengaruhi warna roti karena tidak ikut berpartisipasi pada reaksi Maillard (Gerardo-Rodríguez dkk., 2017).

**KESIMPULAN**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi penambahan trehalosa dan waktu pembekuan berpengaruh nyata terhadap viabilitas yeast, rasio penyebaran, volume spesifik, volume pengembangan, daya potong, tingkat kecerahan (L) *crust*, tingkat kecerahan (L) *crumb*, dan tingkat kekuningan (b) *crumb.*  Trehalosa efektif meningkatkan viabilitas yeast sebanyak 108,5 CFU/g, spread ratio sebanyak 2,4 cm, volume spesifik sebanyak 1%, volume pengembangan sebanyak 1,6%, dan menurunkan daya tekan sebanyak 0,6 N. Skor organoleptik untuk rasa agak enak, aroma agak harum, tekstur agak lembut dan warna agak menarik.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Pertanian Peternakan Universitas Muhammadiyah Malang yang secara finansial mendukung penelitian ini melalui hibah penelitian Blockgrant Fakultas.

**DAFTAR PUSTAKA**

Akbarian, M., Dehkordi, M. S. M., Ghasemkhani, N., Koladoozi, M., Niknam, O., & Morshedi, A. (2015). Hydrocolloids and Cryoprotectant used in Frozen Dough and Effect of Freezing on Yeast Survival and Dough Structure: A Review. *International Journal of Life Sciences*, *9*(3), 1–7. https://doi.org/10.3126/ijls.v9i3.12439

Ali, A., Shehzad, A., Khan, M., Shabbir, M., & Amjid, M. (2012). Yeast, its types and role in fermentation during bread making process-A. *Pakistan Journal of Food Sciences*, *22*(3), 171–179.

Almeida, E. L., Chang, Y. K., & Steel, C. J. (2013). Dietary fibre sources in bread: Influence on technological quality. *LWT - Food Science and Technology*, *50*(2), 545–553. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.08.012

Badan Pusat Statistik. (2019). Ringkasan Eksekutif Pengeluaran dan Konsumsi Penduduk Indonesia. *JST* (Jurnal Sains Terapan), 1(1). https://doi.org/10.32487/jst.v1i1.19 (2015).

Bhat, J., Afzal, S., Gull, A., Haq, R., & Safapuri, T. A. (2015). *Textural and Sensory Characteristics of Bread Made from Wheat Flour Supplemented with Water Chestnut*. *2*(3), 94–97.

Damat, D., Tain, A., Handjani, H., & Khasanah, U. (2017). *Mikroskopi dan Sifat Organoleptic Kue Kering Fungsional dari Pati Garut ( Maranta arundinaceae L . ) Termodifikasi*. *6*(4), 185–189. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17728/jatp.266

Dogan, I. S., Yildiz, O., & Tasan, B. (2010). Spread and microwave oven baking test for bread making quality. *International Journal of Agriculture and Biology*, *12*(5), 697–700.

Dqg, U., Lo, R. R. Q., Iur, V., Iru, H. Q., Shv, G. D. V. W., Lqvwdqw, R. I., Zhuh, H., Iru, W., Grxjkv, V., Iru, D. Q. G., & Grxjkv, V. (2003). *(Iihfw Ri )Rupxodwlrq Rq Wkh 4Xdolw\ Ri )Ur]Hq %Uhdg ’Rxjk*. *46*(June), 461–468.

Feili, R. (2013). Physical and Sensory Analysis of High Fiber Bread Incorporated with Jackfruit Rind Flour. *Food Science and Technology*, *1*(2), 30–36. https://doi.org/10.13189/fst.2013.010203

Foods, N. (2000). Produced By a Novel Enzymatic Process. *Regulation*, 2–3.

Gerardo-Rodríguez, J. E., Ramírez-Wong, B., Ledesma-Osuna, A. I., Medina-Rodríguez, C. L., Ortega-Ramírez, R., & Silvas-García, M. I. (2017). Management of freezing rate and trehalose concentration to improve frozen dough properties and bread quality. *Food Science and Technology*, *37*(1), 59–64. https://doi.org/10.1590/1678-457X.00482

Halim, H., Ali, A., & Rahmayuni, R. (2015). Evaluasi Mutu Roti Manis Dari Tepung Komposit (Tepung Terigu, Pati Sagu, Tepung Tempe). *Jurnal Teknologi Dan Industri Pertanian Indonesia*, *7*(2). https://doi.org/10.17969/jtipi.v7i2.3277

Imami, R. H., & Sutrisno, A. (2018). *PENGARUH PROPORSI TELUR DAN GULA SERTA SUHU PENGOVENAN TERHADAP KUALITAS FISIK , KIMIA , DAN ORGANOLEPTIK PADA BOLU BEBAS GLUTEN DARI PASTA UBI KAYU ( Manihot Esculenta ) The Effect of Egg and Sugar Proportion as Well as Baking Temperature on Physical , C*. *6*(3), 89–99.

Kim, Y. S., Huang, W., Du, G., Pan, Z., & Chung, O. (2008). Effects of trehalose, transglutaminase, and gum on rheological, fermentation, and baking properties of frozen dough. *Food Research International*, *41*(9), 903–908. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.07.013

Kontogiorgos, V., Goff, H. D., & Kasapis, S. (2008). Effect of aging and ice-structuring proteins on the physical properties of frozen flour-water mixtures. *Food Hydrocolloids*, *22*(6), 1135–1147. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.06.005

Leray, G., Oliete, B., Mezaize, S., Chevallier, S., & Lamballerie, M. De. (2010). *Effects of freezing and frozen storage conditions on the rheological properties of different formulations of non-yeasted wheat and gluten-free bread dough*. *100*, 70–76. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.03.029

Lerbret, A., Bordat, P., Affouard, F., Descamps, M., & Migliardo, F. (2005). How homogeneous are the trehalose, maltose, and sucrose water solutions? An insight from molecular dynamics simulations. *Journal of Physical Chemistry B*, *109*(21), 11046–11057. https://doi.org/10.1021/jp0468657

Meerts, M., Cardinaels, R., Oosterlinck, F., Courtin, C. M., & Moldenaers, P. (2017). The Impact of Water Content and Mixing Time on the Linear and Non-Linear Rheology of Wheat Flour Dough. *Food Biophysics*, *12*(2), 151–163. https://doi.org/10.1007/s11483-017-9472-9

Meziani, S., Jasniewski, J., Ribotta, P., Arab-Tehrany, E., Muller, J. M., Ghoul, M., & Desobry, S. (2012). Influence of yeast and frozen storage on rheological, structural and microbial quality of frozen sweet dough. *Journal of Food Engineering*, *109*(3), 538–544. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.10.026

Momose, Y., Matsumoto, R., Maruyama, A., & Yamaoka, M. (2010). Comparative analysis of transcriptional responses to the cryoprotectants, dimethyl sulfoxide and trehalose, which confer tolerance to freeze-thaw stress in Saccharomyces cerevisiae. *Cryobiology*, *60*(3), 245–261. https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2010.01.001

N.T.T., T., & N.N.M., P. (2017). Improving of bread quality from frozen dough using ascorbic acid and α-amylase. *Can Tho University Journal of Science*, *06*, 121. https://doi.org/10.22144/ctu.jen.2017.035

Parwiyanti, P., Pratama, F., Wijaya, A., & Malahayati, N. (2019). Karakteristik Roti Bebas Gluten Berbahan Dasar Pati Ganyong Termodifikasi. *AgriTECH*, *38*(3), 337. https://doi.org/10.22146/agritech.16946

Phimolsiripol, Y., Mukprasirt, A., & Schoenlechner, R. (2012). Quality improvement of rice-based gluten-free bread using different dietary fibre fractions of rice bran. *Journal of Cereal Science*, *56*(2), 389–395. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.06.001

Pusuma, D. A., Praptiningsih, Y., & Choiron, M. (2018). Karakteristik Roti Tawar Kaya Serat Yang Disubstitusi Menggunakan Tepung Ampas Kelapa. *Jurnal Agroteknologi*, *12*(01), 29. https://doi.org/10.19184/j-agt.v12i1.7886

Rauf, R., & Andini, K. T. (2019). Sifat Fisik dan Penerimaan Roti Tawar dari Tepung Komposit Terigu dan Singkong dengan Variasi Lama Pencampuran Adonan. *AgriTECH*, *39*(2), 169. https://doi.org/10.22146/agritech.41515

Rosli, N. A., Azilan, N. A., Mahyudin, N. A., Mahmud Ab Rashid, N. K., Meon, F. N. S., Ismail, Z., Chern, P. E., & Kanasan, S. (2019). Effect of fennel (Foeniculum vulgare Mill.) and coriander (Coriandrum sativum L.) on microbial quality and sensory acceptability of frozen paratha. *International Food Research Journal*, *26*(3), 945–952.

Sasano, Y., Haitani, Y., Hashida, K., Ohtsu, I., Shima, J., & Takagi, H. (2012). Simultaneous accumulation of proline and trehalose in industrial baker’s yeast enhances fermentation ability in frozen dough. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, *113*(5), 592–595. https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2011.12.018

Shi, K., Yu, H., & Lee, T. C. (2013). A novel approach for improving yeast viability and baking quality of frozen dough by adding biogenic ice nucleators from Erwinia herbicola. *Journal of Cereal Science*, *57*(2), 237–243. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.11.010

Suryatna, B. S., & Teknik, F. (2015). PENINGKATAN KELEMBUTAN TEKSTUR ROTI MELALUI FORTIFIKASI RUMPUT LAUT Euchema Cottoni. *Teknobuga*, *2*(2), 18–25.

Sze-Yin, S., & Lai-Hoong, C. (2013). Effects of maltodextrin and trehalose on the physical properties of chinese steamed bread made from frozen doughs. *International Food Research Journal*, *20*(4), 1529–1535.

Tenggara, S. (2017). *DENGAN PENAMBAHAN EMULSIFIER LESITIN Sweet Bread Characterization from Modified Arrowroot Starch within Lecithin Addition Abstrak PENDAHULUAN Roti merupakan produk makanan yang terbuat dari fermentasi tepung terigu dengan ragi atau bahan pengembang lain ,*. *September*, 20–21.

Topaloglu T. (2015).Evaluationof Valution of the Effects of Maltodextrine and Microfluidization onthe Rheological and Textural Properties of Cookie and Cookie Dough [Thesis]. Department of Engineering. Middle East Technical University.