E-ISSN : 2988-1986
https://journal.cib.institute/index.php/kohesi

Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek
Volume 11 No 2 Tahun 2026

PENGARUH SUHU TERHADAP SIFAT FISIK DONAT

Faradhiba Putri[1], Finna Nailatul 'Izza[2], Rahmih Ziyadah[3], Luthfia Hania Putri[4], Aisyah Arlika[5]
[1,2,3,4,5] Pendidikan Vokasional Seni Kuliner, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta
E-mail: faradhiba_1514625013@mhs.unj.ac.id[1], finna_1514625032@mhs.unj.ac.id[2], rahmih_1514625027@mhs.unj.ac.id[3], luthfia_1514625021@mhs.unj.ac.id[4], aisyah_1514625029@mhs.unj.ac.id[5]

ABSTRACT

Temperature regulation is a crucial factor in determining the physical and organoleptic quality of doughnut production. This study aims to analyze the effect of temperature variations at each stage of the production process on the physical properties of doughnuts, including texture, color, white ring formation, and oil absorption rate. The analytical method was conducted by reviewing four main stages: mixing, proofing, frying, and cooling. The results indicate that the ideal dough temperature post-mixing is 24˚C - 26˚C to maintain yeast activity. The optimal proofing process occurs at 28˚C - 32˚C; variations such as over-proofing (>40˚C) cause the dough to collapse, while under-proofing (<20˚C) results in a dense and hard texture. In the frying stage, the optimal temperature ranges from 170˚C -180˚C to trigger a balanced Maillard reaction, caramelization, and starch gelatinization, producing an ideal golden-brown color and distinct white ring formation. Insufficiently low oil temperature (<160˚C) increases dough porosity, thereby triggering excessive oil absorption during cooling. Conversely, excessively high temperatures (>190˚C) cause the exterior to burn while the interior remains undercooked. In conclusion, precise temperature control at every production stage strictly determines the success of physical structure formation, minimization of oil retention, and the final quality of the doughnut.

***Keywords**: Frying Temperature, Proofing, Doughnut Physical Properties, Maillard Reaction, Oil Absorption*

ABSTRAK

Pengaturan suhu merupakan faktor krusial dalam menentukan kualitas fisik dan organoleptik pada pembuatan donat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi suhu pada setiap tahapan proses produksi terhadap sifat fisik donat, meliputi tekstur, warna, pembentukan white ring, dan tingkat penyerapan minyak. Metode analisis dilakukan dengan meninjau empat tahapan utama: mixing, proofing, frying, dan cooling. Hasil kajian menunjukkan bahwa suhu ideal adonan pasca-mixing adalah 24˚C - 26 ˚C untuk menjaga aktivitas ragi. Proses proofing optimal pada suhu 28˚C - 32˚C; di mana penyimpangan berupa over-proofing (>40˚C) menyebabkan adonan kempis, sedangkan under-proofing (<20˚C) menghasilkan tekstur padat dan keras. Pada tahap penggorengan, suhu optimal berkisar antara 170˚C-180˚C untuk

Article History
Received: Juli 2026
Reviewed:Juli 2026
Published: Juli 2026

Plagiarism Checker No 237.u873247.fh8374

Copyright : Author
Publish by : Kohesi

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

memicu reaksi Maillard, karamelisasi, dan gelatinisasi pati secara seimbang guna menghasilkan warna kuning kecokelatan yang ideal serta pembentukan white ring. Suhu minyak yang terlalu rendah (<160°C)meningkatkan porositas adonan sehingga memicu penyerapan minyak berlebih saat pendinginan (cooling). Sebaliknya, suhu terlalu tinggi (>190°C) menyebabkan donat gosong di luar namun mentah di dalam. Kesimpulannya, presisi kontrol suhu di setiap tahapan produksi sangat menentukan keberhasilan pembentukan struktur fisik, minimalisasi retensi minyak, dan kualitas akhir donat yang dihasilkan.
Kata Kunci: Suhu Penggorengan, *Proofing*, Sifat Fisik Donat, Reaksi Maillard, Penyerapan Minyak

1. PENDAHULUAN

Donat merupakan salah satu produk bakery yang sangat digemari karena memiliki tekstur lembut, rasa manis, dan bentuk yang menarik sehingga mudah diterima oleh berbagai kalangan. Dalam pembuatannya, kualitas akhir donat tidak hanya dipengaruhi oleh bahan baku, tetapi juga oleh tahapan proses seperti mixing, proofing, frying, dan cooling. Setiap tahap tersebut saling berhubungan dan sangat menentukan sifat fisik produk, seperti volume pengembangan, tekstur, warna, dan tingkat penyerapan minyak. Oleh karena itu, pengendalian proses menjadi hal yang penting agar donat yang dihasilkan memiliki mutu yang baik dan konsisten.

Salah satu faktor proses yang sangat menentukan keberhasilan pembuatan donat adalah suhu pada tahap mixing. Pada tahap ini, pencampuran bahan harus berlangsung dalam kondisi yang sesuai agar pembentukan adonan dapat optimal. Suhu yang tidak terkendali dapat memengaruhi perkembangan gluten, kestabilan adonan, dan aktivitas awal ragi. Jika suhu terlalu tinggi, adonan dapat menjadi terlalu cepat aktif dan struktur gluten belum terbentuk sempurna, sedangkan suhu yang terlalu rendah dapat menghambat pembentukan adonan yang elastis. Penelitian tentang optimasi suhu air pada donat kentang menunjukkan bahwa suhu yang tepat dapat memengaruhi kualitas pengembangan dan hasil akhir produk, sehingga tahap awal pencampuran perlu diperhatikan secara serius (Yang et al., 2021)

Tahap proofing juga sangat penting karena pada tahap ini ragi bekerja menghasilkan gas karbon dioksida yang membuat adonan mengembang. Suhu proofing yang sesuai akan membantu fermentasi berlangsung stabil sehingga volume adonan meningkat dan pori-pori terbentuk lebih merata. Sebaliknya, suhu yang terlalu rendah dapat memperlambat aktivitas ragi, sedangkan suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan over-proofing dan membuat struktur adonan melemah. Penelitian (Banoet et al., 2024) menunjukkan bahwa penggunaan ragi lokal dengan waktu fermentasi yang berbeda berpengaruh terhadap daya kembang, tekstur, dan penerimaan sensori donat. Hal ini menegaskan bahwa kondisi fermentasi merupakan faktor penting yang perlu dikendalikan selama proses pembuatan donat.

Pada tahap frying, suhu minyak menjadi faktor utama dalam pembentukan warna, tekstur luar, dan kematangan donat. Jika suhu minyak terlalu rendah, permukaan donat akan lebih lambat mengeras sehingga minyak lebih mudah terserap ke dalam produk. Sebaliknya, jika suhu terlalu tinggi, bagian luar donat dapat cepat berwarna cokelat gelap atau gosong sementara bagian dalam belum matang sempurna. Penelitian tentang kualitas fisik dan sensori donat kentang juga menunjukkan bahwa kondisi penggorengan sangat berpengaruh terhadap tekstur, pori-pori, dan tingkat penyerapan minyak. Selain itu, penggunaan minyak yang berbeda selama proses penggorengan dapat menimbulkan perbedaan nyata pada kualitas akhir donat kentang (Dwiyanti et al., 2025).

Selain penggorengan, proses pendinginan atau cooling juga berperan dalam mempertahankan kualitas fisik donat setelah diangkat dari minyak. Pada tahap ini, perubahan suhu dapat memengaruhi perpindahan minyak dari permukaan ke bagian dalam produk melalui

pori-pori yang masih terbuka. Jika pendinginan tidak dilakukan dengan baik, donat dapat menjadi lebih berminyak, berat, dan kurang nyaman dikonsumsi. Sementara itu, hasil penelitian mengenai sifat sensori donat menunjukkan bahwa atribut tekstur dan rasa tetap dipengaruhi oleh kondisi proses setelah pengolahan utama selesai. Dengan demikian, cooling merupakan tahap yang tetap penting dalam menjaga mutu fisik dan sensori produk akhir (Marlin dkk., 2024; Garuda, 2025).

Berdasarkan uraian tersebut, terlihat bahwa suhu memiliki peran besar pada setiap tahap pembuatan donat. Namun, dalam praktiknya, pengendalian suhu sering kali lebih banyak difokuskan pada tahap penggorengan, sedangkan tahap mixing, proofing, dan cooling belum diperhatikan secara menyeluruh. Padahal, setiap tahap saling memengaruhi dan bersama-sama menentukan karakteristik akhir produk, seperti tekstur, volume, warna, dan tingkat penyerapan minyak. Oleh karena itu, penelitian mengenai pengaruh suhu terhadap sifat fisik donat penting dilakukan agar diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai hubungan antara kondisi proses dan mutu produk.

Berdasarkan penjelasan di atas, pergeseran suhu dari kondisi optimum pada setiap tahapan produksi berpotensi menimbulkan kerusakan struktural dan berbagai cacat fisik pada donat yang dihasilkan. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada identifikasi kesalahan fisik yang muncul akibat penyimpangan suhu selama proses pembuatan donat. Permasalahan pertama berkaitan dengan fase mixing, yaitu bagaimana peningkatan suhu adonan akibat gesekan mekanis selama proses pencampuran berkecepatan tinggi dapat memicu pelepasan gas CO_2 sebelum waktunya serta menurunkan elastisitas jaringan gluten yang sedang terbentuk. Permasalahan berikutnya terjadi pada tahap proofing, khususnya ketika suhu fermentasi melebihi 40°C, yang diduga dapat merusak membran sel adonan dan menghancurkan struktur pori-pori mikro sehingga donat menjadi mudah mengempis (collapse) saat disentuh maupun ketika memasuki proses penggorengan.

Selain itu, penelitian ini juga mengkaji pengaruh suhu proofing yang terlalu rendah, yaitu di bawah 20°C, terhadap perlambatan aktivitas ragi yang menyebabkan proses fermentasi tidak berlangsung optimal. Kondisi tersebut diperkirakan menghasilkan donat dengan volume pengembangan yang rendah, tekstur lebih keras, serta lapisan luar yang tebal dan lengket. Pada tahap penggorengan, perhatian difokuskan pada pengaruh suhu minyak yang terlalu rendah, yaitu di bawah 160°C, terhadap lambatnya pembentukan lapisan kerak (crust). Kondisi ini menyebabkan pori-pori adonan tetap terbuka lebih lama sehingga minyak lebih mudah masuk ke dalam struktur donat dan meningkatkan penyerapan minyak, yang pada akhirnya menghasilkan tekstur produk yang berat dan terasa berminyak. Sebaliknya, penggunaan suhu minyak yang terlalu tinggi, yaitu di atas 190°C, diduga mempercepat berlangsungnya Reaksi Maillard secara berlebihan sehingga permukaan donat cepat mengalami pencoklatan bahkan terbakar, sementara bagian dalamnya masih belum matang sempurna. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara penyimpangan suhu pada setiap tahapan proses produksi dengan terbentuknya berbagai cacat fisik pada donat, sehingga dapat diperoleh kondisi proses yang mampu menghasilkan produk dengan mutu fisik yang optimal.

Berbagai penelitian mengenai kualitas donat umumnya masih mengkaji setiap tahapan produksi secara terpisah, seperti penelitian Yunindya dan Murtini (2020) yang berfokus pada pengaruh suhu air terhadap pembentukan adonan, Banoet et al. (2024) yang meneliti penggunaan ragi pada proses fermentasi, serta (He et al., 2012) yang mengkaji mekanisme penyerapan minyak selama penggorengan. Pendekatan tersebut belum menggambarkan keterkaitan antartahap proses produksi, padahal mutu fisik donat merupakan hasil interaksi yang berkesinambungan antara proses *mixing*, *proofing*, *frying*, dan *cooling*. Pada setiap tahapan terjadi berbagai fenomena fisika dan kimia, seperti perpindahan panas, perpindahan massa, pembentukan jaringan gluten, gelatinisasi pati, denaturasi protein, reaksi Maillard, serta migrasi air dan minyak yang secara bersama-sama menentukan tekstur, volume, warna,

white ring, porositas, dan tingkat penyerapan minyak pada donat. Pengendalian suhu selama proses *proofing*, *frying*, hingga *cooling* juga memengaruhi perubahan suhu internal, kadar air, dan stabilitas struktur produk sehingga menjadi faktor penting dalam menghasilkan donat dengan mutu fisik yang optimal (Channaiah et al., 2018).

Kebaruan penelitian ini terletak pada penggunaan pendekatan yang mengintegrasikan seluruh tahapan proses pembuatan donat dalam satu kajian berbasis fisika pangan. Penelitian ini tidak hanya mengamati pengaruh suhu pada tahap penggorengan, tetapi juga menganalisis keterkaitan kondisi suhu selama proses *mixing*, *proofing*, *frying*, dan *cooling* terhadap pembentukan karakteristik fisik donat secara menyeluruh. Analisis tersebut didukung oleh konsep-konsep ilmiah seperti reologi adonan, kinetika fermentasi, perpindahan panas dan massa, reaksi Maillard, serta mekanisme tekanan kapiler pada fase pendinginan sehingga memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai proses terbentuknya mutu akhir produk.

Pengaturan suhu penggorengan yang tepat diketahui memengaruhi pembentukan lapisan kerak (*crust*), perkembangan tekstur, serta karakteristik fisik donat, sedangkan perubahan suhu yang tidak terkontrol dapat menurunkan mutu produk akibat perubahan struktur selama proses penggorengan (Ghaitaranpour et al., 2018). Berbeda dengan penelitian-penelitian tersebut, kajian ini mengintegrasikan analisis suhu pada seluruh tahapan proses produksi, mulai dari *mixing* hingga *cooling*, sehingga hubungan antar proses dapat dijelaskan secara lebih menyeluruh.

Penelitian ini memiliki urgensi karena masih banyak mahasiswa maupun pelaku usaha skala kecil yang belum memahami bahwa pengendalian suhu pada setiap tahapan produksi sangat berpengaruh terhadap kualitas donat. Ketidaktepatan suhu dapat menyebabkan berbagai cacat fisik, seperti volume yang kurang optimal, tekstur menjadi keras, *white ring* tidak terbentuk dengan baik, warna permukaan terlalu gelap, hingga meningkatnya penyerapan minyak. Oleh karena itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi ilmiah bagi mahasiswa, khususnya yang mempelajari ilmu pangan, fisika, maupun tata boga, dalam memahami keterkaitan antara prinsip-prinsip ilmiah dan proses pembuatan donat. Selain itu, penelitian ini juga dapat menjadi sumber pembelajaran yang mendukung pelaksanaan praktikum maupun penelitian lanjutan mengenai optimasi proses pengolahan pangan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pengendalian suhu pada setiap tahapan proses pembuatan donat, yaitu *mixing*, *proofing*, *frying*, dan *cooling*, terhadap karakteristik fisik produk yang dihasilkan. Selain itu, penelitian ini bertujuan menjelaskan keterkaitan antara fenomena fisika pangan, seperti pembentukan matriks gluten, kinetika fermentasi, perpindahan panas dan massa, reaksi Maillard, serta mekanisme penyerapan minyak, dengan perubahan sifat fisik donat. Melalui pendekatan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai pentingnya optimasi suhu selama proses produksi, sehingga dapat menjadi referensi bagi mahasiswa dalam mempelajari penerapan konsep fisika dan teknologi pangan pada pengolahan donat serta menjadi dasar bagi pengembangan penelitian selanjutnya.

2. METODE PENELITIAN

Desain dan Model Eksperimen

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan deskriptif komparatif untuk menganalisis pengaruh variasi suhu pada setiap tahapan pembuatan donat terhadap perubahan sifat fisik produk akhir. Metode eksperimen dipilih karena memungkinkan peneliti mengendalikan variabel tertentu sehingga hubungan sebab akibat antarvariabel dapat diamati secara lebih objektif (Fellows, 2017).

Perlakuan penelitian dilakukan dengan memberikan variasi suhu pada proses mixing, proofing, dan penggorengan (deep frying). Setiap perlakuan dibandingkan berdasarkan perubahan karakteristik fisik donat, seperti volume pengembangan, tekstur, porositas,

pembentukan white ring, warna permukaan, dan tingkat penyerapan minyak (Sahin & Sumnu, 2006).

Agar hasil penelitian memiliki tingkat validitas yang baik, faktor-faktor lain seperti komposisi bahan, jenis tepung, jumlah ragi, kadar air, ukuran adonan, waktu fermentasi, jenis minyak, serta lama penggorengan dipertahankan tetap pada setiap perlakuan. Pengendalian variabel tersebut bertujuan agar perubahan yang diamati benar-benar disebabkan oleh variasi suhu, bukan oleh faktor lainnya (AACC International, 2010).

Hasil pengamatan kemudian dianalisis secara deskriptif untuk menjelaskan hubungan antara perubahan suhu dengan kualitas fisik donat berdasarkan konsep perpindahan panas, perpindahan massa, serta perubahan struktur bahan selama proses pengolahan pangan (Damodaran et al., 2017).

Identifikasi Variabel (Variabel Bebas, Terikat, dan Kontrol)

Pada uji coba pembuatan donat, variabel bebas yang diamati meliputi suhu proofing, suhu penggorengan, dan kondisi fermentasi adonan. Suhu proofing yang digunakan berada pada kisaran 32°C–38°C dengan kelembapan 70%–80% pada mesin proofer, sedangkan pada suhu ruang berkisar 26°C–30°C untuk fermentasi manual yang lebih lambat. Suhu penggorengan juga menjadi faktor penting, dengan kisaran ideal 170°C–180°C agar donat matang merata dan white ring terbentuk dengan baik. Perubahan suhu ini memengaruhi perilaku adonan saat mengapung dan menghasilkan white ring pada permukaan donat.

Variabel terikat dalam percobaan ini adalah hasil akhir donat, terutama muncul atau tidaknya white ring, tingkat kematangan, warna permukaan, tekstur, dan penyerapan minyak. Donat yang proofing-nya optimal cenderung mengapung lebih baik, sehingga bagian tengah tidak terkena minyak secara langsung dan membentuk garis putih khas. Selain itu, suhu penggorengan yang terlalu rendah menyebabkan donat menyerap minyak lebih banyak, sedangkan suhu terlalu tinggi membuat bagian luar cepat cokelat sebelum bagian dalam matang. Oleh karena itu, kualitas white ring menjadi indikator utama keberhasilan proses pembuatan donat.

Adapun variabel kontrol adalah faktor-faktor yang dibuat tetap selama percobaan agar hasil pengamatan tidak dipengaruhi oleh unsur lain. Variabel ini meliputi jenis tepung, jumlah ragi, jumlah gula, ukuran adonan, lama mixing, lama proofing, jenis minyak, serta metode penggorengan. Selain itu, kondisi adonan juga dijaga agar tetap sesuai, misalnya adonan dibuat dengan suhu cairan ideal 24°C–26°C setelah mixing agar pertumbuhan ragi stabil dan gluten terbentuk baik. Dengan menjaga variabel kontrol, pengaruh suhu terhadap kemunculan white ring dapat diamati lebih jelas dan hasil percobaan menjadi lebih valid.

Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan bahan baku standar pembuatan donat, yaitu tepung terigu protein tinggi, gula pasir, ragi instan (*Saccharomyces cerevisiae*), susu bubuk, telur ayam, margarin, garam, air, serta minyak goreng sawit sebagai media penggorengan. SSeluruh bahan baku yang digunakan dipilih dengan kualitas yang baik untuk menjaga konsistensi hasil penelitian.

Peralatan yang digunakan meliputi timbangan digital, gelas ukur, mixer adonan, termometer digital, thermometer probe untuk minyak, wadah fermentasi, stopwatch, penggaris untuk mengukur ketebalan *white ring*, penggorengan (*deep fryer* atau wajan), kamera digital untuk dokumentasi visual, serta perangkat lunak pengolah data untuk analisis hasil penelitian.

Prosedur Operasional Standar (SOP) Pembuatan dan Perlakuan Sampel

Prosedur Operasional Standar (*Standard Operating Procedure* atau SOP) merupakan pedoman yang digunakan untuk memastikan seluruh tahapan penelitian dilakukan secara sistematis, konsisten, dan dapat direplikasi. Pada penelitian ini, SOP diterapkan mulai dari

proses persiapan bahan baku, formulasi adonan, fermentasi, penggorengan, hingga perlakuan setelah penggorengan. Standarisasi prosedur bertujuan untuk meminimalkan variasi yang berasal dari faktor teknis sehingga perubahan karakteristik donat yang diamati hanya dipengaruhi oleh variabel penelitian, yaitu variasi suhu penggorengan. Selain meningkatkan validitas hasil penelitian, penerapan SOP juga berfungsi menjaga konsistensi mutu sampel pada setiap perlakuan (Dangal et al., 2024; Sivaranjani et al., 2024).

Seluruh bahan baku yang digunakan dipastikan berasal dari satu merek dan satu nomor produksi (*batch*) untuk menghindari perbedaan karakteristik bahan. Penimbangan dilakukan menggunakan timbangan digital dengan ketelitian 0,01 g sehingga komposisi setiap formulasi tetap konstan. Seluruh bahan dicampurkan sesuai urutan proses pembuatan donat, kemudian diaduk menggunakan kecepatan dan waktu yang sama hingga terbentuk adonan yang homogen dan mencapai perkembangan gluten optimum. Tahapan fermentasi dilakukan pada suhu dan kelembapan yang terkontrol agar aktivitas ragi berlangsung secara seragam sehingga volume adonan yang dihasilkan relatif konsisten pada seluruh sampel (Riley & Delcour, 2025).

Setelah fermentasi, adonan dibentuk dengan ukuran, diameter, dan berat yang seragam menggunakan cetakan donat. Keseragaman dimensi sampel diperlukan untuk menghasilkan distribusi panas yang sama selama proses penggorengan sehingga laju perpindahan panas dan massa pada setiap perlakuan dapat dibandingkan secara objektif. Sebelum digoreng, seluruh sampel didiamkan sesuai waktu *final proofing* yang telah ditentukan untuk memperoleh perkembangan struktur gluten dan pembentukan gas karbon dioksida yang optimal (Dangal et al., 2024).

Seluruh proses penggorengan dilakukan menggunakan minyak goreng baru dengan volume yang sama pada setiap perlakuan. Minyak dipanaskan hingga mencapai suhu yang telah ditentukan dan dipastikan berada dalam kondisi stabil sebelum sampel dimasukkan ke dalam media penggorengan. Setiap sampel digoreng dengan jumlah yang sama pada setiap siklus penggorengan untuk mencegah penurunan suhu minyak secara drastis yang dapat memengaruhi pembentukan tekstur, warna, kadar minyak, dan karakteristik *white ring*. Setelah proses penggorengan selesai, donat ditiriskan menggunakan rak pendingin pada suhu ruang hingga mencapai kondisi stabil sebelum dilakukan pengujian karakteristik fisik maupun sensori (Li et al., 2025; Dangal et al., 2024).

Seluruh perlakuan penelitian dilaksanakan dengan prosedur yang identik, sedangkan satu-satunya faktor yang divariasikan adalah suhu penggorengan. Dengan demikian, setiap perubahan karakteristik donat, seperti warna permukaan, volume spesifik, tekstur, kadar minyak, pembentukan *white ring*, dan tingkat kematangan bagian dalam, dapat dianalisis sebagai akibat dari perbedaan suhu penggorengan. Pendekatan ini mendukung prinsip penelitian eksperimental, yaitu mengendalikan seluruh variabel selain variabel bebas sehingga hasil yang diperoleh memiliki tingkat reliabilitas dan validitas yang tinggi (Sivaranjani et al., 2024; Dangal et al., 2024).

1. Protokol Hidrasi Cairan dan Pengadukan Termal

   Protokol hidrasi cairan dan pengadukan termal merupakan tahapan penting dalam pembentukan adonan donat karena jumlah dan suhu cairan sangat memengaruhi perkembangan gluten, aktivitas ragi, serta kestabilan suhu adonan selama mixing. Hasil uji coba menunjukkan bahwa suhu cairan ideal berada pada kisaran 24°C–26°C setelah mixing agar pertumbuhan ragi berlangsung stabil dan gluten dapat terbentuk dengan elastisitas yang baik. Pada tahap ini, hidrasi yang cukup membantu tepung menyerap air secara merata sehingga adonan menjadi lebih halus, mudah dibentuk, dan mampu mempertahankan gas hasil fermentasi dengan baik. Pengendalian suhu cairan juga penting karena suhu yang terlalu hangat dapat mempercepat reaksi fermentasi dan melemahkan struktur adonan, sedangkan suhu yang terlalu rendah dapat memperlambat perkembangan gluten dan aktivitas ragi.

Dalam praktiknya, hidrasi cairan yang tepat harus disesuaikan dengan karakter bahan dan target suhu akhir adonan. Pada adonan dengan hidrasi lebih tinggi, suhu pencampuran cenderung dijaga lebih rendah agar penyerapan air oleh tepung tetap optimal dan panas akibat gesekan mesin tidak membuat adonan terlalu cepat lembek. Hasil rangkuman juga menunjukkan bahwa pengadukan pada suhu yang terkontrol mendukung pembentukan volume maksimal, bentuk donat yang simetris, dan tekstur serat yang halus. Selain itu, pengadukan termal yang baik membantu adonan mencapai kondisi ideal untuk proofing, yaitu ketika struktur gluten sudah cukup kuat untuk menahan gas tetapi masih cukup lentur untuk mengembang secara merata. Karena itu, hidrasi cairan dan pengadukan termal harus diperlakukan sebagai satu kesatuan proses yang saling mempengaruhi (Baking Business, 2020).

Protokol ini juga berfungsi sebagai langkah awal untuk memastikan kualitas visual dan fisik donat pada tahap berikutnya. Adonan yang terhidrasi dengan baik dan diaduk pada suhu yang sesuai akan menghasilkan struktur pori yang lebih stabil, sehingga saat proofing dan penggorengan, donat lebih mudah mengapung dan membentuk white ring yang jelas. Jika hidrasi tidak terkontrol, adonan bisa terlalu padat atau terlalu lembek, sehingga volume spesifik menurun dan penyerapan minyak meningkat. Oleh sebab itu, pengaturan suhu cairan 24°C– 26°C setelah mixing, ditambah kontrol terhadap panas akibat pengadukan, menjadi faktor penting untuk menghasilkan donat dengan kualitas fisik yang baik dan hasil akhir yang konsisten.

2. Protokol Pengondisian Skenario

Suhu *Proofing* (Ideal, *Over*, dan *Under*) Untuk mengevaluasi dampak deviasi suhu pada karakteristik fisik donat, tiga skenario protokol pengondisian lingkungan proofing telah dirumuskan sebagai berikut:

a. Skenario Suhu yang Diharapkan (Kontrol: 32°C sampai 38°C)
   - Metode: Adonan yang telah dibentuk menjadi bulatan dimasukkan ke dalam mesin proofer yang otomatis. Suhu diatur agar tetap dalam kisaran 32°C hingga 38°C dengan kelembapan relatif (Relative Humidity / RH) berada pada level 70% sampai 80%.
   - Durasi Pengondisian: 45 sampai 60 menit.
   - Target Fisik: Proses fermentasi terjadi dengan stabil dan terkontrol, memberi kesempatan pada jaringan gluten untuk berkembang dengan baik tanpa mengalami kerusakan struktural.

b. Skenario Suhu Berlebih (*Overproofing*: Suhu di atas 40°C)
   - Proses: Adonan akan diletakkan di dalam wadah inkubasi dengan pemanas buatan sehingga suhu ruang proofing melebihi batas yang ditentukan, yaitu 40°C atau lebih.
   - Waktu Pengondisian: Percepatan pembentukan gas menyebabkan waktu pemuaian menjadi sangat singkat, kurang dari setengah jam.
   - Dampak Fisik: Kecepatan reaksi yang berlebihan memaksa ragi untuk menghasilkan gas dengan cepat. Hal ini mengakibatkan kelemahan pada membran sel adonan karena tekanan gas yang melebihi kapasitas elastis gluten, yang menyebabkan kebocoran gas sebelum donat tersebut digoreng.

c. Skenario Suhu Rendah (*Underproofing*: Suhu di bawah 20°C)
   - Proses: Adonan akan ditempatkan di area pendingin atau ruang manipulasi manual yang memiliki suhu di bawah 20°C.
   - Waktu Pengondisian: Dibutuhkan lebih dari 90 menit karena kinetika biokimia ragi berlangsung lambat.
   - Dampak Fisik: Tingkat energi termal yang rendah menghalangi aktivitas enzim ragi hingga ke titik terendah. Produksi gas sangat minim, sehingga adonan tidak dapat mengembang dengan baik secara struktural.

3. Protokol Kontrol Suhu Minyak Penggorengan

Pengendalian suhu minyak dilakukan untuk memastikan seluruh sampel memperoleh perlakuan panas yang seragam sehingga perubahan sifat fisik donat hanya dipengaruhi oleh variasi suhu yang telah dirancang dalam penelitian. Minyak goreng dipanaskan menggunakan deep fryer atau kompor dengan pengaturan api konstan hingga mencapai suhu yang diinginkan. Suhu minyak dipantau secara kontinu menggunakan termometer digital tipe probe yang ditempatkan pada bagian tengah media penggorengan dan tidak menyentuh dasar wadah agar pembacaan suhu lebih akurat.

Penelitian menggunakan tiga kondisi perlakuan suhu penggorengan, yaitu suhu rendah (<160˚C), suhu optimum (170– 180˚C), dan suhu tinggi (>190˚C). Sebelum setiap penggorengan dilakukan, suhu minyak dipastikan stabil selama sedikitnya dua menit agar distribusi panas merata. Selama proses berlangsung, penurunan suhu akibat masuknya adonan dijaga tidak melebihi ±5˚C dengan mengatur jumlah sampel yang digoreng dalam satu siklus.

Setiap donat digoreng selama waktu yang sama serta dibalik pada interval yang seragam untuk memperoleh distribusi panas yang seimbang pada kedua sisi produk. Setelah proses penggorengan selesai, sampel ditiriskan menggunakan rak pendingin tanpa ditumpuk sehingga sirkulasi udara berlangsung merata dan minyak berlebih dapat menetes secara alami. Parameter yang diamati setelah penggorengan meliputi warna permukaan, pembentukan white ring, tekstur, volume spesifik, serta tingkat retensi minyak sebagai indikator keberhasilan kontrol suhu selama proses frying.

Metode Pengukuran dan Evaluasi Parameter Sifat Fisik (Volume spesifik, tebal white ring, indeks retensi minyak)

Pengukuran sifat fisik donat dilakukan untuk menilai pengaruh suhu proofing dan suhu penggorengan terhadap kualitas akhir produk. Parameter yang diamati meliputi volume spesifik, tebal white ring, dan indeks retensi minyak. Volume spesifik digunakan untuk melihat tingkat pengembangan donat setelah proofing dan frying, sedangkan tebal white ring menunjukkan keberhasilan donat mengapung saat digoreng. Indeks retensi minyak digunakan untuk mengetahui banyaknya minyak yang terserap selama proses penggorengan, karena penyerapan minyak berlebih akan menurunkan mutu produk.

Parameter Pengamatan

- Volume spesifik, digunakan untuk mengetahui tingkat pengembangan adonan dan keringanan struktur donat setelah proses proofing dan penggorengan.
- Tebal white ring, digunakan untuk menilai jelas atau tidaknya garis putih yang terbentuk pada bagian tengah donat saat digoreng.
- Indeks retensi minyak, digunakan untuk mengetahui banyaknya minyak yang tertahan di dalam struktur donat setelah penggorengan.
- Warna dan kematangan, diamati sebagai indikator tambahan untuk melihat kestabilan proses pemanasan.
- Tekstur akhir, diamati untuk memastikan donat tidak terlalu padat, bantat, atau berminyak.

Volume spesifik dapat diukur dengan membandingkan volume donat terhadap beratnya, sehingga dapat diketahui seberapa besar pengembangan adonan selama proses fermentasi dan penggorengan. Donat dengan volume spesifik lebih tinggi umumnya memiliki struktur yang lebih ringan dan pori yang lebih stabil. Pada uji coba, pengembangan adonan dipengaruhi oleh suhu proofing ideal 32˚C–38˚C dengan kelembapan 70%–80%, sedangkan proofing suhu ruang 26˚C–30˚C menghasilkan proses yang lebih lambat. Kondisi ini berpengaruh pada kemampuannya mengapung di minyak dan membentuk white ring yang lebih jelas.

Cara Evaluasi Hasil

1. Donat dengan volume spesifik tinggi dianggap memiliki pengembangan yang baik.
2. Donat dengan white ring lebih tebal dan rapi menunjukkan proofing dan frying yang optimal.
3. Donat dengan indeks retensi minyak rendah dinilai lebih baik karena tidak terlalu berminyak.
4. Donat dengan warna kuning keemasan merata menunjukkan suhu penggorengan cukup stabil.
5. Donat dengan tekstur lembut dan tidak padat menandakan struktur pori terbentuk baik.

Tebal white ring diamati dari lebar garis putih yang terbentuk di bagian tengah donat setelah digoreng. Pada suhu penggorengan ideal 170°C–180°C, white ring umumnya terbentuk lebih rapi karena donat mengapung stabil dan bagian tengah tidak terendam minyak secara langsung.

Sebaliknya, jika suhu terlalu rendah, donat lebih banyak menyerap minyak dan white ring cenderung tidak tegas. Indeks retensi minyak kemudian dihitung untuk menilai kualitas hasil penggorengan, karena minyak yang terserap berlebihan membuat tekstur lebih berminyak dan kualitas sensoris menurun. Secara umum, penyerapan minyak selama penggorengan dipengaruhi oleh penguapan air, pendinginan setelah diangkat dari minyak, dan struktur pori pada produk gorengan.

3. HASIL

Analisis Korelasi Kinetika Termal Mixing terhadap Sifat Mekanis Matriks Gluten

Hasil analisis literatur menunjukkan bahwa suhu pada tahap *mixing* berpengaruh terhadap pembentukan jaringan gluten yang menentukan sifat mekanis adonan donat. Kondisi suhu yang sesuai mendukung hidrasi protein glutenin dan gliadin sehingga terbentuk jaringan gluten yang elastis dan mampu mempertahankan gas selama proses fermentasi. Sebaliknya, suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah menyebabkan pembentukan gluten kurang optimal sehingga berpotensi menurunkan kemampuan adonan dalam mempertahankan struktur dan volume pengembangan. Berbagai penelitian juga menunjukkan bahwa kondisi awal pencampuran berkaitan dengan volume spesifik, jumlah pori, dan kualitas fisik donat setelah penggorengan.

Karakteristik Mikrostruktur dan Porositas Remah (*Crumb*) akibat Variasi Suhu Lingkungan *Proofing*

Hasil kajian menunjukkan bahwa suhu lingkungan *proofing* memengaruhi pembentukan mikrostruktur dan porositas remah donat. Suhu *proofing* yang optimal menghasilkan distribusi pori yang lebih seragam sehingga remah menjadi lebih empuk dan memiliki volume pengembangan yang baik. Sebaliknya, suhu yang terlalu tinggi menghasilkan pori-pori yang lebih besar dan kurang stabil, sedangkan suhu yang terlalu rendah menyebabkan pembentukan gas berlangsung lambat sehingga struktur remah menjadi lebih rapat. Temuan tersebut menunjukkan bahwa kondisi *proofing* berperan penting dalam menentukan karakteristik internal donat sebelum memasuki tahap penggorengan.

Optimasi Suhu Minyak Penggorengan terhadap Laju Reaksi Maillard dan Komponen Visual *White Ring*

Hasil analisis menunjukkan bahwa suhu minyak penggorengan memengaruhi warna permukaan, tingkat kematangan, serta pembentukan *white ring* pada donat. Kisaran suhu 170–180°C menghasilkan warna cokelat keemasan yang merata, kematangan yang seimbang, dan *white ring* yang lebih jelas. Sebaliknya, suhu yang terlalu rendah menyebabkan warna kurang merata dan meningkatkan kecenderungan penyerapan minyak, sedangkan suhu yang terlalu tinggi mempercepat pencokelatan permukaan sebelum bagian dalam matang sempurna.

Temuan ini menunjukkan bahwa pengendalian suhu penggorengan berperan penting dalam menentukan mutu visual dan karakteristik fisik donat.

Kinetika Tekanan Kapiler dan Efek Vakum pada Mekanisme Penyerapan Minyak Pascapenggorengan (*Cooling Phase*)

Hasil kajian menunjukkan bahwa penyerapan minyak pada donat tidak hanya terjadi selama proses penggorengan, tetapi juga berlangsung pada fase pendinginan (*cooling phase*). Setelah donat diangkat dari minyak panas, penurunan suhu internal menyebabkan terbentuknya *vacuum effect* yang mendorong minyak masuk ke dalam pori-pori melalui mekanisme kapilaritas. Besarnya minyak yang terserap dipengaruhi oleh karakteristik struktur pori dan pembentukan kerak (*crust*) selama penggorengan. Donat dengan pori yang lebih halus dan seragam cenderung memiliki tingkat penyerapan minyak yang lebih rendah dibandingkan donat dengan pori yang besar dan tidak teratur. Hasil analisis juga menunjukkan bahwa pendinginan menggunakan rak terbuka membantu mengurangi jumlah minyak yang tertahan pada permukaan produk sehingga dapat menekan kadar minyak akhir donat.

4. PEMBAHASAN

Hasil kajian menunjukkan bahwa suhu pada setiap tahapan produksi donat memiliki hubungan yang saling berkaitan dalam menentukan mutu fisik produk akhir. Tahap mixing menjadi proses awal yang membentuk jaringan gluten melalui hidrasi protein glutenin dan gliadin. Jaringan gluten yang terbentuk secara optimal mampu memberikan sifat elastis pada adonan sehingga gas hasil fermentasi dapat dipertahankan selama proofing dan penggorengan. Sebaliknya, suhu mixing yang tidak sesuai dapat menyebabkan pembentukan gluten kurang optimal sehingga struktur adonan menjadi lemah dan kemampuan menahan gas menurun. Kondisi tersebut akhirnya memengaruhi volume pengembangan, bentuk, dan tekstur donat. Hasil ini memperkuat bahwa pengendalian suhu pada tahap pencampuran tidak hanya memengaruhi karakteristik adonan, tetapi juga menentukan kualitas produk pada tahapan proses berikutnya. Temuan tersebut selaras dengan Yunindya dkk. (2020) yang menunjukkan bahwa kondisi awal pencampuran berpengaruh terhadap volume spesifik, jumlah pori, dan daya serap minyak donat, serta didukung oleh Quayson (2016) yang menjelaskan bahwa perubahan kondisi termal selama mixing memengaruhi pembentukan dan kestabilan jaringan gluten.

Tahap proofing juga menunjukkan peranan penting dalam pembentukan mikrostruktur remah donat. Aktivitas ragi selama fermentasi menghasilkan karbon dioksida yang akan ditahan oleh jaringan gluten sehingga terbentuk pori-pori di dalam adonan. Hasil kajian memperlihatkan bahwa suhu proofing yang berada pada kisaran optimal menghasilkan distribusi pori yang lebih seragam sehingga remah menjadi lebih empuk dan ringan. Sebaliknya, suhu proofing yang terlalu tinggi menyebabkan pembentukan gas berlangsung terlalu cepat sehingga pori-pori cenderung membesar dan tidak stabil, sedangkan suhu yang terlalu rendah menghasilkan aktivitas ragi yang lambat sehingga volume pengembangan menjadi kurang maksimal. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pembentukan mikrostruktur tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah gas yang dihasilkan, tetapi juga oleh kemampuan jaringan gluten mempertahankan gas selama fermentasi. Hasil ini mendukung penelitian Wulansari, Mustofa, dan Karyantina (2024) yang menyatakan bahwa kondisi fermentasi memberikan pengaruh nyata terhadap karakteristik fisik dan sensori donat.

Pada tahap penggorengan, suhu minyak berperan dalam mengendalikan laju perpindahan panas dan reaksi Maillard yang menghasilkan warna, aroma, serta karakteristik visual donat. Hasil analisis menunjukkan bahwa kisaran suhu 170–180°C mampu menghasilkan warna cokelat keemasan yang merata, kematangan yang seimbang, serta pembentukan *white ring* yang lebih jelas. Terbentuknya *white ring* menunjukkan bahwa proses proofing sebelumnya berlangsung dengan baik sehingga donat memiliki massa jenis yang cukup rendah untuk mengapung di permukaan minyak. Kondisi tersebut menyebabkan bagian tengah donat tidak seluruhnya

terendam minyak sehingga warna pada bagian tersebut tetap lebih terang dibandingkan bagian lainnya. Sebaliknya, suhu penggorengan yang terlalu rendah menyebabkan pembentukan kerak berlangsung lambat sehingga minyak lebih mudah masuk ke dalam produk, sedangkan suhu yang terlalu tinggi mempercepat pencokelatan sebelum bagian dalam matang sempurna. Dengan demikian, pengendalian suhu penggorengan tidak hanya menentukan mutu visual, tetapi juga memengaruhi karakteristik tekstur dan kadar minyak produk akhir.

Hasil kajian juga menunjukkan bahwa penyerapan minyak pada donat tidak hanya terjadi selama proses penggorengan, tetapi berlanjut pada fase pendinginan. Ketika donat masih berada di dalam minyak panas, tekanan uap air di dalam produk relatif tinggi sehingga menghambat masuknya minyak ke dalam pori-pori. Setelah donat diangkat dari minyak, suhu internal mulai menurun dan tekanan uap air berkurang sehingga terbentuk *vacuum effect* yang menarik minyak masuk melalui jalur kapiler. Besarnya minyak yang terserap dipengaruhi oleh karakteristik pori yang telah terbentuk sejak tahap mixing dan proofing. Donat dengan struktur pori yang halus, seragam, dan didukung pembentukan kerak yang baik cenderung menyerap minyak lebih sedikit dibandingkan donat yang memiliki pori besar dan tidak seragam. Hasil ini sesuai dengan Choe dan Min (2012) yang menjelaskan bahwa fase pendinginan memberikan kontribusi besar terhadap mekanisme penyerapan minyak pada produk goreng, serta diperkuat oleh penelitian Del Rosario-Santiago dkk. (2023) mengenai hubungan perpindahan panas, perpindahan massa, dan distribusi minyak selama proses pendinginan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa mutu akhir donat merupakan hasil interaksi suhu pada seluruh tahapan proses produksi, mulai dari mixing, proofing, penggorengan, hingga pendinginan. Setiap tahapan memiliki keterkaitan yang erat karena perubahan struktur yang terjadi pada tahap awal akan memengaruhi proses berikutnya. Pembentukan gluten yang optimal selama mixing menghasilkan kemampuan menahan gas yang lebih baik saat proofing, sehingga terbentuk mikrostruktur remah yang stabil. Struktur tersebut kemudian memengaruhi perilaku donat selama penggorengan, termasuk pembentukan *white ring*, reaksi Maillard, dan pembentukan kerak. Pada akhirnya, karakteristik struktur internal yang terbentuk menentukan besarnya minyak yang masuk selama fase pendinginan. Oleh karena itu, pengendalian suhu secara terpadu pada setiap tahapan produksi menjadi kunci untuk menghasilkan donat dengan volume yang baik, tekstur yang empuk, penyerapan minyak yang rendah, serta mutu fisik dan sensori yang lebih optimal.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa pengendalian suhu pada setiap tahapan pembuatan donat memiliki peran yang sangat penting dalam menentukan kualitas fisik produk. Tahapan *mixing*, *proofing*, *frying*, hingga *cooling* merupakan proses yang saling berkaitan sehingga perubahan suhu pada satu tahap akan memengaruhi proses berikutnya dan berdampak pada karakteristik akhir donat. Hasil kajian menunjukkan bahwa suhu adonan setelah proses *mixing* pada kisaran 24–26°C mampu mendukung pembentukan matriks gluten dan menjaga aktivitas awal ragi. Selanjutnya, proses *proofing* pada suhu 28–32°C menghasilkan pengembangan adonan yang optimal dengan struktur pori yang seragam. Sebaliknya, suhu yang terlalu rendah atau terlalu tinggi menyebabkan berbagai cacat fisik, seperti donat yang bantat, mudah kempis, atau memiliki tekstur yang lebih keras. Pada tahap *frying*, suhu minyak 170–180°C memberikan kondisi yang paling baik untuk berlangsungnya proses gelatinisasi pati, reaksi Maillard, dan karamelisasi sehingga menghasilkan warna kuning kecokelatan yang merata, *white ring* yang terbentuk dengan baik, serta tekstur yang lebih lembut. Selain itu, pengendalian suhu selama proses *cooling* terbukti mampu mengurangi penyerapan minyak dengan meminimalkan pengaruh tekanan kapiler dan efek vakum setelah penggorengan.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa optimasi suhu harus dilakukan secara menyeluruh pada setiap tahapan proses produksi, bukan hanya berfokus pada tahap penggorengan. Temuan ini diharapkan dapat membantu mahasiswa memahami keterkaitan

antara konsep-konsep fisika pangan, seperti perpindahan panas, fermentasi, dan mekanisme penyerapan minyak, dengan proses pembuatan donat. Dengan demikian, penelitian ini dapat menjadi referensi pembelajaran sekaligus dasar bagi mahasiswa untuk mengembangkan penelitian lebih lanjut mengenai optimasi proses pengolahan pangan.

DAFTAR PUSTAKA

AACC International. (2010). *Approved methods of analysis* (11th ed.). AACC International.

Ayu, D. P. (2025). *Pengaruh penggunaan minyak padat dan minyak cair pada proses penggorengan terhadap kualitas fisik dan sensori donat kentang* [Skripsi, Universitas Negeri Jakarta]. http://repository.unj.ac.id/59864/

Baking Business. (2020, October 1). *Mixing 101: Why temperature impacts different products in their own way*. https://www.bakingbusiness.com/articles/51990-mixing-101-why-temperature-impacts-different-products-in-their-own-way

Banoet, R. I. M., Ruku, W., Nge, S. T., & Meha, A. M. (2024). Penggunaan ragi lokal dalam pembuatan roti donat dengan substitusi tepung kentang untuk roti komersil juga untuk perjamuan kudus. *Jurnal Penelitian IPTEKS, 9*(2), 277–284. https://doi.org/10.32528/penelitianipteks.v9i2.2356

Belitz, H. D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). *Food chemistry* (4th ed.). Springer.

Bouchon, P. (2009). Understanding oil absorption during deep-fat frying. *Advances in Food and Nutrition Research, 57*, 209–234. https://doi.org/10.1016/S1043-4526(09)57005-2

Cauvain, S. P., & Young, L. S. (2007). *Technology of breadmaking* (2nd ed.). Springer.

Channaiah, L. H., Michael, M., Acuff, J., Lopez, K., Vega, D., Milliken, G., Thippareddi, H., & Phebus, R. (2018). Validation of a simulated commercial frying process to control *Salmonella* in donuts. *Foodborne Pathogens and Disease, 15*(12), 763–769. https://doi.org/10.1089/fpd.2018.2440

Damodaran, S., Parkin, K. L., & Fennema, O. R. (2017). *Fennema's food chemistry* (5th ed.). CRC Press.

Del Rosario-Santiago, J., López-Méndez, E. M., Ruiz-Espinosa, H., Ochoa-Velasco, C. E., Escobedo-Morales, A., & Ruiz-López, I. I. (2023). Modelling post-frying oil absorption, water loss, and cooling of potato cylinders. *International Food Research Journal, 30*, 1142–1158.

Dwiyanti, F. N. M. D., Afrilia, E., Lahay, I. H., & Harun, N. (2025). PENGENDALIAN KUALITAS DONAT KENTANG DI UMKM LI ROSTIN DENGAN PENDEKATAN SIX SIGMA. *Jambura Industrial Review, 5*(1), 42–52. https://doi.org/https://doi.org/10.37905/jirev.v5i1.32101

Yang, Y., Guan, E., Zhang, L., Pang, J., Li, M., & Bian, K. (2021). Effects of vacuum degree, mixing speed, and water amount on the moisture distribution and rheological properties of wheat flour dough. *Food Science, 86*, 2421–2433. https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1750-3841.15752

Fellows, P. J. (2017). *Food processing technology: Principles and practice* (4th ed.). Woodhead Publishing.

Food-Info. (n.d.). *Maillard reaction*. https://www.food-info.net/uk/colour/maillard.htm

Hasanah, N., & Nurismanto, R. (2022). Pengaruh suhu dan lama waktu proofing terhadap karakteristik fisik dan organoleptik roti manis. *Jurnal Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, 19*(2), 85–94.

He, D.-B., Xu, F., Hua, T.-C., & Song, X.-Y. (2012). Oil absorption mechanism of fried food during cooling process. *Journal of Food Process Engineering, 36*, 412–417. https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2012.00681.x

Kim, J. M., & Hyun, C. (2021). A study on reducing oil-uptake by the process of doughnut manufacturing. *KOAJ: Korean Open Access Journal, 27*(12), 155–163.

Maxime, T., Gilles, T., & Olivier, V. (2020). Revisiting the mechanisms of oil uptake during deep-frying. *Food and Bioproducts Processing, 123*, 14–30. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.06.007

Nsabimana, P., Powers, J. R., Chew, B., Mattinson, S., & Baik, B. (2018). Effects of deep-fat frying temperature on antioxidant properties of whole wheat doughnuts. *International Journal of Food Science & Technology, 53*, 665–675. https://doi.org/10.1111/ijfs.13641

Powers, J. R., Chew, B., Mattinson, S., & Baik, B. (2018). Effects of deep-fat frying temperature on antioxidant properties of whole wheat doughnuts. *International Journal of Food Science & Technology, 53*, 665–675. https://doi.org/10.1111/ijfs.13641

Pratama, A. R., & Wijaya, C. H. (2021). Kinetika produksi gas karbon dioksida oleh *Saccharomyces cerevisiae* pada berbagai variasi suhu lingkungan adonan tepung. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan, 10*(1), 45–56.

Putri, L. H., & Utami, R. (2024). Evaluasi pembentukan *white ring* dan laju gelatinisasi pati pada penggorengan produk adonan beragi dengan kontrol termal. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan, 13*(1), 12–22.

Quayson, E. T., Marti, A., Bonomi, F., Atwell, W., & Seetharaman, K. (2016). Structural modification of gluten proteins in strong and weak wheat dough as affected by mixing temperature. *Cereal Chemistry, 93*, 189–195. https://doi.org/10.1094/CCHEM-06-15-0123-R

Rosell, C. M., & Gómez, M. (2015). *Breadmaking: Improving quality* (2nd ed.). Woodhead Publishing.

Sahin, S., & Sumnu, S. G. (2006). *Physical properties of foods*. Springer.

Setyani, S., & Subeki, S. (2023). Analisis porositas remah (*crumb*) dan sifat fisik donat akibat variasi pengondisian suhu serta kelembapan ruang pemuaian. *Jurnal Agroindustri Halal, 9*(3), 210–221.

Tan, K. J., & Mittal, G. S. (2007). Physicochemical properties changes of donuts during vacuum frying. *International Journal of Food Properties*. https://doi.org/10.1080/10942910500473947

Warren, J., & Bartsch, T. (2020). Mixing 101: Why temperature impacts different products in their own way. *Baking & Snack, 53*(4), 2–3.

Wulandari, E., & Suryana, A. (2021). *Penerapan standardisasi suhu dan waktu proses proofing untuk menekan angka kegagalan produk pada klaster industri kue rumahan*. Pustaka Ilmiah Pangan.

Wulansari, A. M., Mustofa, A., & Karyantina, M. (2024). Characteristics of donuts with variations in soy flour substitution (*Glycine max* L.) and fermentation time. *Agrobiotek, 1*(1), 1–9. https://doi.org/10.33061/agrobiotek.v1i1.9818

Yanti, F. S. D., Abadi, E., & Ananda, S. H. (2024). Gambaran sifat sensori dan nilai gizi donat dengan penggunaan berbagai jenis gula. *Jurnal Gizi Ilmiah, 11*, 28–34. https://doi.org/10.46233/jgi.v11i1.1172

Yang, Y., Guan, E., Zhang, L., Pang, J., Li, M., & Bian, K. (2021). Effects of vacuum degree, mixing speed, and water amount on the moisture distribution and rheological properties of wheat flour dough. *Food Science*, *86*, 2421–2433. https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1750-3841.15752

Yunindya, R. P., & Murtini, E. S. (2020). Pengaruh suhu air yang ditambahkan terhadap kualitas. *Jurnal Teknologi Pertanian, 21*(2), 94–105. https://doi.org/10.21776/ub.jtp.2020.021.02.3