

Optimasi dan Validasi Ketinggian Air di *Rotary Water Immersion Retort* pada Proses Pasteurisasi Minuman Rasa Buah

Optimization and Validation of Water Level in Rotary Water Immersion Retort During Pasteurization Process of Fruit-Flavored Beverage Product

Puteri Stevia Nutrihaliza Kurniawan¹⁾, Winiati P. Rahayu^{1,2)*}

¹⁾ Divisi Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknik dan Teknologi, IPB University, Bogor

²⁾ South-East Asia Food & Agricultural Science and Technology (SEAFAST) Center, IPB University, Bogor

Abstrak. *Blackcurrant smoothie beverages produced by PT XYZ has water activity >0.85 and acidity levels ranging from 3.8–4.2. The preservation of this product can be achieved through pasteurization to eliminate the target microorganism that can survive at pH below 4.6. PT XYZ implements a water immersion retorts system for pasteurization. One of the critical parameters for sufficient heat in this type of retort is the water level. This study aims to evaluate the current standard water level, which was relatively high (70%), to achieve a more efficient process, as well as the validation of heat adequacy and product safety. The water level targets (45, 55, and 65%) were achieved by reducing the filling step time, which was determined by comparing the average existing water level to the target water level. The evaluation of heat adequacy was conducted by comparing the process pasteurization value with the standard pasteurization value using the 5D microbial reduction cycle concept. The results revealed that pasteurization with water levels below the current standard was sufficient to reduce *Escherichia coli* (*E. coli*) and *Bacillus polymyxa* (*B. polymyxa*). At water levels of 55 and 65%, validation was confirmed through the total plate count (0 CFU/mL) and *E. coli* (0 MPN/mL) analysis, which meet the required standards for blackcurrant smoothie beverages.*

Keywords: *pasteurization process, retort, smoothies, water level*

Abstrak. Minuman rasa buah *blackcurrant* PT XYZ memiliki karakteristik aktivitas air >0,85 dengan tingkat keasaman berkisar 3,8–4,2. Pada kondisi tersebut umur simpan dapat diperpanjang dengan proses pasteurisasi untuk mengeliminasi mikroba target yang masih bertahan pada pH <4,6. Proses pasteurisasi PT XYZ menggunakan retort dengan sistem rendaman air yang berputar. Salah satu parameter kecukupan panas dalam jenis retort ini adalah ketinggian air dalam *retort*. Penelitian ini bertujuan mengkaji ulang standar ketinggian air PT XYZ pada proses pasteurisasi minuman rasa buah yang selama ini telah diaplikasikan yaitu 70%. Angka tersebut dianggap terlalu tinggi sehingga diinginkan proses yang lebih efisien dan tervalidasi berdasarkan parameter kecukupan panas dan keamanan produk. Ketinggian air target (56, 55, dan 65%) diperoleh dengan menurunkan waktu tahapan *filling retort* yang ditentukan dengan membandingkan rata-rata ketinggian air aktual dengan ketinggian air target. Evaluasi kecukupan panas ditentukan dengan membandingkan nilai pasteurisasi proses dengan nilai pasteurisasi standar menggunakan konsep siklus pengurangan mikroba 5D. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses pasteurisasi dengan ketinggian air dibawah standar cukup untuk mereduksi bakteri *Escherichia coli* (*E. coli*) dan *Bacillus polymyxa* (*B. polymyxa*) sebanyak 5 siklus log. Pada proses dengan ketinggian air 55 dan 65%, telah tervalidasi dengan hasil analisis angka lempeng total (0 koloni/mL) dan *E. coli* (0 APM/mL) pada produk sehingga telah memenuhi persyaratan untuk minuman rasa buah *blackcurrant*.

Kata kunci: ketinggian air, minuman rasa buah, proses pasteurisasi, *retort*

Aplikasi Praktis: Penelitian ini memberikan informasi mengenai proses pasteurisasi menggunakan teknologi *retort* di PT XYZ, gambaran dalam perancangan desain penurunan ketinggian air dalam *retort*, dan parameter proses termal minuman rasa buah sesuai dengan persyaratan keamanan pangan. Data penelitian ini dapat menjadi referensi bagi industri serupa untuk melakukan optimasi proses termal dengan teknologi *retort* dengan tetap memastikan tercapainya kecukupan proses termal.

PENDAHULUAN

Minuman rasa buah rentan terhadap kerusakan oleh mikroorganisme seperti kapang, khamir, dan bakteri. Oleh karena itu diperlukan upaya untuk

mencegah kerusakan pada minuman. PT XYZ merupakan produsen minuman fungsional rasa buah dengan kandungan *plant stanol ester* (PSE) yang dapat menghambat penyerapan kolesterol di usus dan menurunkan kadar kolesterol sebesar 7,5–12% dengan asupan 3

gr/hari (Jones *et al.* 2018). Produk ini dikemas dalam botol plastik HDPE dan memiliki karakteristik aktivitas air (a_w) lebih dari 0,85 dengan tingkat keasaman berkisar 3,8–4,2. Menurut Rorong dan Wilar (2020) spora *Clostridium botulinum* dapat dihambat untuk bergerminasi pada pH <4,6 sehingga proses termal yang diterapkan untuk memperpanjang umur simpan produk cukup metode pasteurisasi. Kerusakan produk pangan asam misalnya pada sari buah tomat, disebabkan oleh bakteri termofil.

Tahap pasteurisasi merupakan salah satu *critical control point* (CCP) dalam proses produksi minuman rasa buah di PT XYZ. Proses ini dirancang untuk membunuh mikroba patogen yaitu *E. coli* dan mikroba pembusuk seperti *B. polymyxa* dengan target pengurangan mikroba sebanyak 99,999% atau 5 log (Ikrawan *et al.* 2023). *B. polymyxa* mampu tumbuh pada kondisi pH <4,6 dengan aktivitas air $\geq 0,85$ dan memiliki ketahanan terhadap panas yang cukup tinggi (Toledo *et al.* 2018), kondisi ini sesuai dengan karakteristik produk minuman rasa buah sehingga mikroba ini cocok menjadi mikroba target dalam proses pasteurisasi minuman rasa buah.

Salah satu alternatif teknologi pasteurisasi yang umum digunakan dalam industri minuman dengan melibatkan panas untuk meningkatkan suhu produk dalam kemasan tertutup, dikenal sebagai teknologi *retort*. Teknologi ini banyak digunakan karena aman, bebas bahan kimia, dan menghasilkan produk berkualitas tinggi dengan umur simpan yang panjang (Singh *et al.* 2018). *Retort* merupakan suatu alat berupa tabung besar bertekanan yang banyak digunakan pada proses pemanasan produk pangan yang telah dikemas dalam kemasan hermetis. PT XYZ menerapkan sistem *batch* dengan menggunakan sistem *retort* rendaman air yang berputar (*rotary water immersion retorts*). *Retort* ini berjalan dengan prinsip perendaman menggunakan air yang terlebih dahulu dipanaskan pada tabung pemanas. Air panas tersebut kemudian akan berpindah ke tabung proses dan disirkulasikan di dalamnya. Selama proses, keranjang dalam *retort* akan berputar sehingga seluruh produk akan terendam air. Air yang telah digunakan untuk memanaskan produk, kemudian masuk kembali ke tabung pemanas (Hariyadi 2017).

Rotary water immersion retort merupakan salah satu *retort* bertekanan tinggi yang medium prosesnya adalah air yang sangat panas. Pada *retort* jenis ini selain kombinasi suhu dan waktu yang perlu dijaga selama proses pasteurisasi untuk menjamin keamanan dan mutu produk (Pratama dan Abduh 2016), adalah level ketinggian air. Level ketinggian air merupakan indikator volume air yang terisi dalam *retort* menjadi salah satu parameter kecukupan panas produk. Level air yang terlalu rendah dapat menyebabkan kecukupan panas produk tidak memenuhi standar, namun ketinggian air yang terlalu tinggi dapat menyebabkan

berkurangnya efisiensi konsumsi energi maupun air (Manggala *et al.* 2020).

Menurut Stock (2018) proses *full immersion retort* menggunakan air dan energi untuk menghasilkan uap panas lebih tinggi dibandingkan dengan proses alternatifnya yaitu *half water immersion retort*. Proses pasteurisasi pada industri skala besar memerlukan keefisienan waktu dan proses produksi agar mampu meningkatkan kualitas dan kuantitas hasil produksi (Sholikhah dan Moentamaria 2022). PT XYZ menerapkan standar ketinggian air dalam *retort* yaitu 70%. Jika ketinggian air proses dibawah standar yang telah ditetapkan, maka produk akan ditahan sebelum didistribusikan. Produk akan divalidasi ulang untuk memastikan keamanan dan mutu tetap terjaga. Hal ini dapat menunda waktu distribusi dan dapat menyebabkan potensi kehilangan penjualan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji salah satu dari empat unit *retort* PT XYZ yaitu *retort* A, mengenai kecukupan panas produk minuman rasa buah *blackcurrant* dengan ketinggian air dibawah standar (70%) sehingga produk dengan ketinggian air yang lebih rendah (45, 55, dan 65%) dapat dipastikan keamanannya dan dapat langsung didistribusikan. Keaslian penelitian terletak pada evaluasi kondisi nyata di industri terkait ketinggian air *retort* serta dampaknya terhadap kecukupan panas dan keamanan produk. Evaluasi keamanan mikrobiologi produk difokuskan pada pencapaian target reduksi 5 log terhadap mikroba *B. polymyxa*.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan meliputi bahan untuk pembuatan produk minuman rasa buah. Bahan pembuatan meliputi air, isomaltulosa, *plant stanol ester*, susu skim bubuk, konsentrat buah, pengatur keasaman, pengemulsi nabati, perisa sintetis, pemanis buatan, natrium klorida (NaCl), antioksidan tokoferol, pewarna sintetis karmoisin dan biru berlian. Kemasan yang digunakan adalah botol berbahan HDPE. PT XYZ memproduksi beberapa jenis varian rasa minuman rasa buah yaitu rasa *blackcurrant*, *strawberry*, *yoghurt*, jeruk, dan leci. Pada penelitian ini pemilihan minuman rasa *blackcurrant* didasarkan pada kondisi aktual produksi di PT XYZ, pada periode pengambilan data kegiatan yang produksinya difokuskan pada varian rasa tersebut.

Adapun bahan yang digunakan dalam analisis meliputi aquades, media *plate count agar* (PCA), media *peptone buffer solution* (PBS), media *lauryl sulphate broth* (SLB), media *EC broth*, KH_2PO_4 , NaOH (1N), HCL (1N), dan alkohol 70%.

Identifikasi proses pasteurisasi dalam *retort*

Proses pembuatan minuman rasa buah diawali dengan tahap pencampuran *raw material* dengan air dan dihomogenisasi dalam *mixing tank*, kemudian dilakukan proses pasteurisasi awal dengan melewati produk pada *tubular heat exchanger* dengan suhu sebesar 90 °C selama 30 detik, yang selanjutnya ditampung di dalam *aseptic tank* selama menunggu proses pengisian *retort*. Pengisian produk dilakukan dalam botol plastik untuk selanjutnya ditutup dengan penutup berbahan alumunium. Produk dimasukkan ke dalam keranjang untuk kemudian dipasteurisasi menggunakan *retort* dengan suhu *holding* 100 °C dengan waktu 7 menit. Setelah produk dipasteurisasi, kemudian dilanjutkan dengan proses pelabelan sesuai dengan varian dan pengkodean sesuai tanggal produksi. Selanjutnya, dilakukan proses pengepakan dan disimpan untuk kemudian dilakukan proses sortir.

PT XYZ memiliki empat buah mesin *retort* dengan spesifikasi yang tidak berbeda yaitu *retort* A, B, C, dan D. *Retort* yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis *rotary water immersion retort*. *Retort* A memiliki posisi paling jauh dari *steam supply*, sedangkan *retort* D paling dekat dengan *steam supply*. *Retort* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *retort* A, untuk menggambarkan kondisi terburuk sebagai *retort* terjauh dari sumber uap dan umur *retort* yang lebih lama dibanding *retort* lainnya.

Perancangan formula target ketinggian air dan *filling time*

Pengumpulan data ketinggian air *existing* dan kecukupan panas produk dilakukan untuk mengetahui keadaan proses produksi. Pengumpulan data dilaksanakan dengan mengolah data ketinggian air yang telah dicatat oleh operator selama periode proses produksi Januari-Juni 2024 pada *retort* A. Rata-rata ketinggian air aktual yang tercatat selama periode tersebut dengan waktu *filling retort* selama 2 menit 10 detik adalah 81%.

Terdapat tiga rentang variasi ketinggian air target yang diujikan, ketinggian air 45% dipilih berdasarkan ketinggian air dalam *retort* terendah selama proses pasteurisasi, ketika terjadi kondisi ekstrem saat proses produksi, parameter kecukupan panas produk telah

diketahui nilainya. Pengujian dengan ketinggian air 55% menjadi batas antara kondisi ekstrem (45%) dan kondisi yang mendekati standar (65%) dan menjadi opsi yang dapat dipertimbangkan untuk efisiensi konsumsi air dan energi dibandingkan 65%. Selanjutnya, ketinggian air dalam *retort* sebesar 65% diujikan sebagai ketinggian referensi yang paling mendekati standar yaitu 70%.

Salah satu faktor yang dapat memengaruhi ketinggian air (*water level/WL*) adalah waktu pengisian air ke dalam *retort* (*filling time*), sehingga untuk memperoleh ketinggian air yang ditargetkan, perlu adanya pengaturan ulang waktu pengisian air ke tabung pemrosesan yang sesuai. Waktu pengisian air ke dalam *retort* dihitung menggunakan persamaan 1.

$$\frac{\text{Filling time existing (s)}}{\text{WL existing (\%)}} = \frac{\text{Target filling time (s)}}{\text{WL target (\%)}} \dots (1)$$

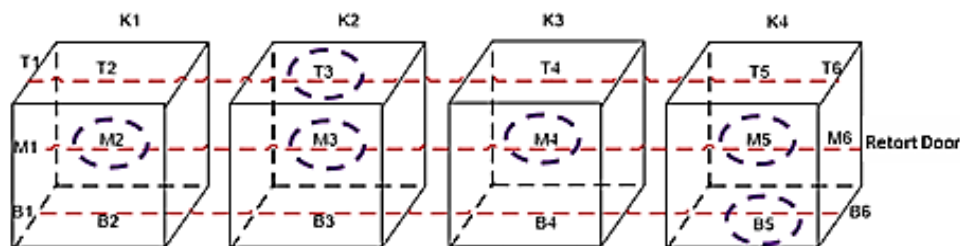
Pengujian penetrasi panas produk minuman rasa buah

Pada penelitian ini, data uji distribusi panas diperoleh dari data aktual, yaitu data validasi tahunan *retort* terbaru yang dilakukan pada Juli 2024. Pengujian distribusi panas proses diawali dengan menjalankan *retort* sesuai kondisi yang diterapkan PT XYZ yaitu dengan kemasan yang telah dilubangi dan dipasangkan *data logger*. *Data logger* akan mencatat perubahan suhu dalam *retort* setiap 10 detik. Data menunjukkan area bagian tengah yaitu *layer* ke-4 dalam keranjang merupakan area yang menerima panas lebih lambat.

Pengujian penetrasi panas mengacu pada prosedur Kusnandar *et al.* (2023) dan data distribusi panas. *Data logger* akan mengukur 3 skema ketinggian air. Titik peletakan enam *data logger* yang dipasangkan pada produk minuman rasa buah disajikan pada Gambar 1.

Analisis data kecukupan panas berdasarkan hasil penetrasi panas produk

Data hasil uji penetrasi yang tercatat oleh *data logger* menghasilkan kurva penetrasi panas dengan waktu (menit) sebagai sumbu x dan suhu (°C) sebagai sumbu y. Evaluasi kecukupan panas dihitung dengan menggunakan nilai *lethal rate* (LR) pada persamaan 2.



Keterangan: keranjang (K), *layer* ke-1 dalam keranjang ke-2 (T3), *layer* ke-4 dalam keranjang ke 1-4 (M2, M3, M4, M5), *layer* ke-7 dalam keranjang ke-4 (B5)

Gambar 1. Posisi *data logger* untuk penetrasi panas pada *rotary water immersion retort*

$$LR=10^{\frac{T-T_{Ref}}{z}} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan: T = suhu pengamatan (°C), Tr = suhu referensi mikroba target (100 °C), dan z = perubahan suhu untuk mengubah nilai D dari mikroba target sebesar 90% (°C)

Data LR digunakan untuk menghitung nilai pasteurisasi proses menggunakan *general method*. Nilai LR dibuat plot hubungan antara waktu dan terhadap nilai LR. Nilai pasteurisasi (P₁₀₀) pada suhu standar dihitung berdasarkan luasan dibawah kurva penetrasi panas sebagai jumlah total luasan trapesium seperti digambarkan pada persamaan 3 (Kusnandar *et al.* 2023).

$$P_{100} \text{ proses} = \sum_{t=0}^t \left(\frac{Lr_{n-1} + Lr_n}{2} \right) \Delta t \dots\dots\dots (3)$$

Nilai pasteurisasi proses yang digunakan dalam menentukan kecukupan panas proses didasarkan pada nilai P yang terkecil dari beberapa titik yang diujikan. Nilai pasteurisasi proses berdasarkan hasil perhitungan dibandingkan dengan nilai pasteurisasi standar masing-masing mikroba target pada siklus 5D (Mahdiyar *et al.* 2024). Nilai pasteurisasi standar diperoleh berdasarkan nilai D dan z pada suhu referensi sebesar 60 °C untuk *E. coli* dan 100 °C untuk *B. polymyxa* (Toledo 2018), Nilai pasteurisasi proses yang lebih kecil dari nilai pasteurisasi standar, menandakan proses pasteurisasi tidak mencukupi untuk membunuh mikroba target. Jika nilai P proses lebih besar daripada nilai P standar, maka proses pasteurisasi sudah mencukupi.

Analisis mikrobiologi dan mutu produk

Pengujian mutu produk minuman rasa buah dalam penelitian ini hanya dilakukan pada produk yang diproses dengan ketinggian air 55 dan 65%. Hal ini disebabkan pertimbangan teknis mengenai bagian rotor dalam *retort* oleh pihak dari divisi *engineering*. Pada ketinggian air di bawah 50% terdapat bagian rotor yang tidak terendam oleh air selama proses *retort* berjalan. Bagian yang tidak terendam dapat mengalami panas berlebih atau kegagalan sistem rotasi, kondisi ini dikhawatirkan dapat mengganggu kinerja *retort* di masa datang.

Analisis angka lempeng total (ALT)

Pengujian ALT menggunakan metode *pour plate* yang mengacu pada SNI 2987:2008. Inokulasi dimulai dengan memipet 1 mL sampel dari pengenceran 10⁻¹ ke dalam cawan petri. Selanjutnya sebanyak 15–20 mL media PCA dituangkan ke masing masing cawan. Sampel diinkubasi pada suhu 34–36 °C selama 24–48

jam. Perhitungan jumlah koloni cawan yang diambil adalah cawan yang mengandung 25–250 koloni.

Analisis *Escherichia coli* (APM)

Analisis *E. coli* menggunakan metode angka paling mungkin (APM) yang mengacu pada ISO 7251:2005. Sampel diencerkan hingga pengenceran 10⁻³. Masing-masing pengenceran diambil 1 mL dan dipindahkan pada tabung reaksi berisi tabung durham dan media LSB sebanyak 3 seri tabung untuk masing masing pengenceran. Setiap tabung diinkubasi pada suhu 37–38 °C selama 24 jam. Tabung yang tidak terlihat adanya gas, diinkubasi kembali untuk 24 jam berikutnya. Tabung reaksi yang positif ditandai dengan adanya pembentukan gas dan kekeruhan pada larutan, sehingga perlu dilanjutkan ke tahap praduga dan konfirmasi.

Pengukuran pH

Pengukuran pH mengacu pada prosedur yang dilakukan oleh Dari dan Junita (2020). Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui tingkat keasaman produk. Pengukuran pH dilakukan setelah produk selesai dipasteurisasi. Nilai pH produk dibandingkan dengan standar yang ditentukan oleh PT XYZ yaitu pada rentang 3,8–4,2.

Pengukuran tingkat kemanisan

Pengukuran tingkat kemanisan yang dilakukan dengan uji derajat brix menunjukkan kemanisan produk minuman rasa buah yang dapat dipengaruhi oleh lama proses pasteurisasi. Pengukuran dilakukan menggunakan alat refraktometer (Arroyo *et al.* 2020). Pengukuran derajat brix berguna agar produk minuman rasa buah tetap memiliki kadar gula yang sesuai dengan standar perusahaan yaitu nilai derajat brix berada pada rentang 8,4–9,4.

Uji warna produk

Pengukuran warna pada minuman rasa buah dilakukan menggunakan alat Chromameter. Prosedur pengukuran warna produk dilakukan mengacu pada Sanjaya *et al.* (2016). Pengukuran dimulai ketika lampu indikator menyala. Nilai L, a*, dan b* yang tertera pada layar lalu dicatat. L*a*b* merupakan standar internasional yang digunakan untuk pengukuran warna. Analisis warna dilakukan untuk membandingkan warna produk dengan ketinggian air *existing* dan sampel produk dengan ketinggian air rendah. Nilai perubahan warna (ΔE) dihitung menggunakan persamaan 4 (Bahanawan dan Sugiyanto 2020).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^2) + (\Delta a^2) + (\Delta b^2)} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan: ΔL = perubahan kecerahan (*Lightness*), Δa = perubahan merah-hijau (*Red-greenness*), Δb = perubahan kuning-biru (*Yellow-blueness*)

Uji mutu sensori produk

Uji mutu sensori dilakukan dengan metode uji segitiga untuk mengidentifikasi adanya perbedaan antar perlakuan ketinggian air 55 dan 65%. Prinsip kerja uji segitiga adalah mengidentifikasi adanya sampel yang berbeda aroma, tekstur, dan rasanya dari tiga sampel yang disajikan. Prosedur uji mengacu pada Soemaryoto (2016), pengujian dilakukan dengan menyajikan tiga sampel yang telah diberikan kode, dua sampel merupakan sampel yang sama dan satu sampel lainnya berbeda, sehingga peluang secara acak adalah 1/3 atau 33,3%. Pada taraf signifikansi 0,05 dengan jumlah panelis sebanyak 10 orang (n=10), berdasarkan tabel binomial untuk uji segitiga jumlah minimal panelis yang menjawab benar sebanyak 7 orang sehingga sampel dan pembanding dapat dinyatakan berbeda.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Profil proses pasteurisasi dalam rotary water immersion retort minuman rasa buah

Proses pasteurisasi pada *retort* terdiri dari beberapa tahapan. Diawali dengan tahap pengisian *retort* selama 2 menit 10 detik. Dilanjutkan dengan tahap *heating up* selama 5 menit 30 detik untuk menaikkan suhu *retort*. Tahap utama pasteurisasi berlangsung selama 7 menit pada suhu 100 °C. Setelah pasteurisasi, produk mengalami dua tahap proses pendinginan: pendinginan pertama selama 2 menit 15 detik hingga mencapai suhu 50 °C, dan pendinginan kedua selama 10 menit hingga mencapai suhu 30 °C. Proses diakhiri dengan tahap *draining* selama 2 menit 30 detik.

Pada penelitian ini, terdapat tiga parameter ketinggian air yang diamati yaitu ketinggian air pada ketinggian 45, 55, dan 65%. Berdasarkan pengamatan selama proses pasteurisasi, saat ketinggian air berada pada ketinggian 65%, air akan merendam produk hingga *layer* ke-5. Pada ketinggian 55%, air akan merendam produk hingga *layer* ke-4 sedangkan dengan ketinggian air 45%, air akan hanya merendam produk hingga *layer* ke-3.

Ketinggian air dalam retort

Nilai rata-rata ketinggian air aktual menggambarkan kondisi umum ketinggian air yang terjadi selama periode waktu enam bulan dan menentukan parameter waktu pengisian *retort* untuk mencapai ketinggian air target pada proses pasteurisasi. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa untuk mencapai kadar air 65% diperlukan waktu pengisian 1 menit 45 detik. Untuk

level target 55 dan 45%, perkiraan waktu pengisian *retort* adalah 1 menit dan 28 detik, serta 1 menit dan 13 detik.

Berdasarkan hasil pengolahan data, dilakukan pengamatan ketinggian air aktual menggunakan *dummy* yaitu botol kemasan minuman rasa buah yang diisi air dan umumnya digunakan untuk *trial* menggunakan *retort*. Uji coba dilakukan pada kondisi aktual proses pasteurisasi minuman rasa buah. Selain lamanya waktu pengisian *retort* yang diubah, parameter suhu, tekanan, dan waktu setiap tahapan selama proses pasteurisasi tetap mengikuti kondisi aktual proses. Hasil uji coba pengamatan waktu pengisian tabung proses (*filling time*) *retort* aktual selengkapnya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji coba pengamatan ketinggian air aktual

<i>Filling Time Retort</i> (menit:detik)	Ketinggian Air (%)
01:35	45
01:40	55
01:45	65

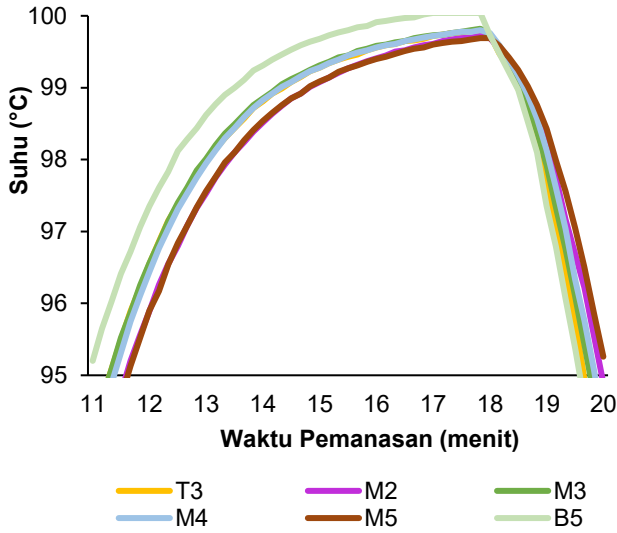
Pengujian pertama dilakukan menggunakan parameter *filling time* dengan target 55% dengan waktu *filling* 1 menit 28 detik. Namun, ketinggian air aktual hanya 35%, sehingga dilakukan penyesuaian waktu secara berkala. Setiap penambahan waktu sekitar 5–7 detik dapat menambah ketinggian air dalam *retort* sekitar 10%.

Profil penetrasi panas produk minuman rasa buah

Grafik uji penetrasi panas produk minuman rasa buah dengan ketinggian air 45, 55, dan 65% berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 2, 3, dan 4. Grafik yang ditunjukkan merupakan suhu saat tahapan *heating up* hingga mencapai suhu saat tahapan *holding* selama 7 menit. Grafik menunjukkan pola konsisten pada setiap skema ketinggian air, namun terdapat variasi pola kenaikan suhu yang cukup nyata antara setiap titik pengamatan. Pola pemanasan yang seragam ditunjukkan dengan jarak antar kurva yang lebih rapat atau kurva suhu dari semua titik hampir berhimpit satu sama lain. Pola ini sejalan dengan penelitian Kusnandar *et al.* (2023) yang menunjukkan kurva penetrasi panas cenderung memiliki pola yang seragam pada berbagai titik pengukuran, terutama pada fase *heating up* hingga *holding*.

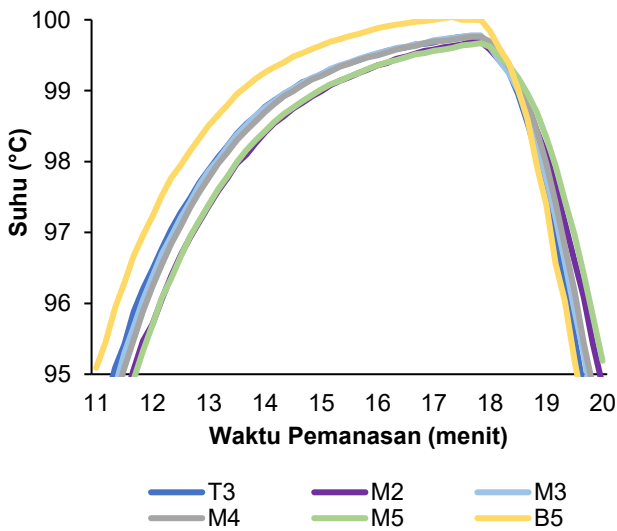
Kurva grafik titik B5 menunjukkan bahwa titik ini menerima panas lebih cepat. Hal ini dapat terjadi karena produk pada area tersebut lebih sering terkena uap udara (*steam-air*) dibandingkan pada area bagian tengah lainnya yang selalu terendam air. Menurut Adepoju *et al.* (2016) pada perpindahan panas saat produk terendam air terjadi secara konduksi, sedangkan saat produk terkena uap udara terdapat kombinasi perpindahan panas konveksi dan konduksi. Konveksi terjadi ketika adanya pergerakan udara, air, atau uap di sekitar produk, sedangkan sistem konduksi terjadi

melalui kontak fisik langsung. Efisiensi perpindahan panas konduksi bergantung dari material yang bersentuhan dengan kemasan produk, sedangkan pada perpindahan panas konveksi bergantung dari sirkulasi uap udara. Hal ini yang menyebabkan perpindahan panas lebih cepat ketika produk lebih sering terkena uap udara (*steam-air*).



Keterangan: garis merepresentasikan profil suhu selama proses pasteurisasi pada masing-masing titik penempatan *data logger* sesuai dengan posisi pada Gambar 1

Gambar 2. Grafik penetrasi panas produk minuman rasa buah ketinggian air 45%



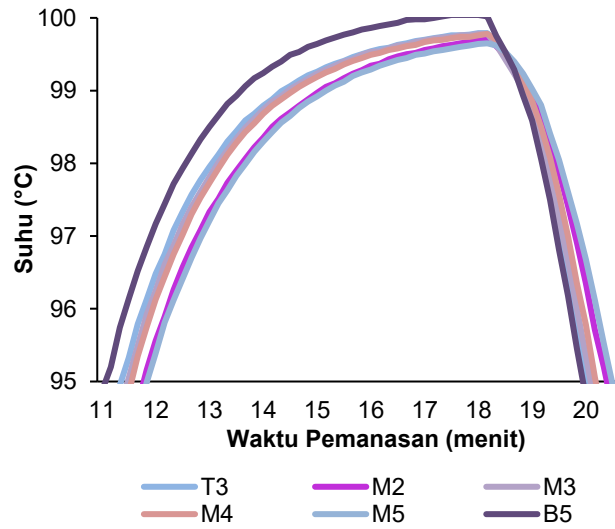
Keterangan: garis merepresentasikan profil suhu selama proses pasteurisasi pada masing-masing titik penempatan *data logger* sesuai dengan posisi pada Gambar 1

Gambar 3. Grafik penetrasi panas produk minuman rasa buah ketinggian air 55%

Kecukupan panas proses pasteurisasi

Variasi penempatan *data logger* menunjukkan nilai pasteurisasi yang bervariasi untuk setiap tempat. Perhitungan nilai *lethal rate* dan nilai pasteurisasi

proses menggunakan persamaan 2 dan 3. Nilai pasteurisasi proses yang diperoleh oleh setiap mikroba target berbeda bergantung dari ketahanan panas mikroba tersebut.



Keterangan: garis merepresentasikan profil suhu selama proses pasteurisasi pada masing-masing titik penempatan *data logger* sesuai dengan posisi pada Gambar 1

Gambar 4. Grafik penetrasi panas produk minuman rasa buah ketinggian air 65%

Nilai pasteurisasi untuk *E.coli* berkisar pada 6–7 menit, sedangkan untuk *B. polymyxa* nilai pasteurisasi berkisar pada 5–6 menit. Selisih nilai P_{100} antara titik pengamatan tetap berada dalam rentang yang relatif kecil yaitu kurang dari 1 menit. Data ini mengonfirmasi keseragaman persebaran panas pada proses pasteurisasi dalam *rotary water immersion retort* yang sebelumnya digambarkan pada grafik pola penetrasi panas.

Berdasarkan Tabel 2 dan 3 diketahui bahwa pada ketinggian air 55%, nilai pasteurisasi proses lebih rendah. Hal ini disebabkan adanya variasi suhu awal titik yang sama pada waktu pengukuran penetrasi panas. Suhu awal produk pada ketinggian air 55% berada pada rentang 26–29 °C, sedangkan pada skema ketinggian air 65 dan 45% suhu awal yang terekam berkisar antara 35–37 °C. Perbedaan suhu awal disebabkan adanya perbedaan masa tunggu sebelum produk dimasukkan ke dalam *retort*. Pengujian dilakukan pertama kali dengan ketinggian 55%, sehingga produk dalam kemasan yang berisi *data logger* masih berada pada suhu ruang dan belum melewati proses pasteurisasi dalam *retort*.

Nilai D dan z mikroba target yang digunakan dalam penelitian ini berbeda-beda bergantung dari resistensi mikroba tersebut terhadap panas. Informasi mengenai nilai D dan z setiap mikroba target disajikan pada Tabel 4.

Tabel 2. Nilai pasteurisasi proses *E. coli*

Ketinggian Air (%)	Nilai Pasteurisasi Proses <i>E. coli</i> (menit)					
	T3	M2	M3	M4	M5	B5
45	6,487	6,354	6,586	6,596	6,401	7,127
55	6,372	6,190	6,408	6,390	6,255	7,016
65	6,774	6,536	6,724	6,735	6,508	7,376

Tabel 3. Nilai pasteurisasi proses *B. polymyxa*

Ketinggian Air (%)	Nilai Pasteurisasi Proses <i>B. Polymyxa</i> (menit)					
	T3	M2	M3	M4	M5	B5
45	5,765	5,580	5,861	5,868	5,631	6,490
55	5,650	5,413	5,682	5,665	5,484	6,386
65	6,035	5,731	5,974	5,979	5,703	6,723

Tabel 4. Evaluasi nilai kecukupan panas proses pasteurisasi minuman rasa buah

Target Pasteurisasi	T ref (°C)	Nilai z (°C)	Nilai D (menit)	D ₁₀₀ (menit)*	P ₁₀₀ Standar (konsep 5D) (min)**	P ₁₀₀ Proses Tercapai (menit)		
						WL 45%	WL 55%	WL 65%
<i>E. coli</i> ¹	60,0	6,90	0,33	0,0000005	0,000003	5,58	5,41	5,70
<i>B. polymyxa</i> ¹	100,0	8,90	0,50	0,50	2,50	6,35	6,19	6,51

Keterangan: ¹Toledo (2018), *Nilai D₁₀₀ dihitung menggunakan persamaan $D_{100}=D_0 \times 10^{\frac{(T_{ref}-T)}{z}}$, **Nilai standar P₁₀₀ value dihitung menggunakan persamaan: $P_{100}= 5 \times D_{100}$

Mutu mikrobiologi minuman rasa buah

Analisis mikrobiologi bertujuan untuk memastikan produk minuman rasa buah telah memenuhi standar perusahaan dan regulasi batas cemaran mikroba yang berlaku untuk produk pangan yang diasamkan. Hasil analisis *E. coli*, menunjukkan tidak terjadi kekeruhan pada media dan tidak adanya pembentukan gas dalam tabung Durham. Hasil ini menandakan seluruh sampel minuman rasa buah yang diuji menunjukkan hasil 0 MPN/mL *E. coli*. Analisis total mikroba dengan ALT menggunakan media PCA pada sampel menunjukkan tidak terdapat koloni yang muncul (0 koloni/mL). Penelitian minuman rasa lemon Ikrawan *et al.* (2023) menunjukkan hasil yang serupa yaitu peningkatan suhu pasteurisasi berbanding terbalik dengan nilai ALT, sehingga semakin tinggi suhu proses maka jumlah mikroorganisme yang bertahan semakin rendah. Hasil ini menunjukkan produk akhir sudah memenuhi standar perusahaan yaitu <10 koloni/mL untuk ALT dan <3 MPN/mL untuk *E. coli* dan mengonfirmasi proses pasteurisasi minuman rasa buah.

Nilai pH dan derajat kemanisan minuman rasa buah

Nilai pH dan derajat kemanisan (derajat brix) merupakan atribut mutu produk minuman rasa buah yang diukur dan merupakan parameter *release product*. Nilai pH dan nilai derajat brix produk minuman rasa buah pada ketinggian air 65 dan 55%, terukur masih pada rentang pH yang ditetapkan oleh perusahaan. Penelitian Dari dan Junita (2020) mengenai pH sari buah, didapatkan nilai berkisar pH 3,0 dan 4,0. Hasil pengukuran pH dan derajat brix sebanyak 2 kali pengulangan selengkapya dapat dilihat pada

Tabel 5. Hasil pengukuran menunjukkan presisi yang cukup baik, ditandai dengan nilai %RSD ≤2%. Menurut Dudhgaonkar *et al.* (2022) ketelitian ditunjukkan dengan nilai %RSD, dan kriteria suatu analisis untuk dikatakan presisi adalah nilai %RSD tidak lebih dari 2%.

Kualitas sensori minuman rasa buah

Uji segitiga dilakukan untuk mendeteksi adanya perbedaan antara dua produk (sampel dan pembandingan) serta mengidentifikasi perbedaan kecil dengan sifat yang lebih terarah. Setiap sampel dengan variasi ketinggian air yang berbeda menghasilkan kurang dari tujuh jawaban benar dari 10 panelis. Sampel dengan ketinggian air (65%) mendapatkan dua jawaban benar, dan untuk ketinggian air (55%) ada empat jawaban benar. Hasil ini menunjukkan kedua sampel tidak berbeda nyata secara keseluruhan atribut dengan sampel produk yang diproduksi dengan ketinggian air aktual pada taraf signifikansi 0,05.

Warna minuman rasa buah

Uji warna dilakukan untuk mengetahui kemungkinan perubahan visual. Produk minuman rasa buah yang dianalisis pada penelitian ini adalah minuman rasa buah *blackcurrant* yang mempunyai warna utama berwarna ungu muda dengan salah satu komposisi utamanya adalah gula. Pasteurisasi dapat mengakibatkan terjadinya perubahan warna ungu muda yang cerah menjadi warna ungu yang lebih gelap karena terjadinya reaksi kimia yang terpengaruh suhu tinggi.

Tabel 5. Nilai pH dan derajat brix minuman rasa buah

Parameter	Ketinggian Air (%)	Rata-rata	Standar Deviasi	%RSD	Standar Perusahaan
pH	65	3,95	0,014	0,35	3,8–4,2
	55	3,94	0,021	0,53	
Derajat brix (%)	65	8,60	0,141	1,64	8,4–9,4
	55	8,90	0,141	1,58	

Hasil pengujian karakteristik warna disajikan pada Tabel 6. Berdasarkan penelitian Dari dan Junita (2020) perubahan warna kuning kecokelatan pada sari buah pedada terjadi karena dari akumulasi penambahan gula dan pemrosesan termal yang disebabkan oleh reaksi pencokelatan.

Tabel 6. Hasil pengujian warna minuman rasa buah setelah pasteurisasi

Notasi Warna	Sampel		
	WL 70% (Aktual)	WL 65%	WL 55%
L*	68,79	67,40	67,10
a*	12,92	11,97	13,07
b*	-5,42	-5,07	-5,00
ΔL*		-0,38	-0,67
Δa*		-0,33	0,76
Δb*		0,15	0,23
ΔE		0,14	0,54

Berdasarkan nilai L*, a*, b* pada minuman rasa buah terjadi sedikit penurunan tingkat kecerahan warna (L*) serta warna kebiruan (b*). Nilai delta L* (ΔL*) yang menunjukkan nilai negatif menunjukkan bahwa sampel sedikit lebih gelap dibandingkan produk aktual sebagai pembanding. Perubahan warna yang menjadi sedikit lebih gelap dapat disebabkan oleh reaksi pencokelatan oleh gula yang terkandung pada minuman rasa buah karena terkaramelisasi saat suhu tinggi. Menurut Hartanto *et al.* (2021) nilai delta ΔE <1 menunjukkan tidak adanya perbedaan signifikan antara sampel dan pembanding. Hal ini menunjukkan berdasarkan parameter warna produk dengan ketinggian air yang rendah tidak berbeda signifikan dengan produk dengan ketinggian air yang lebih tinggi.

Hasil analisis kecukupan panas dan pengujian mutu produk menunjukkan ketinggian air 55% dalam *retort* dapat direkomendasikan sebagai pilihan yang optimal untuk proses pasteurisasi minuman rasa buah. Penggunaan air yang lebih rendah dibandingkan pada ketinggian 65%, dapat meningkatkan efisiensi proses produksi. Selain itu, pilihan ketinggian air 55% lebih disarankan dibandingkan 45% karena penggunaan air di bawah 50% berisiko menyebabkan kerusakan pada rotor *retort* apabila digunakan secara berulang.

KESIMPULAN

Penambahan waktu tahapan *filling rotary water immersion retort* selama 5–7 detik, dapat menambah ketinggian air dalam *retort* sebesar 10%. Selain variasi

penempatan produk, variasi suhu awal produk dapat memengaruhi nilai pasteurisasi produk. Meskipun terdapat variasi nilai pasteurisasi antar titik pengamatan pada setiap ketinggian air, menunjukkan bahwa persebaran panas dalam *retort* masih cukup seragam. Hasil evaluasi kecukupan panas produk minuman rasa buah menunjukkan bahwa proses pasteurisasi dengan ketinggian air dibawah standar (70%) sudah mencukupi untuk menginaktivasi *E. coli* dan mereduksi mikroba target *B. Polymyxa*.

Produk minuman rasa buah *blackcurrant* dengan ketinggian air 55 dan 65%, telah memenuhi persyaratan perusahaan yaitu, <10 koloni/mL untuk ALT dan <3 MPN/mL untuk *E. coli*. Produk minuman rasa buah berdasarkan parameter pH dan brix juga telah memenuhi standar yang telah ditetapkan oleh PT XYZ. Berdasarkan hasil uji segitiga dan uji warna sampel produk dengan ketinggian air dibawah standar dinyatakan tidak berbeda nyata dengan produk dengan ketinggian air standar. Hal ini menunjukkan penggunaan ketinggian air yang lebih rendah tetap menghasilkan produk dengan mutu yang sebanding dengan produk standar. Ketinggian air 55% direkomendasikan sebagai pilihan optimal untuk proses pasteurisasi minuman rasa buah dari segi efisiensi, kecukupan panas, keamanan, dan mutu produk.

DAFTAR PUSTAKA

Adepoju MA, Omitoyin BO, Mohan OC, Zynudheen AA. 2016. Heat penetration attributes of milkfish (*Chanos chanos*) thermal processed in flexible pouches: a comparative study between steam application and water immersion. *Food Sci Nutr.* 5 (3): 521–524. doi:10.1002/fsn3.426

Arroyo BJ, Bezerra AC, Oliveira LL, Arroyo SJ, Melo EA, Santos AMP. 2020. Antimicrobial active edible coating of alginate and chitosan add ZnO nanoparticles applied in guavas (*Psidium guajava* L.). *Food Chem.* 309: 125566. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125566

Bahanawan A, Sugiyanto K. 2020. Pengaruh pengeringan terhadap perubahan warna penyusutan tebal, dan pengurangan berat empat jenis bambu. *J Penelitian Hasil Hutan.* 38 (2): 69–80. doi: 10.20886/jphh.2020.38.2.69-80

Dari DW, Junita D. 2020. Karakteristik fisik dan sensori minuman sari buah pedada. *J Pengolahan*

- Hasil Perikanan Indonesia*. 23 (3): 532–541. doi: 10.17844/jphpi.v23i3.33204
- Dudhgaonkar TD, Lade PD, Chopade VV, Baravkar AA, Jadhav PA. 2022. HPLC method development and validation of rabeprazole and levosulpiride in its bulk and dosage form. *Int J Pharm Sci Drug Res.* 14 (4): 378–384. doi:10.17844/jphpi.v23i3.33204
- Hartanto R, Fitri SR, Kawiji K, Prabawa S, Sigit B, Yudhistira B. 2021. Analisis fisik, kimia, dan sensoris teh bunga krisan putih dengan penge-
ringan kabinet. *Agrointek J Teknologi Industri Pertanian.* 15 (4): 1011–1025. doi: 10.21107/agrointek.v15i4.10531
- Hariyadi P. 2017. *Teknologi proses termal untuk industri pangan*. Bogor (ID): PT Media Pangan Indonesia.
- Ikrawan Y, Rukmana J, Gozaly T, Triani R, Salam WQ. 2023. Pengaruh suhu pasteurisasi dengan menggunakan metode *ohmic heating* terhadap karakteristik minuman fungsional sari buah jeruk lemon. *J Penelitian Pertanian Terapan.* 23 (4): 590–600. doi:10.25181/jppt.v23i4.3245
- Jones PJH, Shamloo M, Mackay DS, Rideout TC, Myrie SB, Plat J, Rouillet JB, Baer JD, Calkins KL, Davis HR, Duell PB, Ginsberg H, Gylling H, Jenkins D, Lütjohann D, Moghadasian M, Moreau RA, Mymin D, Ostlund RE, Ras RT, Reparaz JO, Trautwein EA, Turley S, Vanmierlo T, Weingärtner O. 2018. Progress and perspectives in plant sterol and plant stanol research. *Nutr Rev.* 76 (10): 725–746. doi: 10.1093/nutrit/nuy032
- Kusnandar F, Dafiq HH, Rahayu WP, Irmawan D. 2023. Evaluasi kecukupan panas dan pengembangan proses alternatif dalam sterilisasi komersial jamur kancing dalam kaleng. *J Mutu Pangan.* 10 (2): 100–107. doi: 10.29244/jmpi.2023.10.2.100
- Mahdiyari D, Purnomo EH, Hermanianto J. 2024. Evaluasi kecukupan panas proses pasteurisasi saus tomat di PT XYZ dan dampaknya terhadap umur simpan. *J Teknologi dan Industri Pangan.* 35 (2): 152–161. doi:10.6066/jtip.2024.35.2.152
- Manggala A, Fatria, Iestari SP, Naim BM, Sastama N. 2020. Pengaruh level ketinggian air terhadap *saturated steam* pada *cross section water tube boiler* menggunakan bahan bakar gas dan solar. *J Kinetika.* 11 (2): 26–30.
- Pratama Y, Abduh SBM. 2016. Perlakuan panas mendidih pada pembuatan *milk-tea* dalam kemasan (kajian pada industri skala kecil). *J Pangan Gizi.* 7 (13): 1–11.
- Rorong JA, Wilar WF. 2020. Keracunan makanan oleh mikroba. *Techno Sci J.* 2 (2): 47–60.
- Sanjaya YD, Sumardianto S, Riyadi P. 2016. The effect of roselle (*Hibiscus sabdariffa* Linn.) extract addition to color and quality of shrimp (*Acetes* sp.) *J Peng & Biotek Hasil Pi.* 5 (2): 1–9.
- Sholikhah AM, Moentamaria D. 2022. Perancangan *plate heat exchanger* sebagai *high temperature short time pasteurizer* susu. *J Teknologi Seperasi.* 8 (3): 604–613. doi:10.33795/distilat.v8i3.394
- Singh AP, Yen PP-L, Ramaswamy HS, Singh A. 2018. Recent advances in agitation thermal processing. *Current Opinion Food Sci.* 23: 90–96. doi: 10.1016/j.cofs.2018.07.001
- Soemaryoto. 2016. Pengaruh penggunaan asam tinggi terhadap tingkat preferensi konsumen dan umur simpan produk permen. *J Agroindustri Halal.* 2 (1): 38–43. doi:10.30997/jah.v2i1.347
- Stock. 2018. Energy saving: half-water immersion sterilization for increased efficiency. Rendsburger Str. 93. Jerman. [diakses pada 16 Oktober 2024]. <https://www.dft-technology.de/en/products/energy-saving.php>
- Toledo RT, Singh RK, Kong F. 2018. *Fundamentals of Food Process Engineering*. 4th edition. Georgia (GE): Springer. doi:10.1007/978-3-319-90098-8