

Evaluasi Kecukupan Panas dan Pengembangan Proses Alternatif dalam Sterilisasi Komersial Jamur Kancing dalam Kaleng

Heat Treatment Adequacy Evaluation and Redesign of Commercial Sterilization Process for Canned Button Mushrooms

Feri Kusnandar^{1)*}, Huda Hainun Dafi¹⁾, Winiati P. Rahayu^{1,2)}, Dandy Irmawan³⁾

¹⁾ Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University, Bogor

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

³⁾ Praktisi Industri Pangan, Jawa Timur

Abstract. *This research aimed to evaluate the adequacy of heat treatment and redesign the commercial sterilization process for canned button mushrooms to ensure that the product meets the minimum sterilization requirement without undergoing excessive processes. The study conducted tests on heat distribution and penetration, calculated the sterilization value (F_0) using the trapezium and Ball methods, and designed an alternative sterilization process to avoid excessive procedures. The sterilization process for canned mushrooms, with a can dimension of 300x407, involved a temperature of 132°C for 16 minutes, resulting in an F_0 value of 161.7 minutes. This value far exceeds the required minimum F_0 value. To optimize the process, an alternative sterilization procedure was developed. It involved a temperature of 126°C, a process time of 10 minutes, and an initial product temperature of 40–50°C. This alternative process yielded an F_0 value of 10 minutes. Furthermore, additional alternative process conditions were designed, with considerations to various process times (Pt), initial temperatures (T_i), retort temperatures (T_R), and F_0 values.*

Keywords: *canned mushrooms, commercial sterilization, F_0 value, heat distribution, heat penetration*

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kecukupan panas dan merancang ulang proses sterilisasi komersial jamur kancing dalam kaleng untuk memastikan bahwa produk memenuhi standar sterilisasi minimum yang diperlukan tanpa mengalami proses yang berlebihan. Dalam penelitian ini dilakukan uji distribusi dan penetrasi panas, menghitung nilai sterilisasi (F_0) dengan metode trapesium dan Ball, serta merancang proses alternatif dalam sterilisasi agar tidak terjadi proses yang berlebihan. Proses sterilisasi yang diterapkan (132°C, 16 menit) untuk jamur kaleng (dimensi kaleng 300x407) memberikan nilai F_0 sebesar 160,8 menit yang jauh melebihi nilai F_0 minimal yang dipersyaratkan. Rancangan proses alternatif sterilisasi pada suhu 126°C dengan waktu proses selama 10 menit dan suhu awal produk 40–50°C memberikan nilai F_0 sebesar 10 menit. Kondisi proses alternatif lainnya juga telah dapat dirancang pada berbagai waktu proses (Pt), suhu awal (T_i), suhu *retort* (T_R), dan nilai F_0 .

Kata kunci: jamur kaleng, nilai F_0 , distribusi panas, penetrasi panas, sterilisasi komersial

Aplikasi Praktis: Penelitian ini dapat dijadikan sebagai panduan bagi industri pangan terutama yang bergerak di bidang pangan steril komersial agar mampu mengevaluasi dan menyusun rancangan proses alternatif sterilisasi untuk menghasilkan produk makanan kaleng yang memenuhi persyaratan (melampaui nilai F_0 minimal) namun tidak mengalami pemanasan yang berlebihan (*over-process*) yang dapat menyebabkan penurunan mutu produk.

PENDAHULUAN

Pola hidup masyarakat di perkotaan yang sibuk dengan mobilitas yang tinggi memerlukan pangan yang praktis dan dapat disiapkan secara singkat. Hal ini berakibat terjadinya perubahan kebiasaan masyarakat yang semula hanya mengonsumsi masakan yang disiapkan di rumah menjadi berangsur mengonsumsi pangan yang siap makan (*ready to eat*) dan siap masak (*ready to cook*) (Bae *et al.* 2010; Temgire *et al.* 2021). Salah satu pangan siap makan yang banyak berkembang dan

praktis, serta menjadi pilihan masyarakat karena rasanya yang enak adalah jamur dalam kemasan kaleng. Jamur dalam kemasan kaleng dapat disiapkan dengan lebih mudah dan singkat sebagai sayuran yang dapat dicampur dengan makanan lainnya sebagai lauk pauk. Jenis jamur yang banyak dikalengkan adalah jamur merang, jamur shitake, jamur kancing, dan sebagainya.

Jamur dalam kemasan kaleng termasuk ke dalam kategori pangan 04.2.2.0 berdasarkan Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 21 tahun 2016 tentang Kategori Pangan, yaitu sayur dalam kemasan kaleng, botol atau *retort pouch* yang diproses melalui tahapan pembersihan, blansir, dan pemasukan dalam

*Korespondensi: fkusnandar@apps.ipb.ac.id

kemasan dengan penambahan larutan garam atau media lainnya, dan dilakukan proses pemanasan (BPOM 2016). Proses pemanasan umumnya dilakukan dengan menggunakan *retort* bertekanan uap (*steam retort*) apabila digunakan kemasan kaleng, atau *retort* dengan tekanan berlebih (*over-pressure retort*) apabila digunakan kemasan *retort pouch*, gelas, atau kemasan lain yang tidak tahan tekanan tinggi. Tujuan utama dari proses pemanasan ini adalah untuk membunuh mikroorganisme (pembusuk dan anaerobik) serta memperpanjang umur simpannya (Yuswita 2014).

Jamur dalam kaleng termasuk kelompok pangan berasam rendah (*low acid food*), karena memiliki pH >4,5 dan $a_w > 0,85$ (Hariyadi 2008). Pada saat didistribusikan, jamur dalam kaleng umumnya disimpan pada suhu ruang (tanpa refrigerasi). Dengan karakteristik tersebut, maka jamur dalam kaleng termasuk kelompok pangan berisiko tinggi (*high-risk product*), yaitu produk yang berpotensi untuk ditumbuhi oleh mikroba anaerobik, khususnya *Clostridium botulinum* (Nookaraju *et al.* 2017) yang merupakan bakteri patogen pembentuk spora. Pangan yang berasam rendah yang dikalengkan dan disimpan pada suhu ruang harus dilakukan proses sterilisasi komersial dengan nilai sterilitas minimal atau nilai F_0 sebesar 3,0 menit, sesuai Peraturan BPOM Nomor 27 tahun 2021 tentang Persyaratan Pangan Olahan Berasam Rendah Dikemas Hermetis. Hal yang sama juga diatur oleh CFR (2023) yang mensyaratkan proses sterilisasi komersial terhadap kelompok pangan berasam rendah yang dikalengkan untuk dapat mencapai tingkat pembunuhan *C. botulinum* hingga 10^{-9} CFU/mL dengan asumsi jumlah mikroba awal adalah 10^3 CFU/mL atau setara dengan tingkat pembunuhan mikroba sebesar 12 siklus logaritma (Murano 2014). Dengan risiko keamanan pangan yang tinggi, pangan steril komersial harus memenuhi persyaratan nilai F_0 dan produsen diwajibkan untuk mengikuti Program Manajemen Risiko (BPOM 2021).

Proses produksi jamur kaleng secara komersial diawali dengan tahap persiapan yang mencakup proses pembersihan dan pencucian jamur (*washing*), blansir (*blanching*), pendinginan (*cooling*), sortasi dan *grading*, dan pemotongan (*slicing*). Proses dilanjutkan dengan pemasukan jamur ke dalam kaleng (*filling*), pengisian media (misalnya larutan garam), pengeluaran udara dari kaleng (*exhausting*), dan penutupan kaleng (*seaming*). Proses sterilisasi komersial merupakan proses utama yang bertujuan untuk membunuh mikroba. Proses sterilisasi komersial dilakukan dengan menggunakan *retort* uap (*steam retort*) yang umumnya dilakukan pada suhu standar (121,1°C atau 250°F). Selain tujuan utamanya untuk membunuh mikroba target *C. botulinum*, proses sterilisasi komersial juga meningkatkan keawetan produk dengan membunuh mikroba pembusuk, memperbaiki mutu sensori, melunakkan jaringan produk, meningkatkan daya cerna protein dan karbohidrat, serta menghancurkan komponen antinutrisi (Hartle *et al.* 2016). Proses sterilisasi yang berlebihan (*overprocessing*) tidak diinginkan karena dapat merusak kom-

ponen gizi dan menurunkan mutu sensori produk (Pratama dan Abduh 2016). Proses sterilisasi yang berlebihan dilaporkan oleh Hariyadi (2008) cukup banyak terjadi pada produk makanan kaleng di Indonesia. Oleh karena itu, perlu ditetapkan kombinasi suhu dan waktu selama proses sterilisasi komersial yang dapat menjamin tingkat sterilitas yang memadai (sesuai persyaratan), namun produk yang dihasilkan masih memiliki mutu (nilai gizi dan sensori) yang baik (Choi *et al.* 2013; Tang *et al.* 2014).

Proses sterilisasi komersial dapat dilakukan secara optimum yang memenuhi persyaratan keamanan pangan (nilai F_0 mencukupi) serta mutu (produk tidak menerima proses pemanasan yang berlebihan) dengan melakukan validasi proses sterilisasi. Validasi umumnya dilakukan melalui dua tahap, yaitu dengan melakukan uji distribusi panas (*heat distribution test*) dan uji penetrasi panas (*heat penetration test*) (Hariyadi 2008; Pursito *et al.* 2020; Nurhikmat *et al.* 2016). Uji distribusi panas bertujuan untuk menentukan waktu *venting*, yaitu waktu yang diperlukan agar suhu di seluruh bagian *retort* telah sama. Waktu *venting* terutama ditetapkan untuk jenis *retort* uap (*steam retort*). Uji distribusi panas juga bertujuan untuk menetapkan *come up time* (CUT), yaitu waktu yang diperlukan oleh *retort* untuk mencapai suhu proses sterilisasi. Uji distribusi panas juga dapat diketahui bagian di dalam *retort* yang paling lambat menerima panas. Uji distribusi panas dilakukan dengan mengukur perubahan suhu di dalam *retort* dengan menggunakan termokopel (*thermocouple*) dan perekam data (*data logger*) selama proses pemanasan.

Evaluasi kecukupan panas didasarkan pada uji penetrasi panas ke dalam produk (Singh and Heldman 2009). Uji penetrasi panas bertujuan untuk mengetahui profil penetrasi panas ke dalam produk selama proses di dalam *retort* (pada fase pemanasan dan pendinginan). Uji penetrasi panas dilakukan dengan mengukur perubahan suhu produk di bagian titik terdinginnya (*the coldest point*) dengan menggunakan termokopel dan perekam data. Produk yang dipasang termokopel diletakkan di bagian *retort* yang paling lambat menerima panas berdasarkan hasil uji distribusi panas sebelumnya. Data uji penetrasi panas (waktu terhadap suhu) selanjutnya diolah untuk dapat ditentukan nilai F_0 . Apabila hasil pengolahan data menunjukkan nilai F_0 lebih dari 3,0 menit, maka proses sterilisasi dinyatakan telah mencukupi persyaratan, dan sebaliknya. Metode perhitungan nilai F_0 dapat menggunakan metode trapesium atau metode formula (Ball) (Sing and Heldman 2009).

Praktik sterilisasi komersial di industri pengalengan sering kali melampaui nilai F_0 yang dipersyaratkan, sehingga terjadi proses pemanasan yang berlebihan atau *over-processing* (Hariyadi 2008). Di samping boros dari segi penggunaan energi, proses sterilisasi yang berlebihan juga mengakibatkan penurunan mutu produk, baik dari segi kandungan zat gizi maupun sensori (Peesel *et al.* 2016; Saragih *et al.* 2021). Data uji penetrasi panas dapat digunakan untuk optimasi proses sterilisasi, yaitu dengan cara menetapkan kombinasi suhu dan waktu

yang dapat memberikan nilai F_0 yang tidak berlebihan. Metode formula (Ball) merupakan metode yang banyak digunakan untuk melakukan optimasi proses sterilisasi (Featherstone 2015). Penelitian mengenai jamur dalam kaleng telah dilaporkan (Sucipto *et al.* 2017; Arora *et al.* 2015), namun belum banyak yang fokus pada evaluasi kecukupan proses sterilisasi dan perancangan proses alternatif untuk optimasi proses sterilisasinya. Pursito *et al.* (2020; 2022) melaporkan mengenai proses sterilisasi komersial jamur dalam kaleng yang dikaitkan dengan konsumsi energi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kecukupan proses sterilisasi jamur yang dikemas dalam kaleng, dan mengembangkan proses alternatif (kombinasi waktu dan suhu sterilisasi) yang dapat memberikan nilai F_0 yang optimal, dengan mengambil kasus di PT XYZ. Penelitian ini sangat bermanfaat bagi perusahaan agar produk jamur dalam kaleng yang dihasilkan dapat memenuhi persyaratan nilai F_0 namun dapat mencegah terjadinya proses yang berlebihan sehingga dapat tetap mempertahankan mutu produknya.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah jamur kancing, air, kaleng, dan produk jamur dalam kaleng. Jamur disiapkan dalam bentuk jamur kancing yang dipotong-potong (*sliced*). Kemasan kaleng yang dipakai adalah jenis *tin plate can* berukuran 300x407. Alat yang digunakan adalah *retort* bertekanan dengan media pemanas uap (*horizontal static retort*) berdiameter 1,25 m dan panjang 2,35 m (Chi Yinfa, Taiwan), *intelligent digital vortex flow meter, flow totalizer* (Yantai Auto Instrument Making Co. Ltd.), sumber uap (*steam header*), *thermocouple* (TC) dan *data logger* atau *thermorecorder* (buatan produsen Amerika Serikat), dan *laptop*. *Data logger* yang digunakan sebanyak tiga buah (nomor seri PV 161604 (*logger 1*), PV 161606 (*logger 2*), dan PV 161607 (*logger 3*)). Spesifikasi produk yang mengalami uji penetrasi panas disajikan pada Tabel 1.

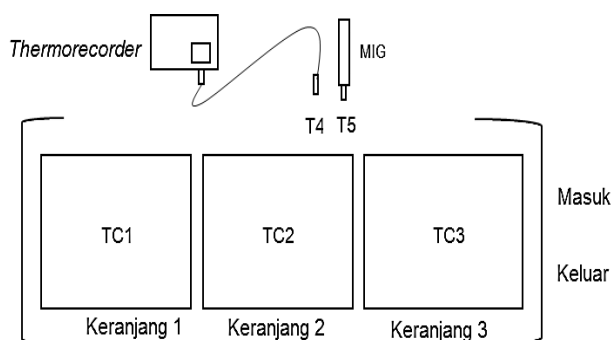
Tabel 1. Spesifikasi produk jamur dalam kaleng

Parameter	Keterangan
Nama produk	Jamur dalam kaleng
Jenis bahan	Jamur kancing, air, garam
pH produk	4,5–6,2
Bobot padatan	425 g
Jenis kemasan	<i>Tin plate can</i>
Ukuran kemasan	300x407
Bobot padatan (g) per potong	5–15 g

Uji distribusi panas (Singh *et al.* 2015; Khurana *et al.* 2011; Etzel *et al.* 2015)

Uji distribusi panas bertujuan untuk memperoleh profil suhu *retort* selama proses pemanasan yang dihitung sejak sumber uap dialirkan (*steam on*) hingga akhir periode pemanasan. Uji distribusi panas dilakukan pada kondisi terburuk (*worst scenario*), yaitu pada *retort* yang posisinya paling jauh dari sumber uap (*steam supply*) dan dalam kondisi *retort* diisi penuh dengan kaleng

produk yang akan disterilisasi (*full capacity*) (Singh *et al.* 2015). PT XYZ memiliki enam buah *retort* yang memiliki spesifikasi yang sama. Dalam uji distribusi panas ini yang dipilih adalah *Retort #1* yang posisinya paling jauh dari *steam supply*. Uji distribusi panas dilakukan dengan memasang termokopel (diberi nomor termokopel (TC) 1, 2, dan 3) pada kaleng kosong berlubang yang diikatkan pada alat penyangga, kemudian ditempatkan pada tiga titik pada keranjang yang berbeda di dalam *retort*, yaitu di bagian tengah pada setiap keranjang (Gambar 1). Kondisi *retort* dan penataan produk pada saat uji distribusi panas disajikan pada Tabel 2.



Gambar 1. Titik penempatan termokopel pada uji distribusi panas di dalam *retort*

Tabel 2. Kondisi *retort* dan penataan produk pada saat uji distribusi panas

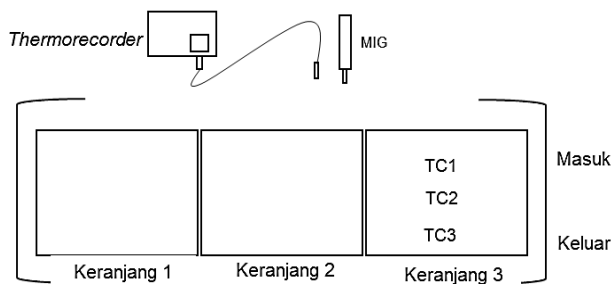
Parameter	Keterangan
Jenis <i>retort</i>	Retort horizontal
Nomor <i>retort</i> yang digunakan	#1 (satu)
Jadwal <i>venting</i>	104°C, 10 menit
Jadwal CUT	
Jadwal proses	132°C, 16 menit
Suhu awal (<i>initial temperature, IT</i>)	66°C
Tekanan uap yang digunakan	3 kg/cm ³
Jumlah keranjang (<i>basket</i>) dalam <i>retort</i>	3 keranjang
Jumlah kemasan per keranjang	Penuh (<i>kaleng dummy</i> , 300x407)
Cara penumpukan kemasan	Acak

Uji distribusi panas diawali dengan menjalankan *retort* sesuai kondisi yang biasa diterapkan di PT XYZ dengan kondisi dua *retort* dijalankan secara bersamaan (sesuai kondisi *worst scenario*). Proses *venting* dilakukan pada suhu 104°C selama 10 menit sehingga tercapai kondisi *retort* yang telah jenuh dengan uap air (semua udara telah dikeluarkan). Selanjutnya katup *venting* ditutup, dan suhu *retort* dinaikkan hingga tercapai suhu proses (132°C). *Thermorecorder* mencatat perubahan suhu setiap menit, kemudian datanya diolah dengan *microsoft excell* sehingga diperoleh *plot* hubungan antara waktu terhadap suhu. Berdasarkan pada profil kurva distribusi panas tersebut ditentukan waktu *venting* (saat katup *venting* ditutup), CUT, dan posisi di dalam *retort* yang paling lambat menerima panas (sebagai titik terdingin). Waktu *venting* ditetapkan pada saat ketiga kurva distribusi panas berkumpul pada satu titik (menunjukkan suhu telah seragam), sedangkan CUT ditetapkan pada saat seluruh titik pengukuran mencapai suhu

retort yang diinginkan. Bagian di dalam retort yang paling lambat menerima panas ditentukan dari profil suhu yang paling lambat mencapai suhu venting (104°C).

Uji penetrasi panas (Singh et al. 2015; Khurana et al. 2011; Etzel et al. 2015)

Uji penetrasi panas bertujuan untuk memperoleh profil suhu produk di bagian titik terdingin (*the coldest point*) selama proses sterilisasi (mencakup fase pemanasan dan pendinginan) yang dihitung sejak uap dialirkan (*steam on*). Retort yang dipakai dan kondisi proses yang diterapkan sama dengan yang digunakan pada uji distribusi panas. Ujung termokopel ditusukkan pada jamur hingga mencapai titik tengahnya, kemudian diletakkan di dalam kaleng pada posisi di bagian tengah kaleng (setengah tinggi kaleng) sebagai titik terdinginya (Etzel et al. 2015; Stowe et al. 2016). Kaleng diisi penuh dengan jamur, lalu ditambahkan larutan garam. Setelah proses pembuangan udara (*exhausting*), kaleng di-seal (*double seaming*) dan diletakkan di dalam keranjang (*basket*) pada bagian di dalam retort yang paling lambat menerima panas berdasarkan hasil uji distribusi panas, yaitu di keranjang yang berada di dekat pintu. Uji penetrasi panas dilakukan pada tiga titik (TC1, TC2, TC3) pengukuran sebagaimana disajikan pada Gambar 2. Retort kemudian diisi penuh dengan produk jamur dalam kaleng (kaleng diletakkan secara acak atau *jumble* di dalam retort). Uji penetrasi panas dilakukan sejak uap dialirkan dengan waktu venting dan CUT berdasarkan hasil uji distribusi panas. *Thermorecorder* mencatat perubahan suhu setiap menit, kemudian datanya diolah untuk dapat diketahui nilai F_0 proses pada masing-masing titik pengukuran.



Gambar 2. Titik penempatan termokopel di dalam retort pada uji penetrasi panas jamur dalam kaleng

Evaluasi kecukupan panas (Ramaswamy dan Dwi-vedy 2011; Amirruddin dan Juarsa 2014)

Data hasil uji penetrasi panas diolah untuk menentukan nilai sterilitas (nilai F_0) pada setiap titik pengukuran. Data diolah dengan menggunakan metode trapesium (*general method*). Data suhu yang tercatat oleh *thermorecorder* dikonversi menjadi nilai *lethal rate* (LR) (Persamaan 1). Nilai T = suhu (°C); T_R = suhu standar (121,1°C), dan $z = 10^\circ\text{C}$.

$$LR = 10^{\frac{T - T_R}{z}} \dots\dots\dots (1)$$

Selanjutnya dibuat plot hubungan antara waktu terhadap LR , dan luas area di bawah kurva menunjukkan nilai F_0 . Luas area di bawah kurva dihitung dengan menggunakan metode trapesium (Persamaan 2). Kecukupan proses panas didasarkan pada nilai F_0 terendah dari seluruh data uji penetrasi panas.

$$F_0 = \sum LR \times dt \dots\dots\dots (2)$$

Proses alternatif (Stowe et al. 2016; Breidt et al. 2014)

Data hasil uji penetrasi panas selanjutnya diolah dengan menggunakan metode formula (*Ball method*) untuk menyusun proses alternatif pada berbagai skenario proses yang berbeda, yaitu perubahan suhu awal (T_i), suhu proses (T_R), dan target capaian nilai F_0 . Data penetrasi panas yang dipilih adalah yang memberikan nilai F_0 terendah dari perhitungan metode trapesium. Data proses yang diperlukan dalam perhitungan dengan metode Ball adalah CUT, suhu awal produk (T_i), waktu proses (t), dan nilai sterilitas pada suhu lain (F_i).

Tahap yang dilakukan sebelum menyusun proses alternatif adalah menghitung ulang nilai F_0 dengan metode Ball. Data penetrasi panas pada kondisi proses awal (T_R dan T_p) diplot sebagai hubungan antara ($T_R - T_p$) terhadap waktu sehingga diperoleh kurva semi-logaritma. Bagian linier dari kurva kemudian ditentukan untuk menentukan nilai f_h , yaitu waktu (menit) yang dibutuhkan oleh kurva pemanasan untuk berubah melewati satu siklus log atau $2.303/\text{slope}$. Dari bagian linier kurva juga ditentukan nilai JI , yaitu perbedaan suhu retort (T_R) dengan suhu awal semu (T_{pi}) yang diambil pada titik potong kurva pemanasan dengan waktu 0 menit yang dihitung setelah $0,6 \times \text{CUT}$. Selanjutnya diperoleh nilai J yang merupakan faktor *lag time* sebelum kurva pemanasan menjadi lurus. Nilai J diperoleh dari J/I , I adalah selisih antara suhu retort (T_R) dan suhu awal produk (T_i). Nilai f_h dan J merupakan nilai konstanta yang digunakan dalam desain proses. Parameter lain (B , B/f_h dan $\log g$) diperoleh dengan perhitungan sebagaimana disajikan pada Tabel 3.

Penyusunan proses alternatif bertujuan untuk memperoleh waktu proses (Pt) pada skenario kondisi proses yang berbeda (T_R , T_i , dan F_0) (Breidt et al. 2014; Annisa 2018). Apabila hasil uji penetrasi panas menghasilkan nilai F_0 yang berlebihan, maka dapat dilakukan penurunan suhu retort, suhu awal produk, dan nilai F_0 dari kondisi proses semula yang dapat memberikan nilai nilai f_h/U yang berbeda. Selanjutnya nilai $\log g$ diperoleh dari tabel $\log g$ terhadap f_h/U pada $Z = 10^\circ\text{C}$ (Sing and Heldman 2009). Nilai g adalah perbedaan suhu retort (T_R) dengan produk di dalam kaleng pada akhir proses pemanasan (T_p). Nilai $\log JI$ dan $\log g$ digunakan untuk menghitung total waktu proses (B) (Persamaan 4), yang kemudian dapat ditentukan waktu proses (Pt) (Persamaan 5).

$$B = f_h * (\log JI - \log g) \dots\dots\dots (4)$$

$$Pt = B - (0.4 * \text{CUT}) \dots\dots\dots (5)$$

Tabel 3. Parameter dalam perhitungan metode Ball

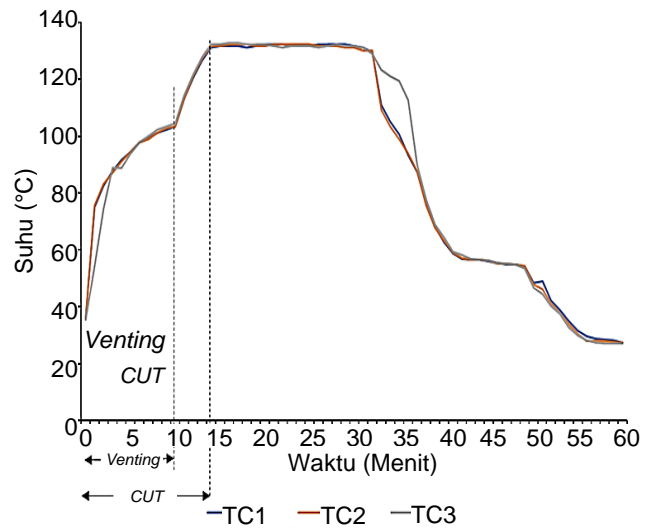
Parameter	Keterangan
CUT (menit)	Come up time
T_i (°C)	Suhu awal produk
T_R (°C)	Suhu <i>retort</i>
P_t (menit)	Waktu proses yang diterapkan
$f_h = 2,303/slope$	Diperoleh kurva waktu terhadap $\log(T_R - T_P)$
$Jl = T_R - T$	Dihitung
$I = T_R - T_i$ (°C)	Dihitung
$J = J/I$	Dihitung
$B = P_t + 0.4CUT$ (menit)	Dihitung
B/f_h	Dihitung
$\log g = \log JI - B/f_h$	Dihitung
f_h/U	Dibaca dari tabel $\log g$ terhadap f_h/U
$F_0 = 10^{\frac{121.1-TR}{10}}$ (menit)	Dihitung
$U = \frac{t_h}{f_h/U} = F_0 * F_i$	Dihitung
$F_0 = f_h/((f_h/U)F_i)$ (menit)	Dihitung

HASIL DAN PEMBAHASAN

Profil distribusi panas

Distribusi panas yang seragam membantu penetrasi panas ke dalam produk menjadi merata dimana pun produk diletakkan di dalam *retort*. Distribusi panas yang tidak seragam dalam *retort* menyebabkan produk mengalami pemanasan yang tidak merata dan sebagai akibatnya produk mengalami proses yang kurang (*under-process*) atau proses yang berlebihan (*over-process*) (Rattan dan Ramaswamy 2014). Produk yang mengalami *under-process* (dengan nilai $F_0 < 3,0$ menit) berisiko dari segi keamanan pangan, karena berpotensi masih terdapat produk yang belum mencapai nilai sterilitas yang dipersyaratkan.

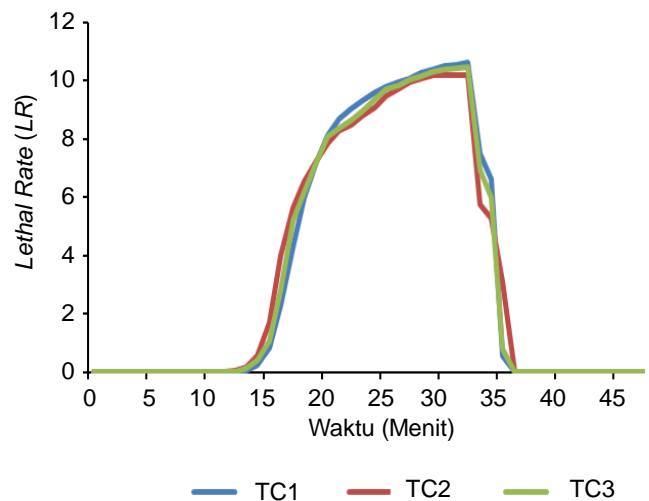
Uji distribusi panas pada tiga titik di dalam *retort* menghasilkan kurva distribusi panas (Gambar 3). Secara umum, profil distribusi panas antar titik hampir sama (berhimpitan) yang menunjukkan *retort* memiliki kinerja yang baik. *Retort* dioperasikan sesuai kondisi yang biasa dilakukan di PT XYZ, yaitu *venting* pada 104°C selama 10 menit untuk membuang seluruh udara di dalam *retort* dan digantikan dengan uap air sehingga suhu di seluruh bagian *retort* seragam. Proses *venting* sangat penting untuk *retort* uap karena udara memiliki konduktivitas panas yang rendah yang dapat menghambat proses distribusi panas dalam *retort* pada saat proses sterilisasi, sehingga harus dikeluarkan (Singh *et al.* 2015). Suhu di tiga titik di dalam *retort* meningkat sejak uap dialirkan (*steam on*) dengan laju yang berbeda hingga akhirnya mencapai suhu yang sama di 104°C setelah 10 menit. Profil suhu terendah berada di bagian dekat pintu *retort* yang merupakan titik terjauh dari sumber uap (*steam supply*). CUT adalah waktu yang diperlukan oleh *retort* sejak dinyalakan hingga suhu proses tercapai. Suhu proses (132°C) tercapai setelah 14 menit sejak uap dialirkan (*steam on*). Dengan demikian, waktu *venting* dan CUT yang diterapkan di PT XYZ sudah dapat ditentukan dan kondisi proses ini yang selanjutnya digunakan pada uji penetrasi panas.



Gambar 3. Kurva distribusi panas di dalam *retort*

Kurva penetrasi panas dan nilai F_0

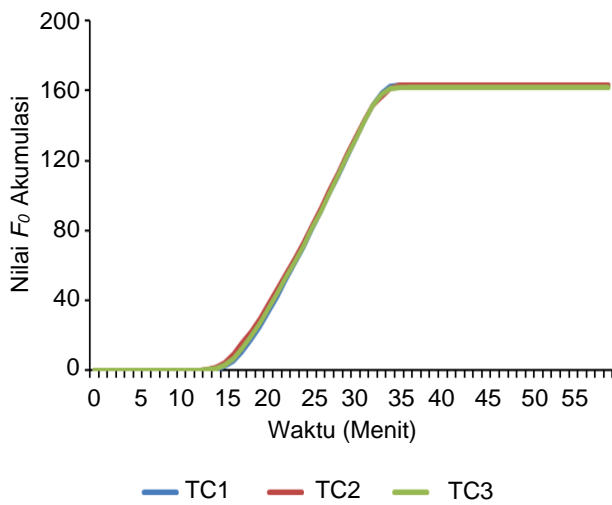
Proses sterilisasi jamur dalam kaleng di PT XYZ dilakukan pada suhu *retort* (T_R) 132°C dengan suhu awal produk (T_i) 66,8°C dan waktu proses 16 menit. Hasil uji penetrasi panas menghasilkan data perubahan suhu di dalam produk pada titik terdinginnya. Data suhu kemudian dikonversi menjadi nilai *lethal rate* (LR) dan diplotkan menjadi kurva waktu terhadap LR (Gambar 4). Kurva pada tiga titik pengukuran yang hampir rapat satu sama lain menunjukkan bahwa penetrasi panas ke bagian titik terdingin dari jamur relatif seragam. Dengan menggunakan metode trapesium, maka masing-masing luasan di bawah kurva dapat dihitung dan menunjukkan nilai F_0 . Kurva akumulasi nilai F_0 sebagai fungsi dari waktu disajikan pada Gambar 5.



Gambar 4. Kurva waktu terhadap *lethal rate* (LR) dari hasil pengukuran penetrasi panas jamur dalam kaleng (ukuran kemasan 300x407)

Nilai F_0 untuk masing-masing titik pengukuran hampir sama, yaitu 162,8 menit (termokopel 1), 162,7 menit (termokopel 2) dan 161,7 menit (termokopel 3). Nilai F_0 yang sangat tinggi ini menunjukkan bahwa produk jamur mengalami proses yang berlebihan, karena

melampaui persyaratan minimal nilai F_0 3 menit. Hal yang sama juga dilaporkan oleh Hariyadi (2008) yang menunjukkan banyak produk makanan kaleng komersial yang mengalami proses sterilisasi yang berlebihan (Hariyadi 2008).



Gambar 5. Akumulasi nilai F_0 sebagai fungsi dari waktu proses pemanasan

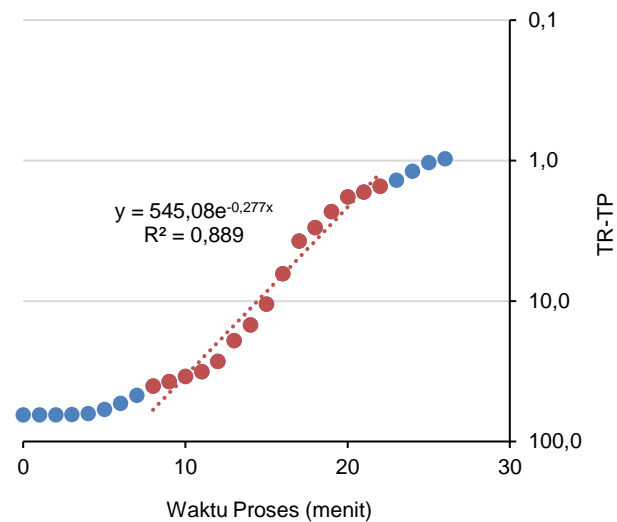
Rancangan proses alternatif dengan metode Ball

Hasil uji penetrasi panas menunjukkan bahwa produk jamur dalam kaleng mengalami proses yang berlebihan (*over-process*) yang ditunjukkan oleh sangat tingginya nilai F_0 . Oleh karena itu, perlu dirancang proses alternatif dalam sterilisasi dengan cara menurunkan suhu *retort* (T_R), suhu awal produk (T_i), dan nilai F_0 . Perubahan parameter proses tersebut dapat dilakukan secara bersamaan dengan menghitung ulang waktu proses (P_t) dengan menggunakan metode Ball.

Tahapan pertama dalam merancang proses alternatif dengan metode Ball adalah mengolah data penetrasi panas menjadi kurva perubahan selisih suhu antara suhu *retort* (T_P) dengan suhu produk selama pemanasan (T_p) pada setiap waktu pengukuran yang hasilnya disajikan pada Gambar 6. Dari bagian linier kurva fase pemanasan, diperoleh persamaan eksponensial dengan nilai kemiringan atau *slope* sebesar 0,277 dan konstanta sebesar 545,08. Dari persamaan tersebut dapat diperoleh nilai f_h dan J . Parameter lain diperoleh berupa data proses yang telah diterapkan atau *existing condition* (CUT, T_R , T_i , P_t), data yang diperoleh dari proses perhitungan (B , Jl , I , B/f_h , F_i dan U), dan dari pembacaan nilai f_h/U dari Tabel f_h/U terhadap $\log g$ (Tabel 4). Hasil perhitungan dengan menggunakan metode Ball memberikan nilai F_0 sedikit lebih rendah dibandingkan yang diperoleh dari perhitungan metode trapesium, yaitu 160,8 menit. Sebagai *worse scenario*, nilai F_0 yang direkomendasikan pada kondisi *existing* didasarkan pada perhitungan dengan metode Ball.

Parameter yang diperoleh dari metode Ball ini kemudian digunakan untuk merancang waktu proses (P_t) pada berbagai skenario proses sebagai proses alternatif, yaitu (1) skenario untuk menurunkan suhu awal

produk (T_i) (40, 45 dan 50°C); (2) skenario untuk menurunkan suhu proses (T_R) (120, 122, 124, 126, dan 130°C); dan (3) skenario untuk menurunkan nilai F_0 (10, 20, dan 30 menit). Dalam pengembangan proses alternatif tersebut, CUT menggunakan hasil uji distribusi panas (14 menit), serta nilai f_h dan J yang konstan. Hasil perancangan proses alternatif pada berbagai skenario proses disajikan pada Tabel 5. Tabel proses alternatif ini dapat digunakan oleh PT XYZ untuk dapat menentukan target F_0 yang diinginkan untuk menghasilkan jamur dalam kaleng yang memiliki mutu yang lebih baik. Sebagai contoh, nilai F_0 dapat diturunkan menjadi 30 menit dengan mengubah suhu *retort* menjadi 126°C dengan waktu proses 14 menit, atau pada suhu 122°C selama 28 menit (pada suhu awal produk (T_i) di kisaran 40–50°C) (Tabel 5). Nilai F_0 masih dapat diturunkan lagi, misalnya pada suhu *retort* 126°C selama waktu proses 10 menit yang akan memberikan nilai F_0 sebesar 10 menit (Tabel 5). Optimasi proses sterilisasi ini dapat memperbaiki mutu produk jamur kancing yang dikalengkan, di samping juga dapat lebih menghemat energi (Pursito *et al.* 2020), seperti juga dilaporkan oleh Noorajaja *et al.* 2017).



Gambar 6. Plot kurva semilogaritma hubungan waktu proses terhadap T_R-T_P

Tabel 4. Nilai parameter dalam perhitungan F_0 dengan metode Ball

Parameter	Nilai
CUT (menit)	14,0
$f_h = 2,303/slope$	8,31
Jl	53,2
J	0,454
P_t (menit)	16,0
B (menit)	21,60
T_R (°C)	132,0
T_i (°C)	66,9
I (°C)	65,10
B/f_h	2,60
$\log g$	-0,8721
f_h/U	0,6363*
F_i (menit)	0,08
U	13,07
$F_0 = f_h/((f_h/U)F_i)$ (menit)	160,8
F_0 minimal metode trapesium (menit)	161,7

Keterangan: *Diperoleh dari Tabel $\log g$ vs f_h/U pada $z=10^\circ\text{C}$

Tabel 5. Proses alternatif pada kondisi suhu *retort* (T_R) dan suhu awal produk (T_i) yang berbeda untuk sterilisasi jamur kancing dalam kaleng (ukuran 300x407) untuk memberikan nilai F_0 yang berbeda (*venting*=10 menit; CUT=14 menit)

T_R (°C)	T_i (°C)	$F_0=30$ menit			$F_0=20$ menit			$F_0=10$ menit		
		f_i/U	log g	Pt (menit)	f_i/U	log g	Pt (menit)	f_i/U	log g	Pt (menit)
130	50	2,146	0,342	7	3,219	0,559	5	6,437	0,828	3
128	50	1,354	0,014	10	2,031	0,308	7	4,062	0,661	4
126	50	0,854	-0,458	14	1,281	-0,032	10	2,563	0,443	6
124	50	0,539	-1,146	19	0,808	-0,530	14	1,617	0,153	8
122	50	0,340	-2,206	28	0,510	-1,251	20	1,020	-0,250	12
120	50	0,215	-3,102	35	0,322	-2,336	29	0,644	-0,857	17
130	45	2,146	0,342	7	3,219	0,559	6	6,437	0,828	3
128	45	1,354	0,014	10	2,031	0,308	8	4,062	0,661	5
126	45	0,854	-0,458	14	1,281	-0,032	10	2,563	0,443	6
124	45	0,539	-1,146	19	0,808	-0,530	14	1,617	0,153	9
122	45	0,340	-2,206	28	0,510	-1,251	20	1,020	-0,250	12
120	45	0,215	-3,102	36	0,322	-2,336	29	0,644	-0,857	17
130	40	2,146	0,342	8	3,219	0,559	6	6,437	0,828	4
128	40	1,354	0,014	10	2,031	0,308	8	4,062	0,661	5
126	40	0,854	-0,458	14	1,281	-0,032	11	2,563	0,443	7
124	40	0,539	-1,146	20	0,808	-0,530	15	1,617	0,153	9
122	40	0,340	-2,206	28	0,510	-1,251	20	1,020	-0,250	12
120	40	0,215	-3,102	36	0,322	-2,336	29	0,644	-0,857	17

KESIMPULAN

Jamur kancing dalam kemasan kaleng (ukuran 300x407) yang disterilisasi pada suhu 132°C selama 16 menit dengan menggunakan *retort* uap (waktu *venting* 10 menit dan CUT 14 menit) pada suhu awal produk (T_i) 66,9°C mengalami proses yang berlebihan (*over-processing*) yang ditunjukkan dengan nilai F_0 yang sangat tinggi (160,8 menit berdasarkan perhitungan metode Ball). Proses sterilisasi dapat dirancang kembali untuk menghasilkan proses alternatif, dengan mengubah kombinasi suhu *retort* (T_R) dan suhu awal produk (T_i) yang dapat memberikan nilai F_0 yang lebih rendah. Proses sterilisasi pada suhu *retort* 126°C selama 10 menit pada suhu awal produk 40–50°C memberikan nilai F_0 sebesar 10 menit.

Dalam penelitian ini terdapat keterbatasan dimana jumlah termokopel yang digunakan hanya tiga unit. Agar hasil uji distribusi panas dan penetrasi lebih valid, dalam validasi proses termal disarankan untuk menggunakan jumlah termokopel yang lebih banyak yang dipasang pada berbagai posisi di dalam *retort* secara menyebar. Dalam penelitian ini juga belum dilakukan evaluasi mutu produk secara sensori dan nilai gizi yang dihubungkan dengan nilai F_0 . Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan untuk menentukan kombinasi suhu *retort* dan waktu proses yang dapat memberikan nilai F_0 yang memenuhi persyaratan keamanan pangan, namun memiliki mutu produk yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

Amirruddin, Juarsa M. 2014. Studi eksperimental distribusi *temperature transien* pada *semi sphere* saat pendinginan. *Sigma Epsilon* 18(2): 64-70.
 Annisa C. 2018. Model aliran panas dalam sterilisasi makanan atau minuman kaleng. *J Focus Action Res Mathematic* 1(1): 33-42.

Arora K, Upadhyaya PP, Dwivedi AK, Ratan V. 2015. Effects of canning on button mushroom. *Asian J Adv Basic Sci* 4(1): 93-95.
 Bae H-J, Chae M-J, Ryu K. 2010. Consumer behaviors towards ready-to-eat foods based on food-related lifestyles in Korea. *Nutr Res Practice* 4(4): 332-338. DOI: 10.4162/nrp.2010.4.4.332.
 [BPOM] Badan Pengawas Obat dan Makanan. 2016. Peraturan Kepala Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 21 Tahun 2016 tentang Kategori Pangan. Jakarta (ID): Badan Pengawas Obat dan Makanan RI.
 [BPOM] Badan Pengawas Obat dan Makanan. 2021. Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 27 Tahun 2021 tentang Persyaratan Pangan Olahan Berasam Rendah Dikemas Hermetis. Jakarta (ID): Badan Pengawas Obat dan Makanan RI.
 Breidt F, Kay K, Osborne J, Ingham B, Arritt F. 2014. Thermal processing of acidified foods with pH 4.1 to pH 4.6. *Food Prot Trends* 34(3): 132–138.
 [CFR] Code of Federal Regulations. 2023. Part 113 - Thermally Processed Low-Acid Foods Packaged in Hermetically Sealed Containers. <https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-B/part-113>.
 Choi S-H, Cheigh C-I, Chung M-S. 2013. Optimization of processing conditions for the sterilization of retorted short-rib patties using the response surface methodology. *Meat Sci* 94(1): 95–104. DOI: 10.1016/j.meatsci.2012.12.016.
 Etzel MR, Willmore P, Ingham BH. 2015. Heat penetration and thermocouple location in home canning. *Food Sci Nutr* 3(1): 25-31. DOI: 10.1002/fsn3.185.
 Featherstone S. 2015. Optimising retort operations for canned goods,” in *A Complete Course in Canning and Related Processes* (edisi 4), Editor: Feather-

- stone. 59–71, Woodhead Publishing, Oxford. DOI: 10.1016/B978-0-85709-678-4.00004-X.
- Hafziaman, Kusnandar F, Purnomo EH. 2014. Evaluasi kecukupan panas proses pasteurisasi nata de coco dalam kemasan plastik polietilen. *J Mutu Pangan* 1(1): 33-39.
- Hariyadi P. 2008. The food-canning industry in Indonesia: need for safety assurance regulation and quality optimisation. *Food Manufacturing Efficiency* 2(1): 45–48.
- Hartle JC, Navas-Acien A, Lawrence RS. 2016. The consumption of canned food and beverages and urinary Bisphenol A concentrations in NHANES 2003-2008. *Environ Res* 150(Oct 2016): 375-382. DOI: 10.1016/j.envres.2016.06.008.
- Khurana A, Awuah GB, Weddig LM, Balestrini CG, Podolak R, Shafer BD. 2011. Heat penetration parameters as influenced by needle thermocouples and remote temperature sensors in 211x300 three-piece can size. *J Food Process Eng* 32(6): 855-880. DOI: 10.1111/j.1745-4530.2008.00250.x.
- Murano EA. 2014. Heat Treatment of Foods: Synergy Between Treatments. *Encyclopedia of Food Microbiology* (Edisi 2). 181-186. Elsevier. DOI: 10.1016/B978-0-12-384730-0.00161-0.
- Nookaraju BC, Kurmarao PSV, Nagasarada S, Kartikeyan R, Vinay A. 2017. Optimization of process parameters of helical grooved heat pipe using response surface methodology. *Mater Today* 5(2): 5262-5271. DOI: 10.1016/j.matpr.2017.12.109.
- Nurhikmat A, Suratmo B, Bintoro N, Suharwadi. 2016. Pengaruh suhu dan waktu sterilisasi terhadap nilai F dan kondisi fisik kaleng kemasan pada pengalengan gudeg. *Agritech* 36(1): 71-78. DOI: 10.22146/agritech.10714.
- Peesel R-H, Philipp M, Schumm G, Hesselbach J, Walmsley TG. 2016. Energy efficiency measures for batch retort sterilization in the food processing industry. *Chem Eng Trans* 52: 42–42.
- 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.
- Pursito DJ, Purnomo EH, Fardiaz D, Hariyadi P. 2020. Optimizing steam consumption of mushroom canning process by selecting higher temperatures and shorter time of retorting. *Int J Food Sci* 2020: 6097343. DOI: 10.1155/2020/6097343.
- Pursito DJ, Purnomo EH, Fardiaz D, Hariyadi P. 2022. The effect of sterility values and retort temperatures on the change of physical and sensory properties of a canned mushroom product. *Int J Food Stud* 11(2): 260–274. DOI: 10.7455/ijfs/11.2.2022.a1.
- Ramaswamy HS, Dwivedi M. 2011. Effect of process variables on heat-transfer rates to canned particulate newtonian fluids during free bi-axial rotary processing. *Food Bioproc Technol* 4(1): 61-78. DOI: 10.1007/s11947-008-0140-4.
- Rattan NS, Ramaswamy HS. 2014. Quality optimization of canned potatoes during rotary autoclaving. *J Food Qual* 37(3): 168-176. DOI: 10.1111/jfq.12078.
- Saragih DS, Adawiyah DR, Rungkat FZ. 2021. Sterilisasi komersial *Cassava chunk* pada kemasan hermetis standing pouch dan perubahan sifat fisikokimianya. *J Ilmu Pertanian Indonesia* 26(2): 184-191. DOI: 10.18343/jipi.26.2.184.
- Singh AP, Heldman DR. 2009. Introduction to Engineering. Hal. 405-454. Elsevier. UK.
- Singh AP, Singh A, Ramaswamy HS. 2015. Modification of a static steam retort for evaluating heat transfer under reciprocation agitation thermal processing. *J Food Eng* 153(2015): 63-72. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2014.12.001.
- Stowe CH, Smith GL, Thomas RL, Whiteside WS. 2016. Effect of packaging geometry on heat penetration time in retortable semi-rigid plastic trays. *Int J Advanced Packaging Technol* 4(1): 246-257.
- Sucipto, Sulistyowati DP, Anggarini S. 2017. Pengendalian kualitas pengalengan jamur dengan metode six sigma di PT Y, Pasuruan, Jawa Timur. *J Teknol Manajemen Agroindustri* 6(1): 1-7. DOI: 10.21776/ub.industria.2017.006.01.1.
- Tang F, Xia W, Xu Y, Jiang Q, Zhang W, Zhang L. 2014. Effect of thermal sterilization on the selected quality attributes of sweet and sour carp. *Int J Food Prop* 17(8): 1828-1840. DOI: 10.1080/10942912.2012.745130.
- Temgire S, Borah A, Kumthekar S, Idate A. 2021. Recent trends in ready to eat/cook food products: A review. *Pharma Innov J* 10(5): 211-217. DOI: 10.22271/tpi.2021.v10.i5c.6207.
- Yuswita E. 2014. Optimasi proses termal untuk membunuh *Clostridium botulinum*. *J Aplikasi Teknol Pangan* 3(3): 53-59.