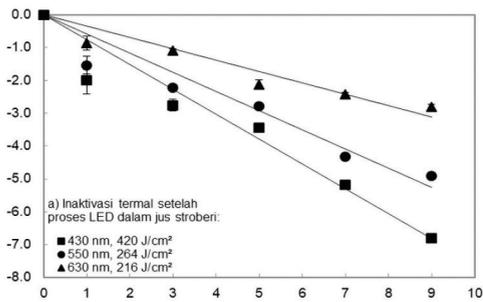
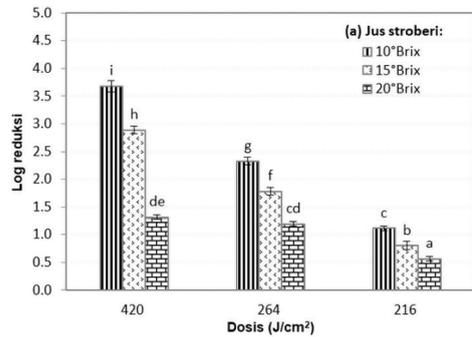


Teknologi Light Emitting Diode (LED) dan LED-Assisted Thermal untuk Reduksi Spora Jamur *Eupenicillium javanicum* dalam Jus Stroberi dan Apel



Dr. Evelyn, ST, MSc, MEng
Chairul, ST, MT

**Teknologi Light Emitting Diode (LED)
dan LED-Assisted Thermal untuk Reduksi
Spora Jamur *Eupenicillium javanicum*
dalam Jus Stroberi dan Apel**

Undang-Undang Nomor 19 Tahun 2002, tentang Hak Cipta

PASAL 2

- (1) Hak Cipta merupakan hak eksklusif bagi Pencipta atau Pemegang Hak Cipta untuk mengumumkan atau memperbanyak ciptaannya, yang timbul secara otomatis setelah suatu ciptaan dilahirkan tanpa mengurangi pembatasan menurut perundang-undangan yang berlaku.

PASAL 72

- (1) Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau Pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp 1.000.000.00 (Satu Juta Rupiah), atau paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp5.000.000.000,00 (Lima Miliar Rupiah).
- (2) Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu Ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 500.000.000.00 (lima ratus juta rupiah).

**Teknologi Light Emitting Diode (LED)
dan LED-Assisted Thermal untuk Reduksi
Spora Jamur *Eupenicillium javanicum*
dalam Jus Stroberi dan Apel**

Dr. Evelyn, ST, MSc, MEng
Chairul, ST, MT

Penerbit
UR Press Pekanbaru
2021

**Teknologi Light Emitting Diode (LED)
dan LED-Assisted Thermal untuk Reduksi Spora Jamur *Eupenicillium javanicum* dalam Jus Stroberi dan Apel**

Penulis:

Dr. Evelyn, ST, MSc, MEng

Chairul, ST, MT

© Hak Cipta pada Penulis

Sampul dan Tata Letak : Evelyn

Diterbitkan Oleh UR Press, Oktober 2021

Alamat Penerbit

Jl. Pattimura No. 9, Gobah Pekanbaru 28132, Riau, Indonesia

e-mail: unri_press@yahoo.co.id

Hak Cipta dilindungi Undang-undang

Dilarang mengutip atau memperbanyak

sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit

Isi di luar tanggung jawab percetakan

Cetakan Pertama : Oktober 2021

ISBN 978-623-255-130-5

KATA PENGANTAR

Puji beserta syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan segala nikmat-Nya terkhusus nikmat ilmu pengetahuan dan kesehatan sehingga kami dapat menyelesaikan Buku Teknologi Tepat Guna (TTG) Teknologi Light Emitting Diode Assisted Thermal untuk Reduksi Spora Jamur *Eupenicillium javanicum* dalam Jus Stroberi. Buku TTG ini disusun sebagai salah satu syarat luaran Penelitian DRPM Kemenristekdikbud melalui LPPM Universitas Riau. Dalam menyelesaikan buku ini, kami mendapat bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini kami ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kemenristekdikbud DIKTI yang telah membantu pendanaan
2. LPPM UNRI yang telah membantu dalam pelaksanaan program penelitian (1394/UN19.5.1.3/PT.01.03/2021).
3. Mahasiswa bimbingan penelitian S1 Teknik Kimia Fakultas Teknik UNRI (Intan Hasri Ainunnisa dan Syaktia Aryuda) yang telah membantu dalam mengumpulkan data.

Semoga laporan kegiatan ini dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya. Kami menyadari masih banyak kekurangan dari penulisan buku ini. Oleh karena itu kritik dan saran konstruktif dari pembaca yang diharapkan demi kesempurnaan tulisan ini dimasa yang akan datang.

Pekanbaru, Oktober 2021

Penulis

RINGKASAN

Kontaminasi beberapa jamur pembentuk spora pada pangan telah menjadi perhatian khusus karena kemampuannya untuk bertahan hidup setelah pemanasan dan menghasilkan toksin. Setelah pemanasan, spora jamur tersebut dapat berkembang biak selama penyimpanan pada suhu kamar. Pertumbuhan mikroorganisme jamur dalam pangan dapat menyebabkan kerusakan produk pangan, kerugian ekonomi, dan menyebabkan wabah penyakit akibat mengkonsumsi toksin yang dihasilkan.

Teknik pasteurisasi jus melalui pemanasan merupakan metode konvensional yang masih banyak digunakan untuk pengawetan. Selain metode ini, teknologi non termal seperti non termal seperti Pulsed Electric Field (PEF) dan Light Emitting Diode (LED) serta kombinasinya dengan termal merupakan teknik pengolahan bahan pangan yang mulai banyak diadopsi untuk pengawetan. Teknik pengolahan cara ini dapat meminimalisir efek kerusakan pangan seperti nilai nutrisi dan sifat-sifat organoleptik. Kondisi proses pengolahan baik secara termal maupun non termal perlu untuk diteliti mengingat kondisi proses yang belum tentu cukup untuk menginaktivasi spora beberapa jamur penyebab kerusakan dan atau wabah penyakit.

Stroberi dan apel merupakan buah yang banyak dihasilkan di negara tropis seperti Indonesia dan mempunyai nilai gizi yang banyak dibutuhkan oleh tubuh manusia. Buah-buahan ini banyak diolah menjadi jus kemasan karena praktis dan mudah dikonsumsi. Spesies jamur seperti *Eupenicillium* terdistribusi luas di tanah dan mudah terbawa saat pemanenan.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah menggunakan metode pasteurisasi Light Emitting Diode (LED) assisted thermal treatment *Eupenicillium javanicum* dalam jus stroberi dan jus apel. Hasil menunjukkan aplikasi LED biru (430 nm, 420 J/cm²) dapat mereduksi minimum 3 log spora jamur *E. javanicum* dalam jus stroberi 10°Brix (lebih besar dari cahaya hijau dan merah yaitu <2,3 log, 550-630 nm 216-264 J/cm²). LED biru diikuti dengan 90°C-termal dapat menghasilkan 6,0-6,8 log setelah 9 menit. Mikroba dalam

jus apel menunjukkan resistensi yang lebih besar. Perlakuan cahaya LED biru merupakan metode yang potensial untuk preservasi jus melalui inaktivasi spora jamur terkontaminasi *E. javanicum* hingga 3 log dalam jus stroberi.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
RINGKASAN	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2 Perumusan masalah	3
1.3 Target	3
BAB II SPORA HEAT RESISTANT DAN TEKNOLOGI PASTEURISASI NON TERMAL	4
2.1 Jus buah.....	4
2.2 Buah stroberi	6
2.3 Buah apel	7
2.4 Spora mikroba pembusuk dan pathogen pada makanan	8
2.5 Eupenicillium javanicum.....	10
2.6 Teknologi pasteurisasi termal	12
2.7 Teknologi pasteurisasi non termal.....	13
2.8 Light emitting diode (LED)	15
2.9 Ketahanan panas mikroorganisme.....	17
BAB III METODOLOGI	20
3.1 Bahan dan Peralatan Penelitian	20
3.2 Variabel Penelitian	20
3.3 Prosedur Penelitian.....	21
BAB IV PROSES LIGHT EMITTING DIODE (LED) DAN LED-ASSISTED THERMAL	23
4.1 Light emitting diode (LED).....	23
4.2 LED-assisted thermal	26
4.3 Kinetika reaksi LED dan LED-assisted-thermal	28
BAB V PENUTUP.....	30
LAMPIRAN (DOKUMENTASI).....	31
DAFTAR PUSTAKA	36

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Syarat mutu minuman sari buah	5
Tabel 4.1	Parameter kinetika orde pertama (nilai k dan D) untuk inaktivasi spora <i>Eupenicillium javanicum</i> InaCC F154 dengan LED dalam jus stroberi dan jus apel	29

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Jus stroberi	6
Gambar 2.2	Jus apel	8
Gambar 2.3	Jamur <i>Eupenicillium javanicum</i> . (a) koloni pada CYA dan MEA, 7 hari, 258. C; (b, c) penicilli, bars = 10 mm; (d) konidia, bar = 5 mm; (e) asci dan askospora, bar = 5 mm [37]	11
Gambar 2.4	Light Emitting Diode (LED)	16
Gambar 2.5	Grafik perbandingan log jumlah mikroba (N) terhadap waktu (t)	18
Gambar 4.1	Log reduksi askospora <i>Eupenicillium javanicum</i> dalam: (a) jus stroberi (10-20 °Brix) dan (b) jus apel (10-20 °Brix) setelah aplikasi cahaya LED dengan dosis 216, 264, dan 420 J/cm ²	25
Gambar 4.2	Aplikasi LED (216-420 J/cm ²) assisted 90°C-termal pada askospora <i>Eupenicillium javanicum</i> dalam: (a) jus stroberi (10.1°Brix) dan (b) jus apel (10.3°Brix) untuk waktu sampai dengan 9 min.....	27

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pengawetan dan keamanan pangan merupakan hal yang penting bagi konsumen dan industri pengolahan pangan. Hal ini dilakukan melalui inaktivasi sebagian atau seluruh mikroorganisme dalam produk pangan. Spora beberapa bakteri dan jamur sangat sulit dimatikan dengan pemanasan karena ketahanannya yang tinggi [1]. Spora yang bertahan hidup setelah pasteurisasi dapat berkembang biak selama pendinginan dan penyimpanan karena adanya nutrisi dalam pangan. Kontaminasi mikroba dapat menyebabkan kerusakan pangan seperti perubahan tekstur, kekentalan, warna dan bau, dan pembentukan lendir serta keracunan akibat toksin yang dihasilkan oleh mikroba.

Mikroorganisme pembentuk spora berasal dari kelompok bakteri *Clostridium* sp., *Bacillus* sp., dan *Alicyclobacillus acidoterrestris*, dan jamur *Byssochlamys* sp., *Eupenicillium* sp., *Neosartorya* sp., dan *Talaromyces* sp. [2, 3]. *Clostridium perfringens* dan *Bacillus cereus* adalah mikroba yang banyak ditemukan pada pangan ber-pH tinggi ($\text{pH} > 4.6$) seperti daging, dan penyebab utama wabah penyakit muntah dan diare [4]. *A. acidoterrestris*, *Byssochlamys nivea*, *Neosartorya fischeri*, *Talaromyces flavus*, dan *Eupenicillium javanicum* adalah kontaminan yang telah ditemukan pada pangan ber-pH rendah

(pH<4.6) seperti jus, sup, jeli, selai, dan buah kaleng [5]. *Bacillus subtilis* dan *Bacillus licheniformis* termasuk mikroba penting penyebab kebusukan pangan ber-pH rendah [2].

Stroberi adalah salah satu buah yang banyak diminati oleh masyarakat umumnya, baik orang dewasa maupun anak-anak. Stroberi mengandung antioksidan yang tinggi dapat dilihat dari pigmen warna antosianin yang dimilikinya. Selain itu, buah ini kaya akan vitamin C, rendah kalori, asam folat dan kalium yang tinggi [6]. Seiring dengan pesatnya permintaan dan perkembangan industri jus buah yang membawa dampak positif bagi negara maka perkembangannya perlu diimbangi dengan pengolahan yang baik terhadap jus yang diproduksi agar memiliki daya simpan yang lama dan aman untuk dikonsumsi.

Pemanasan atau pasteurisasi termal merupakan metode konvensional yang masih banyak digunakan untuk pengawetan jus. Selain metode ini, teknologi non termal merupakan teknik pengolahan bahan pangan yang mulai banyak diadopsi untuk pengawetan. Teknik pengolahan cara ini dapat meminimalisir efek kerusakan pangan seperti nilai nutrisi dan sifat-sifat organoleptik. Kondisi proses pengolahan baik secara termal maupun non termal perlu untuk diteliti mengingat kondisi proses yang belum tentu cukup untuk menginaktivasi spora beberapa bakteri dan jamur penyebab pembusukan dan pembawa wabah penyakit pada bahan pangan.

Buku ini menjelaskan tentang penggunaan metode *Light Emitting Diode* (LED) dan LED assisted thermal untuk pengawetan jus stroberi yang terkontaminasi spora jamur tahan panas *E.*

javanicum. Sasaran dari penelitian ini adalah didapatkannya suatu kondisi terbaik untuk preservasi jus tersebut sehingga dapat meningkatkan keamanan konsumsi jus dan memiliki daya simpan yang lama.

1.2 Perumusan masalah

Buku ini dibuat dalam rangka menjawab pertanyaan-pertanyaan dibawah ini:

1. Apakah metode *Light Emitting Diode* (LED) potensial untuk preservasi jus stroberi dan apel yang terkontaminasi spora jamur *E. javanicum*?
2. Apakah metode *Light Emitting Diode* (LED) assisted thermal potensial untuk preservasi jus stroberi dan apel yang terkontaminasi spora jamur *E. javanicum*
3. Bagaimana rekomendasi kondisi preservasi terbaik dengan metode-metode tersebut diatas?

1.3 Target

Target utama dari buku ini bertujuan untuk mengembangkan suatu metode presevasi jus stroberi dan apel yang terkontaminasi spora jamur *E. javanicum* dengan metode *Light Emitting Diode*.

BAB II

SPORA HEAT RESISTANT DAN TEKNOLOGI PASTEURISASI NON TERMAL

2.1 Jus buah

Jus buah kemasan banyak diminati karena harganya yang terjangkau dan khasiat didalamnya yang dapat memenuhi kebutuhan gizi konsumen. Syarat mutu minuman sari buah terdapat pada Tabel 2.1. Kandungan antioksidan, serat, vitamin, fitronutrien, dan mineral dapat mencegah timbulnya penyakit [7].

Jus buah yang diolah secara higienis dapat meningkatkan kesehatan konsumen seperti dapat menghambat kanker payudara, gagal jantung, dan lain-lain. Namun, jus buah memiliki efek positif dan negatif karena kandungan nutrisi dalam jus dapat menjadi media yang baik untuk pertumbuhan mikroba. Selain itu, kondisi ini dapat dijadikan sebagai perantara patogen bawaan makanan, dan komplikasi lain yang berkaitan [8].

Jus yang dikemas dengan cara yang tidak steril bisa menyebabkan mikroorganisme tumbuh, sehingga dapat menimbulkan resiko penyakit bagi konsumen. Tempat penyimpanan yang tepat dapat menjaga kualitas jus buah. Mikroorganisme yang terdapat dalam jus dapat menghasilkan bau yang tidak sedap, perubahan warna, pH, dan tekstur. Penyimpanan jus dalam suhu rendah dapat mencegah perubahan rasa yang disebabkan oleh bakteri tahan panas dan mencegah perubahan rasa akibat oksidasi jus [9].

Tabel 2.1 Syarat mutu minuman sari buah.

No	Kriteria Uji	Satuan	Persyaratan
1.	Kedaaan		
1.1	Bau	-	Khas, normal
1.2	Rasa	-	Khas, normal
1.3	Warna	-	Khas, normal
2.	Padatan terlarut		
2.1	Apel	°Brix	Min. 10.5
2.2	Stroberi	°Brix	Min. 7.5
3.	Keasaman		
3.1	Apel	%	Min. 0.3
3.2	Stroberi	%	Min. 0.2
4.	Cemaran logam		
4.1	- Timbal (Pb)	mg/kg	Maks. 0.2
4.2	- Kadmiun (Cd)	mg/kg	Maks. 0.2
4.3	- Merkuri (Hg)	mg/kg	Maks. 0.03
4.4	- Timah (Sn)	mg/kg	Maks. 40.0
5	- Cemaran Arsen (Ar)	mg/kg	Maks. 0.1
6.	Cemaran mikroorganisme		
	- ALT (30°C , 72 jam)	Koloni/ml	Maks. 1x10 ⁴
	- Kolifom	APM/ml	Maks. 20
	- <i>Escherichia coli</i>	APM/ml	Maks. 3
	- <i>Salmonella</i>	Koloni/25 ml	Negatif/25
	Kapang dan Khamir	Koloni/ml	Maks. 1x10 ²

(Sumber: Standar Nasional Indonesia SNI-3719, 2014).

2.1 Buah Stroberi

Stroberi (*Fragaria x ananassa*) merupakan buah yang paling banyak dikenal di dunia, buah ini termasuk dalam spesies hibrida. Stroberi memiliki struktur permukaan yang kompleks karena sifat sensitifitasnya tinggi terhadap bahan kimia dan kerusakan mikroba selama penyimpanan. Kandungan yang terdapat dalam stroberi yaitu karbohidrat rendah kalori, serat, dan memiliki banyak vitamin C daripada jeruk. Stroberi banyak dikonsumsi segar maupun dalam bentuk olahan seperti selai, jus, dan jeli [10]. Olahan stroberi berupa jus dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Jus Stroberi [10]

Klasifikasi buah stroberi (USDA, 2019):

- Kingdom : Plantae – Plantae, Planta, Vegetal, plants
- Subkingdom : Viridiplantae – Tanaman hijau
- Infrakingdom : Streptophyta – Tanaman darat
- Superdivision : Embryophyta
- Division : Tracheophyta – Tanaman vascular, tracheophytes
- Subdivision : Spermatophytina – Spermatophytes, tanaman biji

Class : Magnoliopsida

Superorder : Rosanae

Order : Rosales

Family : Rosaceae – Rose

Genus : *Fragaria* L. – Strawberry

Species : *Fragaria X ananassa* (Weston) Duchesne ex Rozier (pro sp.) – hybrid strawberry

2.2 Buah Apel

Apel merupakan buah yang kaya akan phytochemical (bahan kimia berasal dari tanaman). Karakterisasi apel yaitu aktivitas antioksidan yang sangat kuat, mengurangi oksidasi lipid, menurunkan kolesterol dan menghambat sel kanker proliferasi. Mengonsumsi apel mampu mengurangi risiko diabetes, asma, penyakit kardiovaskular dan beberapa kanker [11].

Klasifikasi ilmiah dari buah apel sebagai berikut (USDA, 2019):

Kingdom : Plantae – Tanaman

Subkingdom : Tracheobionta – Vascular plants

Superdivision : Spermatophyta – Tanaman biji

Division : Magnoliophyta – Tanaman berbunga

Class : Magnoliopsida – Dikotil

Subclass : Rosidae

Order : Rosales

Family : Rosaceae – Rose

Genus : *Malus* Mill. – apple

Species : *Malus angustifolia* (Aiton) Michx. – southern crab apple

Wujud dari jus apel dapat dilihat pada Gambar 2.2. Hasil analisis menunjukkan adanya spesies *Bacillus* sp., *Micrococcus* sp., *Lactobacillus* sp., *Penicillium* sp., *Flavobacterium* sp., dan *Saccharomyces* yang terdapat dalam jus nanas, jeruk, dan apel [8].



Gambar 2.2 Jus Apel [12].

2.3 Spora Mikroba Pembusuk dan Pathogen Pada Makanan

Sel-sel mikroba bisa hadir dalam bentuk vegetatif atau spora, tergantung dari kondisi lingkungan dimana mereka berada. Sel vegetatif dan spora mempunyai perbedaan dalam komposisi kimia, struktur morfologi, dan fisiologi [13]. Beberapa spesies mikroba dapat membentuk spora dari sel vegetatifnya, dan dapat tumbuh serta berkembang biak menjadi sel vegetatif kembali pada saat kondisi memungkinkan (misal adanya air, nutrisi, dan germinan). Spora merupakan bentuk yang resisten dan mampu bertahan hidup dibawah tekanan lingkungannya seperti habisnya nutrisi. Spora bakteri diketahui tahan terhadap berbagai macam agen dan stres seperti radiasi, suhu tinggi, pembekuan, tekanan, pengeringan, pH ekstrim, dan berbagai macam zat kimia beracun [14, 15],

sehingga sering digunakan sebagai target dalam pasteurisasi makanan. Pada jamur, spora yang dihasilkan tidak hanya dipakai sebagai alat untuk bertahan hidup, namun umumnya juga merupakan alat untuk bereproduksi.

Pertumbuhan mikroba patogen dalam makanan dapat menyebabkan kontaminasi, pembusukan makanan, gangguan kesehatan, dan wabah penyakit. Bakteri patogen pembentuk spora sering ditemukan pada olahan pangan ber-pH tinggi ($\text{pH} > 4.6$), diantaranya adalah *Clostridium botulinum*, *C. perfringens* dan *B. cereus*. Spora *C. botulinum* adalah yang paling berbahaya [16] yang berpotensi menghasilkan neurotoksin fatal [17]. *B. licheniformis*, *Bacillus pumilus*, *Clostridium baratii*, *Clostridium butyricum*, *Clostridium difficile*, *Bacillus thuringiensis*, dan *Bacillus anthracis* merupakan contoh bakteri patogen yang penting [17]. Penyakit seperti infeksi, botulisme bayi, diare hingga fulminan kolitis, gastroenteritis, dan diare telah dilaporkan dengan bakteri-bakteri pathogen tersebut [18].

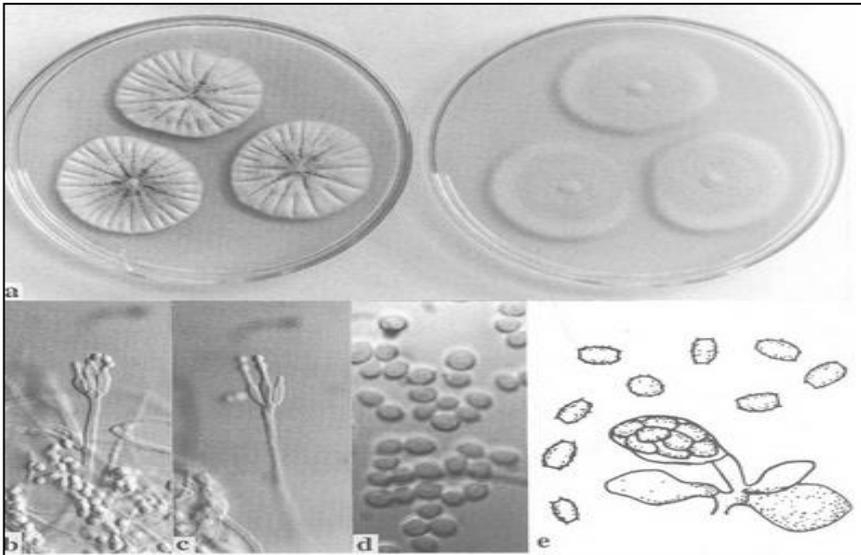
Pada makanan pH rendah dan diasamkan, tujuan pasteurisasi utama adalah untuk menghindari pembusukan selama distribusi pada suhu kamar atau pada kondisi berpendingin, daripada menghindari masalah wabah penyakit atau kesehatan masyarakat. Makanan pH rendah meliputi produk buah-buahan dan biasanya mengandung asam organik tingkat tinggi. Mengingat kandungan asam tinggi dari kelas makanan ini ($\text{pH} < 4.6$), umumnya bakteri patogen tidak dapat tumbuh. Namun, bakteri *B. subtilis* dapat tumbuh dalam jus saat temperatur distribusi terganggu dan meningkatkan pH menjadi lebih besar dari 4,8 [19]. Mikroorganisme penting pembentuk spora yang terkait dengan pembusukan pangan ber-pH rendah dan diasamkan adalah dari golongan jamur seperti *B. nivea*, *N. fischeri*, *T. flavus*, *E. javanicum*, dan khamir (misalnya *Saccharomyces cerevisiae*). *B. nivea* diketahui dapat menghasilkan mikotoksin patulin [20], asam

byssochlamic [21], dan byssotoxin A [22]. *N. fischeri* juga tercatat sebagai jamur yang mampu untuk menghasilkan mikotoksin terrein, fumitremorgins A dan B, dan verrucologen [23, 24]. Baik *B. nivea* dan *N. fischeri* diketahui dapat tumbuh pada kondisi oksigen yang rendah, yaitu dalam makanan yang dikemas [19, 24]. Beberapa species dari *Talaromyces* sp. seperti *Talaromyces macrosporus* dan *Talaromyces wortmannii* juga diketahui menghasilkan mikotoksin [25]. *E. javanicum* juga diketahui menghasilkan mikotoksin xanthomegnin dan palitantin [25].

2.4 *Eupenicillium javanicum*

Anamorph *E. javanicum* identik dengan *P. simplicissimum*. Pitt dan Hocking [5] menyatakan bahwa *E. javanicum* menunjukkan variasi yang cukup besar dalam ukuran konidial, jamur *E. Javanicum* dapat dilihat pada Gambar 2.3. Umumnya konidia berukuran 2,5-3,2x1,8-2,5 μm , tetapi beberapa konidia ellipsoidal memiliki ukuran yang lebih besar hingga 4,5x3,0 μm . Spora umumnya tumbuh dengan baik mencapai diameter 3,5-4,5 cm, pada MEA (malt extract agar) yang berperan sebagai media padat yang digunakan untuk pengamatan fenotipik menunjukkan bahwa luas penyebaran mencapai diameter 5-7 cm dalam 2 minggu pada 25°C.

E. javanicum, *E. levitum*, *E. lineolatum* dan *E. Meloforme* mampu menghasilkan hifa askogen bercabang longgar dan asci tunggal. Asci merupakan jamur yang menghasilkan spora mikroskopis di dalam sel khusus atau sel memanjang. Selain itu, *anamorph* serta bentuk askosporanya identik, perbedaan dari keempat spesies ini terletak pada ornamen dinding askospora. Pemisahan yang terjadi hanya mungkin dilakukan dengan SEM (pemodelan persamaan struktural), meskipun beberapa strain spora ukuran besar dapat dikenali dengan mikroskop cahaya [26].



Gambar 2.3 Jamur *Eupenicillium javanicum*. (a) koloni pada CYA dan MEA, 7 hari, 258°C; (b, c) penicilli, bars = 10 mm; (d) konidia, bar = 5 mm; (e) asci dan askospora, bar = 5 mm [5].

Klasifikasi taksonomi *E. javanicum* adalah sebagai berikut:

- Kingdom : Fungi
- Phylum : *Ascomycota*
- Class : *Eurtiomycetes*
- Ordo : *Eurotiales*
- Family : *Trichomaceae*
- Genus : *Eupenicillium*
- Spesies : *E. javanicum*

Eupenicillium umumnya terdapat ditanah dan biasanya dapat ditemukan pada sayur dan buah-buahan. Spesies *Eupenicillium* telah

terisolasi sebagai jamur yang tahan panas dan kontaminan jus buah. 4 spesies dari *Eupenicillium* yang terdapat dalam jus buah yaitu *E. brefeldianum*, *E. cinnamopurpureum*, *E. hirayamae*, dan *E. javanicum*. Dampak buruk dari sifat jamur yang tahan panas (*heat resistance*) ini terhadap produk buah adalah jamur-jamur tersebut masih dapat hidup setelah diberikan perlakuan panas dan dapat menyebabkan kerusakan pada produk. Ada beberapa produk buah yang terlibat dalam kerusakan oleh jamur tahan panas: apel, tomat, nanas, anggur, stroberi, markisa, mangga, jeruk, jeruk bali, dan lain-lain [27].

Pada suhu 37°C *E. javanicum* dapat tumbuh dengan cepat. Askospora dewasa akan tumbuh selama 14 hari pada suhu 25°C. Spora ini dapat menghasilkan mikotoksin berupa *xanthomegnin* dan sedikit *palitantin*. *E. brefeldianum* berkaitan erat dengan *E. javanicum*, ukuran koloni dua spesies ini hampir sama. Spesies ini dapat menyebabkan pembusukan pada jus apel di Afrika Selatan walaupun telah melewati proses pasteurisasi [5].

2.5 Teknologi Pasteurisasi Termal

Pemanasan masih merupakan salah satu metode yang paling umum dan efektif untuk menginaktivasi mikroorganisme yang tidak diinginkan pada pangan. Panas diperlukan untuk menginaktivasi mikroba pembusuk dan penyebab patogen serta dalam mengembangkan rasa khas, aroma, tekstur dan warna makanan yang dimasak. Pasteurisasi menghasilkan makanan yang lebih aman dengan masa simpan lebih lama. Karena biasanya suhu ringan diterapkan untuk waktu tertentu, teknik pengawetan makanan pelengkap seperti modifikasi kemasan, penambahan bahan pengawet atau penggunaan penyimpanan dan distribusi berpendingin, mungkin diperlukan untuk mengendalikan pertumbuhan mikroorganisme yang masih hidup.

Teknik pasteurisasi termal jus buah yang sering dilakukan adalah teknik pasteurisasi low temperature long time (LTLT) pada suhu 63°C selama 30 menit. Kondisi pasteurisasi ini belum tentu cukup untuk menginaktivasi beberapa spora bakteri dan jamur yang mempunyai resistensi yang tinggi. Misalnya, nilai D termal (80 °C) spora *E. javanicum* dalam bubur stroberi (15 °Brix) adalah 15 menit [25]. Nilai D termal (90 °C) spora *B. cereus* berada dalam rentang 1 dan 100 menit, tergantung jenis strain dan pangan yang dikontaminasi [28, 29]. Nilai D pada 90°C untuk *N. fischeri* dalam jus buah berada antara 1.5 hingga 23.4 menit [22-24], 1.8 hingga 6.3 menit untuk *B. nivea* dalam bubur stroberi [25], dan 0.9 hingga 2.9 menit untuk *Talaromyces* sp. dalam bubur stroberi dan jus anggur [25, 30]. Tingkat kemanisan pangan yaitu jus juga sangat mempengaruhi nilai D termal spora seperti yang dilaporkan oleh Uchida dan Silva [31] dan Silva dkk. [32]. Baru-baru ini peneliti Evelyn dkk [33], telah memperoleh nilai D90°C untuk *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *T. flavus*, dan *E. javanicum* tersuspensi didalam jus nenas (pH 3.8 dan 12 °Brix) masing-masing sebesar 13,2, 7,6, 2,9 dan 1,5 menit.

2.6 Teknologi Pasteurisasi Non-Termal

Pengembangan teknologi dan inovasi baru dalam bidang pengolahan pangan terus dilakukan dan telah berhasil mengembangkan beberapa teknologi maju dalam bidang sterilisasi dan pasteurisasi bahan pangan yaitu teknologi pasteurisasi non termal. Teknologi nontermal meliputi teknologi pulsed electric field (PEF), teknologi high pressure processing (HPP), ultrasound (US), pulsed light (PL), teknologi ozon, teknologi iradiasi (gamma radiation), teknologi pasteurisasi dengan sinar X, electron beam dan lain-lain.

Metode Pulsed Electric Field (PEF) adalah salah satu metode perlakuan nontermal yang berpotensi dapat menginaktivasi mikroba yang memiliki resistensi panas yang rendah ataupun tinggi tanpa mengubah cita rasa dan kekayaan nutrisi pada produk pangan. Proses PEF didasarkan pada aplikasi denyut pendek tegangan tinggi (20-80 kV/cm) dengan waktu kurang lebih 1 detik pada makanan cair yang ditempatkan diantara dua elektroda. Teknologi inaktivasi dengan LED dilakukan sebagai solusi untuk mengurangi dampak negatif dari lampu UV dalam pasteurisasi dimana cahaya dapat mempengaruhi stabilitas mikroorganisme yang tidak aktif, enzim pembusukan, parameter nutrisi dan kualitas makanan. Penggunaan teknologi LED telah diaplikasikan dalam pengemasan dan sterilisasi permukaan bahan makanan siap saji.

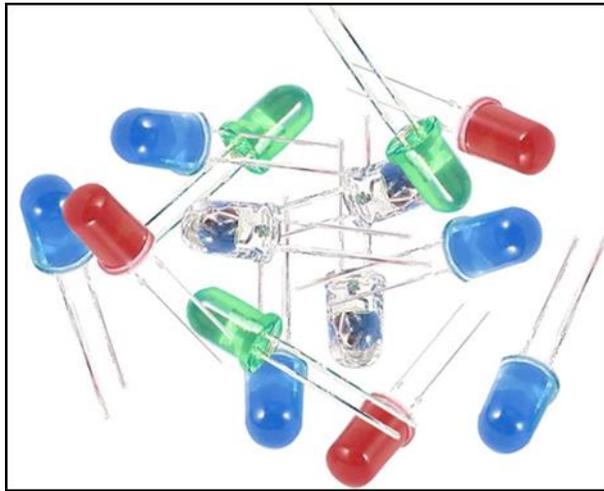
Inaktivasi ultrasonik dan penghancuran mikroba adalah teknik non-termal, yang berarti prinsip kerja utamanya tidak didasarkan pada panas. Pasteurisasi ultrasonik disebabkan terutama oleh efek kavitas akustik. Fenomena kavitas akustik atau ultrasonik dikenal karena suhu, tekanan, dan diferensial masing-masing yang tinggi secara lokal, yang terjadi di dalam dan sekitar menit gelembung kavitas. Selain itu, kavitas akustik menghasilkan gaya geser yang sangat intens, jet cair dan turbulensi. Kekuatan destruktif ini menyebabkan kerusakan luas pada sel mikroba, perforasi sel tersebut dan gangguan. Perforasi sel dan gangguan adalah efek unik yang ditemukan dalam sel-sel ultrasonically-dirawat yang disebabkan terutama oleh jet cair yang dihasilkan oleh kavitas [34]. High pressure carbon dioxide (HPCD) adalah metode pasteurisasi dingin yang mempengaruhi aktivitas mikroorganisme dan enzim melalui efek molekul CO₂ yang dilakukan di bawah tekanan 50 MPa [35]. HPCD juga diketahui dapat menjaga kualitas nutrisi makanan dibandingkan metode termal.

2.7 Light Emitting Diode (LED)

Sebelum LED dikembangkan, lampu UV sering digunakan untuk inaktivasi patogen. Namun, lampu UV memiliki beberapa kelemahan seperti yang terdapat pada Tabel 2.1. Oleh karena itu beberapa tahun belakangan dikembangkan lampu LED sebagai solusi untuk mengurangi dampak negatif dari lampu UV [36]. Teknologi cahaya akan mempengaruhi stabilitas mikroorganisme yang tidak aktif, enzim pembusukan, parameter nutrisi dan kualitas makanan. Penggunaan teknologi LED menemukan aplikasi dalam pengemasan dan steri-lisasi permukaan bahan makanan siap saji. LED seperti pada Gambar 2.4 adalah semikonduktor yang mengubah energi listrik menjadi cahaya dari nilai konsumsi transfer data dalam bit/detik (bandwidth) dengan panjang gelombang yang menghasilkan elektron dan lubang, sehingga saat berinteraksi di persimpangan akan menghasilkan emisi cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda dan muncul sebagai warna yang berbeda. Panjang gelombang merupakan faktor penting dalam inaktivasi mikroorganisme. Di bidang keamanan pangan dan pelestarian, LED dianggap sebagai teknologi baru yang dapat memenuhi permintaan konsumen akan keamanan pangan [36].

Tabel 2.1 Perbedaan Lampu UV dengan LED [36].

No	Lampu UV	Lampu LED
1	Mengandung merkuri beracun	Tanpa kandungan merkuri
2	Konsumsi energi besar	Konsumsi energi kecil
3	masa hidup \pm 10000 jam	masa hidup >100000 jam
4	kemampuan menghidupkan dan mematikan dengan frekuensi 15 - 35%	kemampuan menghidupkan dan mematikan dengan frekuensi tinggi
5	Memiliki waktu untuk pemanasan	Tidak ada waktu pemanasan



Gambar 2.4 Light Emitting Diode (LED) [37].

Penggunaan teknologi *Light Emitting Diode* (LED) merupakan salah satu inaktivasi *non-thermal* dan *non-chemical* yang muncul sebagai perawatan untuk desinfeksi permukaan dan pelestarian bahan makanan padat dan cair. Teknologi ini memanfaatkan sifat unik cahaya untuk berinteraksi dengan varietas makanan. Dengan panjang gelombang LED yang berbeda, metode ini menawarkan harapan umur panjang, kekokohan, dan kekompakan dan dapat mampu mengatasi kerumunan mengenai keamanan pangan selama produksi, pascapanen, dan penyimpanan ketika industri makanan telah memperhatikan. Panjang gelombang LED tergantung pada warna yang dihasilkan seperti yang terdapat pada Tabel 2.2.

LED dapat mengurangi kerusakan *thermal* dan degradasi pada tanaman dan makanan serta cocok untuk aplikasi *cold-storage* karena memiliki emisi panas radiasi rendah, emisi tinggi cahaya monokromatik (terdiri dari satu warna), kelistrikan, efisiensi bercahaya dan foton, harapan

umur panjang, fleksibilitas dan ketahanan mekanik. Metode ini merupakan metode alternatif yang cepat, efisien untuk meningkatkan kualitas makanan dan lebih efektif untuk meningkatkan daya simpan bahan makanan. Teknologi ini memiliki kemampuan pengawetan yang baik yang kontras dengan teknologi pengawetan makanan tradisional.

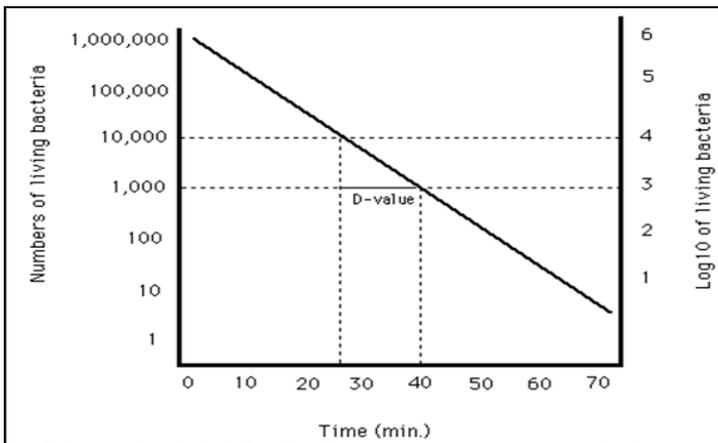
Tabel 2.2 Karakteristik LED [37]

Bahan Semi konduktor	Panjang gelombang (nm)	Warna
<i>Gallium Arsenide (GaAs)</i>	850 – 940	Infra merah
<i>Gallium Arsenide Phosphide (GaAsP)</i>	630 – 660	merah
<i>Gallium Arsenide Phosphide (GaAsP)</i>	605 – 620	Amber
<i>GaAsP:N</i>	585 – 595	Kuning
<i>Aluminium Gallium Phosphide (AlGaP)</i>	550 – 570	Hijau
<i>Silicon Carbide (SiC)</i>	430 – 505	Biru
<i>GaInN</i>	450	Putih

2.8 Ketahanan Panas Mikroorganisme

Ketahanan panas mikroorganisme adalah kemampuan suatu mikroorganisme untuk tetap bertahan saat memperoleh perlakuan panas/penyinaran yang dinyatakan dengan nilai D. Nilai D dapat diperoleh dengan membuat plot antara waktu (t) pada sumbu x, terhadap konsentrasi spora atau sel vegetatif yang menyatakan jumlah koloni yang hidup (nilai D secara Log N/N₀, CFU/ml) pada sumbu y seperti pada Gambar 2.5. data

hasil percobaan yaitu logaritmik mikroba yang hidup setelah perlakuan. Nilai D digunakan untuk menentukan waktu (menit) yang dibutuhkan untuk mereduksi jumlah mikroba sebesar 1 siklus log atau untuk mengurangi 90% jumlah mikroba. Semakin besar nilai D maka semakin besar pula ketahanan panas suatu mikroorganisme tersebut.



Gambar 2.5 Grafik Perbandingan Log Jumlah Mikroba (N) terhadap Waktu (t) [38].

Nilai D bisa dihitung menggunakan persamaan 2.1. Nilai D merupakan waktu yang diperluka untuk mengurangi jumlah mikroorganisme dengan faktor satu desimal atau satu siklus log. Untuk mengetahui Decimal Reduction Time (D) dilakukan pengurangan antara jumlah mikroba hidup mula-mula (N_0), dengan jumlah mikroba setelah dilakukan pemanasan/penyinaran (N), dan dibagi dengan waktu yang digunakan (t):

$$\text{Log} \frac{N}{N_0} = -\frac{t}{D} \quad (2.1)$$

dimana N_0 dan N (cfu/mL) adalah konsentrasi spora awal dan yang masih hidup setelah perlakuan termal / teknologi termal atau non termal lainnya pada waktu tertentu (t). Persamaan ini secara analogi bisa dijabarkan untuk perlakuan LED seperti persamaan 2.2 berikut:

$$\text{Log} \frac{N}{N_0} = - \frac{kxH}{\ln_{10}} \quad (2.2)$$

dimana H adalah dosis atau intensitas LED (J/cm^2) dan k adalah konstanta laju reaksi orde pertama (cm^2/J) dimana nilai D LED dapat dihitung:

$$D = \frac{2.303}{k} \quad (2.3)$$

BAB III

METODOLOGI

3.1 Bahan dan Peralatan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kultur jamur *E. Javanicum* (type strain N-INACC F154) koleksi INA-CC LIPI Cibinong Jawa Barat, kentang, agar, asam sitrat 10%, alkohol 70%, spiritus, dextrose, BPS, Aquades, saringan aluminium, dan jus stoberi (pH 4.5 ± 10.1 °brix).

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah LED dengan varian warna biru, hijau dan merah, vortex, autoclave all america model 1925/KY-23D, spektrofotometer (genesys 10S), inkubator, centrifuge, lampu bunsen, pH meter, refraktometer, jarum ose, kulkas, cawan petri, glass woll, timbangan analitik, tabung reaksi, dan alat-alat standar laboratorium lainnya sesuai prosedur kerja.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel tetap pada penelitian ini adalah medium inaktivasi berupa jus stoberi, volume jus sebanyak 2 ml, jarak antara lampu dengan sampel 2 cm, volume spora *E. javanicum* sebanyak 1 ml (konsentrasi spora 10^6 - 10^7 CFU/ml).

Variabel berubah pada penelitian ini adalah menggunakan LED biru (430 nm, 420 J/cm^2 , hijau (550 nm, 264 J/cm^2), and merah (630 nm, 216 J/cm^2). Tingkat kemanisan jus yaitu 10, 15, dan 20 °brix. Untuk tingkat kemanisan 10° brix dilakukan penambahan proses thermal setelah proses inaktivasi dengan LED menggunakan suhu 90°C hingga 9 menit.

3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan melalui beberapa tahapan yaitu penentuan pembuatan spora, proses inaktivasi dengan Light Emitting Diode (LED) dan LED-Assisted Thermal, serta enumerasi atau pencacahan spora.

3.3.1. Pembuatan Spora

Prosedur sporulasi yang dijelaskan sebelumnya (Evelyn et al., 2020a) diikuti. Secara singkat, ascospores dari *E. javanicum* diperoleh setelah pertumbuhan selama empat minggu pada 30 °C pada potato dextrose agar (PDA). Askospora lalu dipanen dengan menuangkan air suling sebanyak 5 mL ke permukaan kultur agar serta menggosok dengan lembut permukaan agar dengan batang kaca steril.

Suspensi askospora yang diperoleh kemudian disaring melalui lapisan kain kasa untuk menghilangkan fragmen hifa yang tersisa. Pelet spora diperoleh dengan sentrifugasi suspensi spora pada kecepatan 4.000×g, 15 menit, 4 °C, dan prosedur diulang tiga kali. Pembentukan askospora dikonfirmasi melalui pengamatan visual menggunakan mikroskop optik. Terakhir, suspensi spora disimpan pada 2 °C sebelum digunakan.

3.3.2. Inaktivasi Spora dengan Light Emitting Diode

Unit LED tipe batch dikembangkan dan dilengkapi dengan sistem pendingin kipas. LED memancarkan tiga panjang gelombang yaitu 430 nm (biru), 550 nm (hijau), dan 630 nm (merah) dipilih berdasarkan tinjauan pustaka tentang efektifitas cahaya ini sebagai antimikroba [39, 40]. Untuk setiap percobaan, 12 lampu LED yang dipasang dalam satu papan sirkuit (sama dengan iradisi 420 J/cm² untuk cahaya biru, 264 J/cm² untuk lampu hijau dan 216 J/cm² untuk lampu merah) digunakan sebagai sumber

kekuatan teknologi non termal. Cawan petri ditempatkan di atas unit pengaduk magnetik untuk memastikan suspensi spora yang homogen.

3.3.3. Inaktivasi Spora dengan Light Emitting Diode Assisted Thermal

Untuk proses LED-Assisted Thermal, sampel jus yang diinokulasi disinari dengan LED yang mempunyai energi atau dosis yang sama dengan sebelumnya ($216-420 \text{ J/cm}^2$) diikuti dengan pemrosesan termal pada 90°C hingga 9 menit. Hasilnya kemudian dibandingkan dengan pemrosesan termal 90°C saja. Suhu ini dipilih sehingga hasilnya dapat dibandingkan dengan literatur menggunakan askospora jamur yang serupa. Proses termal dilakukan dalam thermal death tubes (TDT) yang terendam ke dalam waterbath atau penangas air menurut prosedur penelitian sebelumnya oleh Evelyn et al. [32, 41, 42]. Sampel jus diambil sesuai kebutuhan setelah pemrosesan LED-termal dan termal dan dilanjutkan dengan pencacahan untuk mengetahui jumlah spora jamur yang masih hidup.

3.3.4. Enumerasi atau Pencacahan Spora

Konsentrasi awal dan setelah perlakuan dari spora *E. javanicum* dalam jus ditentukan dengan menyebarkan metode plating ke PDA diikuti oleh inkubasi secara aerobik pada 27°C selama 4 hingga 5 hari [41]. Pengenceran desimal yang tepat dilakukan dalam 0,1% air pepton sebelum plating keatas plate agar. Setiap tabung pengenceran dicampur berulang kali menggunakan vortex mixer berkecepatan tinggi untuk menghasilkan suspensi spora seragam dan plating dilakukan dua kali. Koloni rata-rata dinyatakan dalam cfu / mL sampel jus. berlapis dua kali. Koloni rata-rata dinyatakan dalam cfu / mL sampel jus.

BAB IV

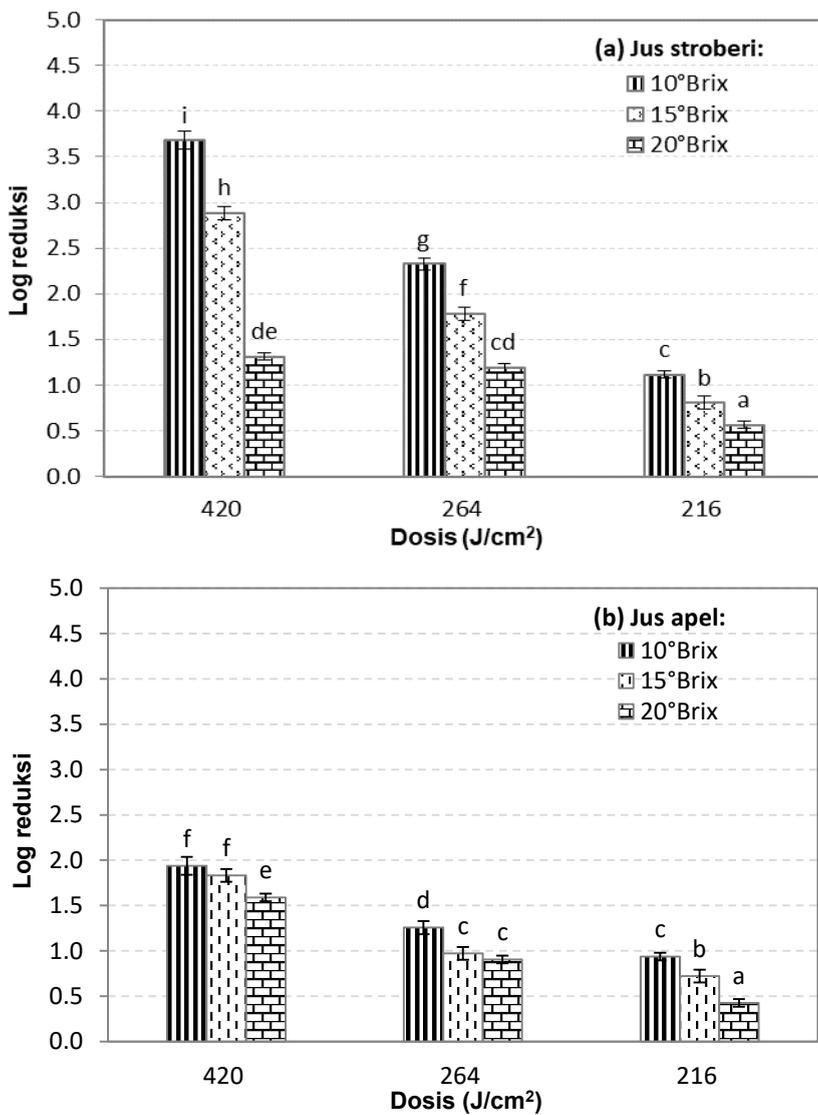
PROSES LIGHT EMITTING DIODE (LED) DAN LED-ASSISTED THERMAL

4.1. Light Emitting Diode

Pengaruh perlakuan Light Emitting Diode (LED, 430-630 nm, 216-420 J/cm²) saja pada askospora *E. javanicum* dalam jus buah yang mempunyai soluble solid (SS) yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 4. Seperti yang terlihat pada gambar ini, cahaya visible LED mempengaruhi inaktivasi spora *E. javanicum* dalam jus stroberi dan jus apel meskipun pada konsentrasi SS yang lebih tinggi. Cahaya LED biru dengan energy 420 J/cm² lebih baik daripada cahaya LED hijau (264 J/cm²) dan merah (216 J/cm²) dalam mereduksi askospora *E. javanicum* dalam jus stroberi: 10°Brix (3.7 vs <2.3 log), 15°Brix (2.9 vs <1.8 log), dan 20°Brix (1.3 vs <1.1 log) ($p < 0.05$). Observasi yang serupa terlihat untuk jus apel: 10°Brix (1.9 vs <1.3 log), 15°Brix (1.8 vs <1.0 log), dan 20°Brix (1.6 vs <0.9 log) ($p < 0.05$). Berdasarkan beberapa peneliti, Panjang gelombang cahaya visible LED dari area biru hingga panjang gelombang sebesar 630 nm mempunyai efek bakterisidal terhadap mikroorganisme tertentu [43, 44]. Keefektifan daerah cahaya visible biru dalam rentang panjang gelombang antara 405 dan 460 nm dibandingkan cahaya LED dengan panjang gelombang antara 521 nm dan 642 nm telah juga dilaporkan oleh peneliti lain [45]. Banyak peneliti melaporkan mekanisme inaktivasi mikroorganisme oleh cahaya LED adalah akibat proses eksitasi spesies oksigen reaktif atau reactive oxygen species (ROS) oleh molekul-molekul photosensitive dan penyerap cahaya pada mikroorganisme tersebut, yang menyebabkan kerusakan sel bahkan

kematian sel [39, 40, 45]. Donnelly et al. [46] menunjukkan bahwa sisi kerusakan fungi akibat LED ini terlihat pada bagian plasma membran dan mitokondria disebabkan oleh singlet oxygen di bawah inaktivasi broadband lights [47]. Beberapa fungi seperti *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida albicans*, dan *Aspergillus niger* (konidia) telah diketahui memiliki photosensitizer endogenous yaitu porphyrins selama proses inaktivasi fotodinamik [48], dimana mungkin juga terjadi dalam studi ini atau terdapat juga photosensitizer pada jamur *E. javanicum*. Murdoch et al. [47] memperoleh hanya 3.5 log inaktivasi dengan cahaya 405 nm pada dosis yang jauh lebih tinggi yaitu 1080 J/cm² untuk konidiospora jamur *A. niger* dalam malt extract broth [48] vs 1.9-3.7 log setelah cahaya 430 nm dan dosis 420 J/cm² pada studi ini untuk askospora *E. javanicum* dalam jus buah. Temba et al. [49] menunjukkan tidak ada reduksi untuk spora jamur *Aspergillus flavus* dalam larutan buffer dan maize kernels setelah aplikasi 420 nm light (84 J/cm²) tapi bisa mendapatkan 3 log reduksi saat menambahkan curcumin sebagai photosensitizer [49]. Pada endospore bakteri, sekitar 2 log reduksi endospora dari *B. cereus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* dan *Clostridium difficile* tersuspensi dalam larutan phosphate buffered setelah aplikasi 405 nm LED (1150 J/cm²) [47].

Seperti yang telah diprediksi, umumnya dengan kenaikan °brix maka akan menghasilkan reduksi spora yang lebih kecil ($p < 0.05$) dengan vis-LED meskipun pengaruh ini tidak terlalu terlihat pada aplikasi cahaya hijau antara 15 dan 20°Brix pada jus apel (Gambar 4.1). Hal ini dapat dijelaskan oleh proteksi konsentrasi soluble solid jus yang juga telah dilaporkan oleh peneliti terdahulu dengan metode termal, cahaya UV-C dan High Pressure Thermal Processing [32, 41, 50, 51].



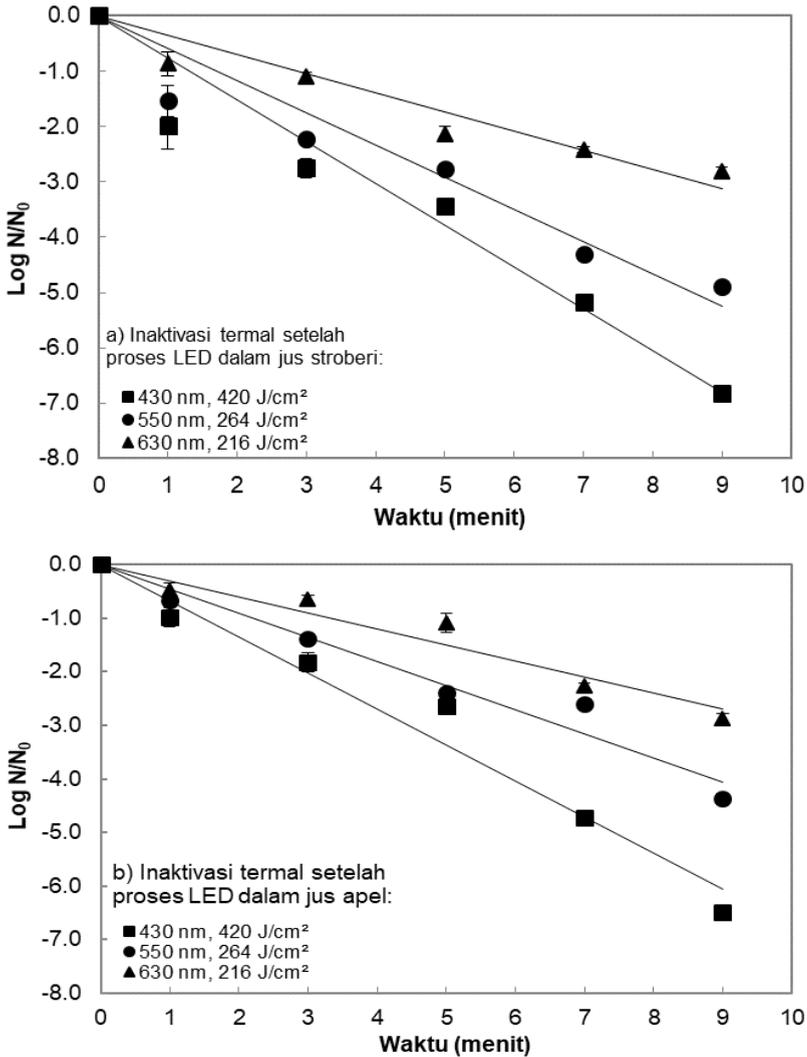
Gambar 4.1 Log reduksi askospora *Eupenicillium javanicum* dalam: (a) jus stroberi (10-20 °Brix) dan (b) jus apel (10-20 °Brix) setelah aplikasi cahaya LED dengan dosis 216, 264, dan 420 J/cm².

Soluble solid yang lebih besar menunjukkan water activity yang lebih rendah dan resistensi spora yang lebih besar terhadap perlakuan inaktivasi [51]. Semua hasil ini juga menunjukkan resistensi bakteri yang lebih besar daripada fungi pada perlakuan visible LED dan proses inaktivasi dipengaruhi oleh interaksi antara dosis atau energi, medium suspensi, SS, kehadiran photosensitizer dan spesies mikroba. Tidak ada studi lain yang ditemukan yang menggunakan spora mikroba dalam produk makanan atau medium lainnya dan pada panjang gelombang lebih tinggi dari 430 nm.

4.2. LED-Assisted Thermal

Gambar 4.2 memperlihatkan log survivor termal askospora *E. javanicum* InaCC F154 setelah aplikasi LED (430-630 nm, 216-420 J/cm²) dalam jus stroberi dan jus apel pada suhu 90°C selama waktu 9 menit. Dapat dilihat bahwa panjang gelombang LED memainkan peranan penting dalam inaktivasi spora. Aplikasi cahaya biru-430 nm sebelum perlakuan termal ini menunjukkan pengaruh yang paling besar dalam inaktivasi. Sebagai contoh, pada 9 menit perlakuan, proses termal untuk jus stroberi menghasilkan 6.8 log pada jus yang diaplikasikan cahaya biru (420 J/cm²) vs 3.1-5.3 log untuk jus yang diperlakukan dengan cahaya hijau (264 J/cm²) dan merah (216 J/cm²) ($p < 0.05$). Spora *E. javanicum* menunjukkan resistensi yang lebih besar dalam jus apel dengan 6.1 log untuk LED biru, 4.1 log untuk LED hijau, dan 2.7 log untuk LED merah pada kondisi proses yang sama ($p < 0.05$). Oleh karena itu proses termal jus yang diperlakukan dengan cahaya biru sebelumnya dapat menghasilkan 5 log inaktivasi dalam jus buah. Sepengetahuan peneliti, studi-studi sebelumnya belum ada yang meneliti tentang perlakuan LED-assisted thermal pada spora bakteri dan

fungi dan dalam produk makanan dan minuman sehingga sulit untuk dibandingkan dengan yang lain.



Gambar 4.2 Aplikasi LED (216-420 J/cm²) assisted 90°C-termal pada askospora *Eupenicillium javanicum* dalam: (a) jus stroberi (10.1°Brix) dan (b) jus apel (10.3°Brix) untuk waktu sampai dengan 9 min.

Meskipun demikian, Artíguez dan de Marañón memperoleh 4.6 log reduksi untuk spora *B. subtilis* dalam distilled water yang diaplikasikan 1.0 J/cm² pulsed light dilanjutkan dengan pemanasan (90 °C, 10 menit) [52] versus 6.1-6.8 log reduksi yang diperoleh pada studi ini dengan askospora *E. javanicum* dalam jus buah setelah 420 J/cm² LED dilanjutkan dengan pemanasan pada temperatur dan waktu yang sama (90°C-9 menit). Penelitian lain memperoleh sebanyak 5 log inaktivasi spora *B. subtilis* dalam skim/whole milk dengan metode UV (2.4 J/ml) dilanjutkan dengan pemanasan pada suhu 110°C selama <1 min [36]. Namun demikian, meskipun proses inaktivasi kelihatannya dipengaruhi oleh panjang gelombang, kerusakan spora setelah perlakuan LED yang diikuti dengan sensitisasi spora terhadap termal atau panas belum dapat terkonfirmasi pada studi ini. Oleh karena itu, studi lebih lanjut perlu dilakukan untuk mendapatkan hasil inaktivasi spora dengan proses termal saja yang akan menjadi target penelitian/data selanjutnya.

4.3. Kinetika Reaksi LED dan LED-Assisted Thermal

Persamaan kinetika first order digunakan untuk mengestimasi parameter kinetika inaktivasi spora setelah proses LED dalam jus buah 10°Brix, dan parameter-parameter ini dapat dilihat pada Tabel 1. Nilai konstanta laju kematian (*k*) setelah perlakuan visible LED (430-630 nm, 216-420 J/cm², temperatur ruangan) adalah 0.019 cm²/J dalam jus stroberi dan 0.011 cm²/J dalam jus apel. Sehingga, nilai decimal reduksi LED (*D*) adalah 121.9 J/cm² dan 217.4 J/cm² untuk jus stroberi dan jus apel, menunjukkan resistensi yang jauh lebih besar dalam jus apel (*p*<0.05). Sepengakuan peneliti, belum ada studi terdahulu yang melaporkan kinetika inaktivasi askospora *E. javanicum* dalam jus buah setelah aplikasi visible LED. Seperti

yang disebutkan diatas, studi lebih lanjut perlu dilakukan untuk mendapatkan dan membandingkan parameter-parameter kinetika hasil inaktivasi spora antara proses LED assisted thermal vs. proses termal saja untuk melengkapi data selanjutnya. Namun hasil menunjukkan bahwa proses LED-assisted thermal memiliki hasil yang sama jika hanya dengan termal saja pada 90 °C.

Tabel 4.1 Parameter kinetika orde pertama (nilai k dan D) untuk inaktivasi spora *Eupenicillium javanicum* InaCC F154 dengan LED dalam jus stroberi dan jus apel*

Jus buah	Nilai k (cm^2/J)	Nilai D_{LED} (J/cm^2)*	SSE	RMSE	R^2
Stroberi (10.1°Brix)	0.019	121.9	0.21	0.46	0.93
Apel (10.3°Brix)	0.011	217.4	0.002	0.05	0.99

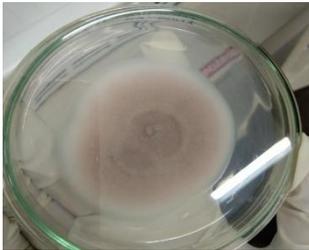
*Proses visible LED antara 216 dan 420 J/cm^2 . Nilai k - dan D adalah parameter kinetika orde pertama; SSE, RMSE dan R^2 adalah nilai sum of squares untuk error (SSE), root mean squared error dan koefisien regresi. Nilai parameter-parameter tersebut diperoleh dari setidaknya dua eksperimen individual.

BAB V PENUTUP

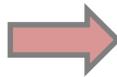
Teknologi non termal Light Emitting diode (LED) mempengaruhi inaktivasi spora *E. javanicum* dalam stroberi dan jus apel. Hasil menunjukkan bahwa cahaya biru (430 nm, 420 J/cm²) memberikan kinerja terbaik dengan pengurangan log 1,9-3,7 dalam jus stroberi dan apel. Inaktivasi spora dalam jus pada umumnya tergantung pada panjang gelombang LED, menjadi lebih besar inaktivasinya pada panjang gelombang yang lebih rendah. Besar inaktivasi juga dipengaruhi oleh kandungan soluble solid dari jus buah. Tidak ada perbedaan inaktivasi spora antara LED biru assisted 90°C-thermal dengan membantu proses termal saja. Hasil kinetika menunjukkan resistensi yang lebih tinggi dari spora jamur dalam jus apel daripada jus stroberi di bawah proses LED dan LED-termal. Proses LED biru pada dosis yang lebih tinggi (> 420 J/cm²) berpotensi digunakan untuk mengontrol spora *E. javanicum* dalam jus buah.

LAMPIRAN (DOKUMENTASI)

PERSIAPAN BAHAN BAKU JAMUR *E. JAVANICUM*



Bibit *E. javanicum*



Pemindahan bibit ke cawan petri



Peremajaan bibit –
penyimpanan dalam
incubator 3-5 hari, 27 °C

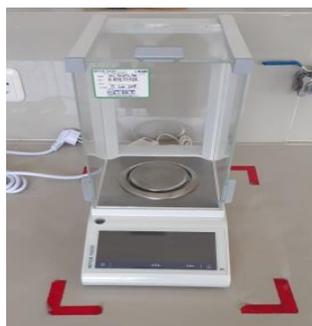


Peremajaan bibit

PERSIAPAN PERALATAN



Water bath



Neraca analitik



Vortex mixer



Hotplate



Autoclave



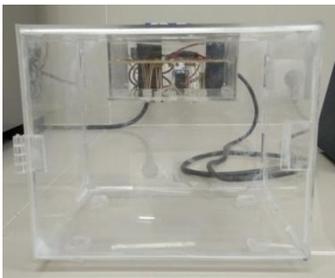
pH meter



Oven



Inkubator

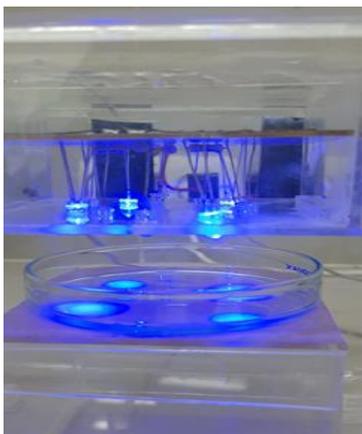


Kotak acrylic untuk proses Light emitting diode

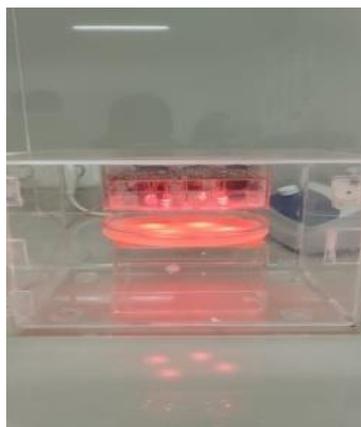


Biological safety cabinet

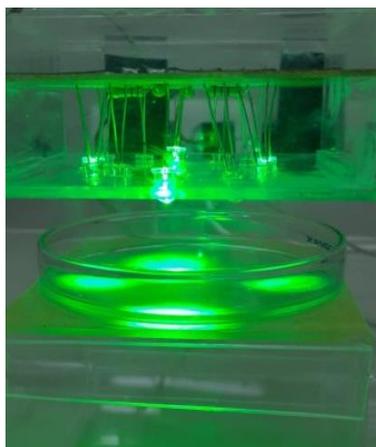
INAKTIVASI DENGAN LED DAN LED-THERMAL



Inaktivasi dengan LED biru



Inaktivasi dengan LED merah



Inaktivasi dengan LED hijau



Inaktivasi dengan LED kombinasi termal (90 °C)

SPORULASI DAN ENUMERASI SPORA



Sporulasi pada PDA selama 30 hari pada 30 °C



Enumerasi – Pengenceran bertingkat



Enumerasi – Penghitungan jumlah koloni

DAFTAR PUSTAKA

1. Silva, F. V. M., Gibbs, P. A., Nunez, H., Almonacid, S., dan Simpson, R., 2014. Thermal processes: Pasteurization. In C. A. Batt, dan M. L. Tortorello (Eds.), *Encyclopedia of food microbiology* (2nd ed., pp. 577-595). Amsterdam: Elsevier.
2. Evelyn, dan Silva, F. V. M., 2018. Inactivation of pathogenic microorganisms in foods by high pressure processing. In V. R. Rai, dan A. J. Bai (Eds.), *Food safety and protection* (Chapter 10). CRC Press: Boca Raton, Florida.
3. Silva, F. V. M., dan Evelyn, 2018. High pressure processing effect on microorganisms in fruits and vegetable products. In M. Houska, dan F.V.M. Silva (Eds.), *High pressure processing of fruit and vegetable products* (Chapter 2). CRC Press: Boca Raton, Florida.
4. Bennett, R. W., dan Belay, N., 2001. *Bacillus cereus. Compendium of Methods for The Microbiological Examination of Foods*, 4, 311-316.
5. Pitt, J. I., and Hocking, A. D., 1997. *Fungi and food spoilage* (2nd ed.). Blackie Academic and Professional, London, UK.
6. Istiqah, W., 2016. Pengaruh dsari buah stroberi (*Fragaria ananassa*) dan penambahan susu skim terhadap mutu yoghurt susu sapi. Skripsi, Universitas Muhammadiyah Malang.
7. Kaddumukasa, P.P., Imathiu, S.M., Mathara, J.M., dan Nakavuma J.L., 2017. *Influence of physicochemical parameters on storage stability: Microbiological quality of fresh unpasteurized fruit juices*. Kampala. Uganda.

8. Batra, N.G., Sharma, A., dan Agarwal, N. 2018. Evaluation of microbiological criteria and quality of packed fruit juices. *International Food Research Journal* 25 (2), 458-461.
9. Hossain, M.M., Shishir, M.R.I., Saifullah, M., Sarker, K.U., Safeuzzaman, dan Rahman, M.A. 2016. Production and Investigation of Biochemical and Organoleptic Changes of Mixed Fruit Juice during Storage Period. *Indian Journal of Nutrition* 3 (1), 119-126.
10. Staughton, J. 2019. 8 Surprising Benefits Of Strawberry Juice. *Organic facts*. USA.
11. Hussein, A.M., Hegazy, N.A., Kamil, M.M., dan Ola, S.S. 2017. Formulation and Evaluation of Some Healthy Natural Juice Blends. *Asian Journal Sci. Res.*, 10 (3), 160-168.
12. Staughton, J. 2020. 16 Best Benefit of Apple Juice. *Organic facts*. USA
13. Keynan, A., 1969. The outgrowing bacterial endospore as a system for the study of cellular differentiation. *Current Topics in Developmental Biology*, 4, 1-36.
14. Black, E. P., Setlow, P., Hocking, A. D., Stewart, C. M., Kelly, A. L., dan Hoover, D. G., 2007. Response of spores to high-pressure processing. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 6 (4), 103-119.
15. Setlow, P., 2006. Spores of *Bacillus subtilis*: Their resistance to and killing by radiation, heat and chemicals. *Journal of Applied Microbiology*, 101 (3), 514-525.
16. Carlin, F., Girardin, H., Peck, M. W., Stringer, S. C., Barker, G. C., Martinez, A., Fernandez, A., Fernandez, P., Waites, W. M., dan

- Movahedi, S., 2000. Research on factors allowing a risk assessment of spore-forming pathogenic bacteria in cooked chilled foods containing vegetables: a FAIR collaborative project. *International Journal of Food Microbiology*, 60 (2), 117-135.
17. Brown, K. L., 2000. Control of bacterial spores. *British Medical Bulletin*, 56 (1), 158-171.
 18. Rodriguez, J. H., Cousin, M. A & Nelson, P. E. 1993. Thermal resistance and growth of *Bacillus licheniformis* and *Bacillus subtilis* in tomato juice. *Journal of Food Protection*, 56 (2), 165-168.
 19. Taniwaki, M., Hocking, A., Pitt, J., dan Fleet, G., 2009. Growth and mycotoxin production by food spoilage fungi under high carbon dioxide and low oxygen atmospheres. *International Journal of Food Microbiology*, 132 (2), 100-108.
 20. Escoula, L., 1974. Toxinogenic moulds of silage. III. Patulin and byssochlamic acid production by *Byssochlamys nivea* Westling on a laboratory silage model. *Annals of Veterinary Research*, 6 (2), 219-226.
 21. Beuchat, L., and Rice, S., 1979. *Byssochlamys spp.* and processed fruits. *Advanced Food Research* 25, 237-288.
 22. Nielsen, P., Beuchat, L., dan Frisvad, J., 1989. Growth of and fumitremorgin production by *Neosartorya fischeri* as affected by temperature, light, and water activity. *Applied and Environmental Microbiology*, 54 (6), 1504-1510.
 23. Tournas, V., 1994. Heat-resistant fungi of importance to the food and beverage industry. *Critical Reviews in Microbiology*, 20 (4), 243-263.

24. Frisvad, J. C., Samson, R. A., dan Stolk, A. C. 1990. Chemotaxonomy of *Eupenicillium javanicum* and related species. In R. A. Samson, dan J. I. Pitt (Eds.), *Modern concepts in Penicillium and Aspergillus classification* pp. 445-453. New York: Plenum Press.
25. Aragão, G. M. F. (1989). Identificação e determinação da resistência térmica de fungos filamentosos termorresistentes isolados da polpa de morango. *PhD Thesis*, Universidade de Campinas, Brazil.
26. Stolk, A.C., dan Samson, R.A., 1983. The Ascomycete genus *Eupenicillium* and related *Penicillium* anamorphs. *Journal of Studies in Mycology*. 23, 1–149.
27. Salomao, B. 2018. Pathogens And Spoilage Microorganisms In Fruit Juice: An Overview. Brazil.
28. Dufrenne, J., Bijwaard, M., Te Giffel, M., Beumer, R., dan Notermans, S., 1995. Characteristics of some psychrotrophic *Bacillus cereus* isolates. *International Journal of Food Microbiology*, 27 (2), 175-183.
29. Evelyn, dan Silva, F. V. M., 2015a. Thermosonication versus thermal processing of skim milk and beef slurry: Modeling the inactivation kinetics of psychrotrophic *Bacillus cereus* spores. *Food Research International*, 67, 67-74.
30. Quintavalla, S., dan Spotti, E., 1993. Heat resistance of *Talaromyces flavus*, *Neosartorya fischeri* and *Byssoschlamys nivea* isolated from fresh fruits. *Microbiology Aliments Nutrition*, 11, 335-341.
31. Uchida, R, Silva, F.V.M., 2017. Alicyclobacillus acidoterrestris spore inactivation by high pressure combined with mild heat: Modelling

- the effect of temperature and soluble solids. *Food Control*, 73, 426-432.
32. Evelyn, Muria, S.R., Rullifank, K.F., Fozla, D., dan Khoirunnisa, F.K., 2019. Thermal inactivation of *Talaromyces flavus* ascospores in pineapple juice as influenced by temperature, soluble solids, and spore age (unpublished).
 33. Silva, F.V.M., Gibbs, P. A., Vieira, M. C., dan Silva, C. L. M., 1999. Thermal inactivation of *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores under different temperature, soluble solids and pH conditions for the design of fruit processes. *International Journal of Food Microbiology*, 51 (2–3), 95-103.
 34. Evelyn, Silva, F. V. M., 2016a. Modeling the inactivation of psychrotrophic *Bacillus cereus* spores in beef slurry by 600MPa HPP combined with 38–70°C: Comparing with thermal processing and estimating the energy requirements. *Food and Bioproducts Processing*, 99, 179-187.
 35. Evelyn, dan Silva, F. V. M., 2015d. Use of power ultrasound to enhance the thermal inactivation of *Clostridium perfringens* spores in beef slurry. *International Journal of Food Microbiology*, 206, 17-23.
 36. Song, K., Mohseni, M., dan Taghipour, F. 2016. Application of ultraviolet light-emitting diodes (UV-LEDs) for water disinfection: A Review. *Water Research*. Kanada.
 37. ElectroIno. 2019. LED (light emitting diode). <https://electroino.com/led-light-emitting-diode/>. Diakses pada 30 Januari 2020.

38. Uoguelph. 2019. Thermal Destruction of Microorganisms. <https://www.uoguelph.ca/foodscience/book-page/thermal-destruction-microorganisms>. Di akses 30 Februari 2020.
39. Muthukumar, A. (2019). Light-emitting diode for the inactivation of microorganisms on fruits and vegetables. In: Arora P. Microbial Technology for the Welfare of Society. Pp. 259–271. Singapore: Springer.
40. Prasad, A., Du, L., Zubair, M., Subedi, S., Ullah, A. & Roopesh, M.S. (2020). Applications of light-emitting diodes (LEDs) in food processing and water treatment. *Food Engineering Reviews*, 12, 268–289.
41. Evelyn, Chairul, Muria, S.R., Adella, L. & Ramadhani, R. (2020a). Thermal inactivation of *Eupenicillium javanicum* ascospores in pineapple juice: effect of temperature, soluble solids and spore age. *Journal of Physics: Conference Series*, 1655, 012020.
42. Evelyn, Utami, S.P. & Chairul. (2021). Effect of temperature and soluble solid on *Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis* spore inactivation and quality degradation of pineapple juice. *Food Science and Technology International*, <https://doi.org/10.1177/10820132211019143> (2021).
43. Kumar, A., Ghate, V., Kim, M.J., Zhou, W., Khoo, G.H. & Yuk, H.G. (2021). Kinetics of bacterial inactivation by 405 nm and 520 nm light emitting diodes and the role of endogenous coproporphyrin on bacterial susceptibility. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 149, 37–44.

44. Purushothaman, T. & Irfana, M. (2021). A critical review on antimicrobial photodynamic inactivation using light emitting diode (LED). *International Journal of Arts, Science and Humanities*, 8, 124–130.
45. Ghate, V.S., Ng, K.S., Zhou, W., Yang, H., Khoo, G.H., Yoon, W.B. & Yuk, H.G. (2013). Antibacterial effect of light emitting diodes of visible wavelengths on selected foodborne pathogens at different illumination temperatures. *International Journal of Food Microbiology*, 166, 399–406.
46. Donnelly, R.F., McCarron, P.A. & Tunney, M.M. (2008). Antifungal photodynamic therapy. *Microbiological Research*, 163, 1–12.
47. Maclean, M., MacGregor, S.J., Anderson, J.G. & Woolsey, G. (2009). Inactivation of bacterial pathogens following exposure to light from a 405-nanometer light-emitting diode array. *Applied and Environmental Microbiology*, 75, 1932–1937.
48. Murdoch, L.E., McKenzie, K., Maclean, M., MacGregor, S.J. & Anderson, J. G. (2013). Lethal effects of high-intensity violet 405-nm light on *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida albicans*, and on dormant and germinating spores of *Aspergillus niger*. *Fungal Biology*, 117, 519–527.
49. Temba, B.A., Fletcher, M.T., Fox, G.P., Harvey, J.J.W. & Sultanbawa, Y. (2016). Inactivation of *Aspergillus flavus* spores by curcumin-mediated photosensitization. *Food Control*, 59, 708–713.
50. Menezes, N.M.C., Tremarin, A., Junior, A.F. & Aragão, G.M.F. (2019). Effect of soluble solids concentration on *Neosartorya*

- fischeri inactivation using UV-C light. *International Journal of Food Microbiology*, 296, 43–47.
51. Silva, F.V.M., Gibbs, P., Vieira, M.C. & Silva, C.L.M. (1999). Thermal inactivation of Alicyclobacillus acidoterrestris spores under different temperature, soluble solids and pH conditions for the design of fruit processes. *International Journal of Food Microbiology*, 51, 95–103.
 52. Artíguez, M.L. & de Marañón, I.M. (2015). Inactivation of Bacillus subtilis spores by combined pulsed light and thermal treatments. *International Journal of Food Microbiology*, 214, 31–37.

BIOGRAFI PENULIS



Dr. Evelyn, ST, MSc, MEng, PhD lulus S3 dari Department of Chemical and Materials, University of Auckland, New Zealand, pada Tahun 2016. Doctor of Philosophy ini diperolehnya pada bidang keahlian Teknik Kimia. Saat ini merupakan dosen Teknik Kimia di Universitas Riau dengan alamat email evelyn@eng.unri.ac.id. Research interest meliputi Pulp and Paper, Food Processing Engineering, Microbial Fuel Cells, dan Environmental Biotechnology.

ISBN 978-623-255-130-5

