

VOLUME 15, NOMOR 2 JUNI 2021

ISSN: 1907-8056
e-ISSN: 2527-5410

AGROINTEK

JURNAL TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN

JURUSAN TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN
UNIVERSITAS TRUNOJOYO MADURA

AGROINTEK: Jurnal Teknologi Industri Pertanian

Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian is an open access journal published by Department of Agroindustrial Technology, Faculty of Agriculture, University of Trunojoyo Madura. Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian publishes original research or review papers on agroindustry subjects including Food Engineering, Management System, Supply Chain, Processing Technology, Quality Control and Assurance, Waste Management, Food and Nutrition Sciences from researchers, lecturers and practitioners. Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian is published four times a year in March, June, September and December.

Agrointek does not charge any publication fee.

Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian has been accredited by ministry of research, technology and higher education Republic of Indonesia: 30/E/KPT/2019. Accreditation is valid for five years. start from Volume 13 No 2 2019.

Editor In Chief

Umi Purwandari, University of Trunojoyo Madura, Indonesia

Editorial Board

Wahyu Supartono, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Michael Murkovic, Graz University of Technology, Institute of Biochemistry, Austria

Chananpat Rardniyom, Maejo University, Thailand

Mohammad Fuad Fauzul Mu'tamar, University of Trunojoyo Madura, Indonesia

Khoirul Hidayat, University of Trunojoyo Madura, Indonesia

Cahyo Indarto, University of Trunojoyo Madura, Indonesia

Managing Editor

Raden Arief Firmansyah, University of Trunojoyo Madura, Indonesia

Assistant Editor

Miftakhul Efendi, University of Trunojoyo Madura, Indonesia

Heri Iswanto, University of Trunojoyo Madura, Indonesia

Safina Istighfarin, University of Trunojoyo Madura, Indonesia

Alamat Redaksi

DEWAN REDAKSI JURNAL AGROINTEK

JURUSAN TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN

FAKULTAS PERTANIAN UNIVERSITAS TRUNOJOYO MADURA

Jl. Raya Telang PO BOX 2 Kamal Bangkalan, Madura-Jawa Timur

E-mail: Agrointek@trunojoyo.ac.id



MASA SIMPAN ANEKA SAMBAL DARI BAHAN NABATI MENGUNAKAN METODE ACCELERATED *SHELF LIFE TESTING* : KAJIAN LITERATUR

Yunita Siti Mardhiyyah* dan Irawati Ningsih

Teknologi Industri Pertanian, Universitas Internasional Semen Indonesia

Article history

Diterima:

27 Desember 2020

Diperbaiki:

3 Januari 2021

Disetujui:

5 April 2021

Keyword

*spicy sauce; shelf life;
storage; temperature;
ASLT; chili*

ABSTRACT

Sambal or spicy sauce is a supplementary ingredient that dominates the Indonesian market. There are many kinds of spicy sauce. They are made from vegetable, fish, and other Indonesian indigenous spices. Unfortunately, many products do not include their expiration period. The spicy sauce product generally can not be consumed once, so it needs to be stored. The spicy sauce damages are characterized by changes in physical, chemical, biological, and organoleptic characteristics. Various studies on the spicy sauce shelf life have been done. The purpose of this study is to identify, analyze, and compare spesific literature sources about quality degradation and shelf-lif of various spicy sauces. This study focused on five groups of vegetable based spicy sauces. They are chili sauce, tomato sauce, onion chili sauce, fruit sauce, and andaliman sambal. The spicy sauces stored in three different temperatures (low, room, and high temperatures) based on the ASLT (accelerated shelf-life testing) method and the Arrhenius model. Based on the studies, the spicy sauces that stored in the low-temperature lasts longer than in the room and high-temperature storages. The shelf-life is around 34 to 170 days. Whereas the shelf-life of spicy sauce stored in the room and high-temperature storages are 23-98 days and 21-54 days, respectively.

© hak cipta dilindungi undang-undang

* Penulis korespondensi

Email : yunita.mardhiyyah@uisi.ac.id

DOI 10.21107/agrointek.v15i2.9290

PENDAHULUAN

Tren pangan pedas kini sedang melanda Indonesia dan memunculkan keberagaman jenis aneka sambal yang khas dari berbagai daerah. Olahan sambal dapat berupa sajian makanan siap santap (seperti ayam geprek, mi pedas, dll) ataupun sambal kemasan. Meningkatnya peminat masakan pedas menjadi salah satu pendorong munculnya berbagai produk sambal dalam kemasan. Menurut SNI 01-2976-2006, sambal merupakan produk olahan dengan bahan utama cabai merah (*Capsicum annum L*) yang matang dengan atau tanpa penambahan bahan makanan lain dan digunakan sebagai penyedap (BSN 2006).

Sambal dapat dibuat dari berbagai bahan, seperti bahan nabati (sayur, buah dan rempah) ataupun bahan hewani seperti ikan, *seafood*, jeroan ataupun daging. Kelompok sambal berbahan nabati yang cukup banyak beredar di pasaran antara lain, sambal cabai, sambal bawang, sambal tomat, sambal andaliman, sambal nanas dan juga tempoyak atau sambal dari durian. Meskipun secara umum berbagai sambal berbahan nabati beredar luas di masyarakat, tetapi tidak sedikit produk yang belum mencantumkan umur simpan atau masa kadaluarsanya sehingga tidak jarang produk tersebut beredar di pasaran dalam kondisi tidak layak konsumsi.

Sambal bersifat mudah rusak karena memiliki kandungan air yang tinggi. Secara sederhana, pendugaan umur simpan produk dapat diperkirakan menggunakan pendekatan ASLT (*Accelerated Shelf Life Test*) dengan mempercepat adanya perubahan mutu pada parameter kritis (Asiah *et al.*, 2018). Dengan metode ini, penyimpanan produk menggunakan tiga suhu berbeda yang mampu memprediksi umur simpan pada suhu penyimpanan yang diinginkan (Arif, 2016). Pendekatan dengan metode ASLT biasanya menggunakan model *Arrhenius* sebagai perhitungan atau pendugaan, umumnya digunakan untuk produk yang sensitif pada suhu penyimpanan.

Telah banyak dilakukan penelitian masa simpan sambal berbahan nabati dalam kemasan. Namun belum ada kajian pustaka yang membahas pola perubahan masa simpan secara menyeluruh dan dapat dijadikan patokan penentuan masa simpan sambal. Hal ini perlu dilakukan mengingat semakin banyak UMKM (Usaha Mikro Kecil dan Menengah) yang telah banyak memproduksi

sambal dan perlu edukasi terkait masa simpan. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi, menganalisis, membandingkan antar sumber literatur berupa hasil penelitian yang mengemukakan pengaruh perbedaan suhu pada penyimpanan ASLT terhadap penurunan mutu pada produk sambal, khususnya pada parameter kimia, mikrobiologi dan organoleptik. Informasi kajian ini selanjutnya diharapkan dapat menjadi landasan dalam penelitian-penelitian selanjutnya yang lebih spesifik terkait masa simpan produk sambal dalam kemasan.

METODE

Kajian pustaka atau kajian literatur merupakan karya ilmiah yang mengkaji berbagai sumber ilmiah (jurnal, skripsi, tesis dan publikasi lain) terkait suatu topik dan kemudian disajikan dalam bentuk deskripsi, ringkasan evaluasi ataupun saran untuk topik tersebut (Fink, 2014). Produk sambal nabati yang menjadi pokok kajian pustaka ini adalah jenis sambal yang paling banyak beredar di pasar, seperti sambal cabai, sambal tomat, sambal bawang, sambal andaliman, sambal nanas dan tempoyak. Keenam sambal tersebut akan menjadi subjek pembahasan.

Pustaka yang dipilih telah melewati proses pemilihan berdasarkan kriteria khusus, yaitu: (1) sumber pustaka merupakan tulisan ilmiah seperti jurnal nasional terakreditasi, atau hasil penelitian berupa skripsi, tesis dan disertasi; (2) sumber pustaka berfokus pada penelitian pendugaan umur simpan keenam jenis sambal topik; (3) metode penelitian yang digunakan pada sumber pustaka adalah metode Accelerated Shelf Life Testing (ASLT) dengan model Arrhenius yang menggunakan perbedaan penyimpanan dalam kondisi suhu rendah, ruang, dan tinggi; (4) sumber pustaka harus mencantumkan beberapa parameter penelitian seperti nilai ALT, organoleptik, dan pH pada pengujian produk; (5) sambal yang dipilih adalah produk yang dikemas dan tanpa dilakukan suatu penambahan bahan pengawet. Penelusuran dilakukan di internet pada laman google scholar, jurnal dan repositori berbagai kampus. Hasil penelusuran mendapatkan 20 jurnal terpilih yang dijadikan sebagai bahan kajian. Tahap berikutnya adalah menganalisis sumber literatur, mengkritisi, merangkum, dan membandingkan pustaka sehingga didapatkan tulisan kajian yang komprehensif.

Karakteristik Mutu Dan Pengujian Masa Simpan Sambal

Berdasarkan hasil penelusuran, sambal dikelompokkan berdasarkan bahan khususnya, seperti sambal ikan, ataupun sambal andaliman. Bahan nabati dan juga hewani dapat digunakan sebagai campuran dalam sambal sehingga memberikan kekhasan. Beberapa aneka sambal dari bahan nabati (buah, sayur dan juga rempah) dapat dikelompokkan menjadi sambal cabai, sambal tomat, sambal bawang, sambal buah seperti sambal nanas, dan sambal durian/tempoyak dan sambal andaliman. Beberapa kelompok bahan lain seperti sereh, terong, leunca, lamtoro dan lain-lain juga ditemukan namun tidak dibahas pada kajian ini.

Sambal merupakan produk pangan yang mengandung kadar air tinggi, sehingga cepat mengalami kerusakan dan memiliki umur simpan pendek. Menurut Arpah dan Syarief (2000) umur simpan suatu produk pangan dapat diduga dengan dua metode yaitu ESS (*Extended Storage Studies*) yang dilakukan dengan cara menyimpan suatu seri produk pada kondisi yang normal dan ASLT (*Accelerated Shelf Life Test*). Metode ASLT adalah penentuan umur simpan produk dengan cara mempercepat adanya perubahan mutu pada parameter kritis. Metode ini menggunakan kondisi lingkungan yang dapat mempercepat reaksi penurunan mutu produk pangan. Produk pangan disimpan pada kondisi suhu ekstrim, sehingga parameter kritis mengalami penurunan mutu akibat pengaruh panas. Pada metode ini kondisi penyimpanan diatur di luar kondisi normal sehingga produk dapat lebih cepat rusak dan penentuan umur simpan dapat ditentukan. Dengan metode ini, penyimpanan produk menggunakan tiga suhu berbeda mampu memprediksi umur simpan pada suhu penyimpanan yang diinginkan (Arif, 2016).

Metode ASLT umumnya menerapkan proses penyimpanan dalam jangka waktu selama 30 hari atau satu bulan. Proses penyimpanan dilakukan dengan tiga kondisi suhu penyimpanan dengan *range* tertentu yaitu pada suhu rendah (5 – 20°C) yang disimpan dalam kulkas, suhu ruang (20 – 35°C) yang disimpan dalam ruangan, dan suhu tinggi (35–60°C) yang disimpan dalam oven. Kemudian dilakukan pengamatan dan pengujian karakteristik fisik, kimia, mikrobiologi dan organoleptik dalam selang waktu tertentu. Pola data pada masing-masing karakteristik kemudian

dianalisis untuk menentukan umur simpan dengan menggunakan model pendekatan Arrhenius.

Kajian literatur peneliti pada beberapa pustaka menyebutkan setidaknya digunakan parameter kimia berupa pH, parameter mikrobiologi berupa Angka Lempeng Total (ALT) dan parameter sensoris pada pengujian masa simpan produk sambal, seperti pada Tabel 1. Parameter lain yang juga dapat digunakan adalah kadar air, tingkat kekentalan atau viskositas produk, total asam, bilangan TBA, nilai aw, total kapang, total padatan terlarut, dan juga kadar vitamin C (Arif, 2016; Arpah dan Syarief, 2000; Bilang *et al.*, 2018; Dewi *et al.*, 2015; Khairunnisa, 2018; Palupi *et al.*, 2011).

Nilai pH

Tabel 1 menunjukkan bahwa pada semua perlakuan suhu dari semua produk sambal terjadi penurunan nilai pH produk selama penyimpanan. Semakin rendah nilai pH produk menunjukkan adanya aktivitas mikroba pada sambal dan menyebabkan penurunan mutu. Berdasarkan aturan SNI 01-2976-2006 terkait sambal, pH awal produk sambal maksimal 4.0. Hal ini agar dapat mencegah tumbuhnya bakteri patogen yang dapat tumbuh pada pH sekitar 4.6 – 7.0 (Asiah *et al.*, 2018). Penambahan asam cuka atau asam sitrat, juga dapat dilakukan agar produk memiliki nilai pH asam (Mamuaja dan Helvriana, 2017).

Pola yang diperlihatkan pada Tabel 1 selain pH, adalah peningkatan jumlah pertumbuhan mikroorganisme atau kenaikan ALT. Menurut Wijaya dan Yusa (2014) penambahan garam pada produk pangan (sambal) menjadikan air dan zat gizi seperti gula tertarik keluar secara osmosis dari sel-sel sayuran. Gula dari bahan pangan tersebut menjadi nutrisi bagi bakteri asam laktat. Mikroba kemudian melakukan aktivitas memecah protein, karbohidrat, lemak dan zat organik lainnya pada produk sehingga menjadi asam organik yang menyebabkan penurunan pH (Mirdalisa *et al.*, 2016). Khusus pada sambal tempoyak atau durian fermentasi, peningkatan jumlah asam atau penurunan pH disebabkan karena proses fermentasi yang kemungkinan masih berlanjut (Junita dan Novitasari, 2019). Informasi lain dari Imran (2018) menunjukkan bahwa perubahan nilai pH seiring dengan penurunan suhu dan lama penyimpanan diduga karena komponen karotenoid dan antosianin pada cabai merah mengalami degradasi sehingga menyebabkan pH berubah.

Tabel 1 Perubahan Parameter Mutu Mutu Saus Cabai, Saus Tomat, Saus Bawang, Saus Buah, dan Saus Andaliman Selama Pengujian Masa Simpan dengan Metode ASLT*

Jenis Sambal	Hasil Suhu Rendah			Hasil Suhu Ruang			Hasil Suhu Tinggi		
	pH	ALT	Organoleptik (Overall)	pH	ALT	Organoleptik (Overall)	pH	ALT	Organoleptik (Overall)
Sambal Cabai ^[a]	3,64 → 5,17	0,55 x 10 ¹ → 8,0 x 10 ³ koloni/g	Suka → cukup suka	3,64 → 5,01	0,65 x 10 ¹ → 9,76 x 10 ⁵ koloni/g	Suka → tidak suka	3,64 → 4,96	2,06 x 10 ² → 9,0 x 10 ⁶ koloni/g	Suka → tidak suka
Sambal Tomat ^[b]	3,5 → 3,90	0 → 65 x 10 ² koloni/g	Suka → cukup suka	3,5 → 3,81	0 → 55 x 10 ⁵ koloni/g	Suka → tidak suka	3,5 → 3,2	0 → 82 x 10 ⁵ koloni/g	Suka → tidak suka
Saus Bawang ^[d]	4,15 → 4,0	1,0 x 10 ² → 5,0 x 10 ³ koloni/g	Suka → cukup suka	4,15 → 4,05	1,0 x 10 ³ → 80 x 10 ⁵ koloni/g	Suka → tidak suka	4,15 → 4,0	1,0 x 10 ³ → 9,0 x 10 ⁵ koloni/g	Suka → tidak suka
Sambal Nanas ^[e]	4 → 3,5	0,175 x 10 ¹ → 1,25 x 10 ¹ koloni/g	Suka → cukup suka	4 → 3,5	0,25 x 10 ¹ → 2,37 x 10 ⁵ koloni/g	Suka → tidak suka	4 → 3,0	0,25 x 10 ¹ → 7,34 x 10 ⁵ koloni/g	Suka → tidak suka
Sambal Tempoyak ^[f]	4 → 3,69	0 → 4,67 x 10 ² koloni/g	Suka → cukup suka	4 → 3,67	13,5 x 10 ² → 7,0 x 10 ⁵ koloni/g	Suka → tidak suka	4 → 3,23	2,55 x 10 ² → 75,0 x 10 ⁵ koloni/g	Suka → tidak suka
Sambal Andaliman ^[g]	4 → 5,83	0 → 5,81 x 10 ² koloni/g	Suka → cukup suka	4 → 5,70	1,0 x 10 ² → 5,71 x 10 ⁵ koloni/g	Suka → tidak suka	4 → 5,66	1,0 x 10 ² → 5,83 x 10 ⁵ koloni/g	Suka → tidak suka

*Tabel merupakan data yang diolah

*penyimpanan dilakukan selama 15-30 hari dengan pengamatan berkala dan nilai yang ditampilkan adalah perubahan parameter dari kondisi awal penyimpanan dan akhir penyimpanan

[a](Ndruru *et al.*, 2018; Renate *et al.*, 2014; Sari, 2015; D. Wulandari, 2001; Dewi *et al.*, 2015; Maghu *et al.*, 2019; Wiyono, 2019); [b](Bilang *et al.*, 2018; Handayani *et al.*, 2018; Meikapasa, 2016; Sjarif dan Rosmaeni, 2019); [d](Sepadyawan, 2018; Wiyono, 2019); [e](Nadzihah *et al.*, 2019); [f](Junita dan Novitasari, 2019); [g](Bancin, 2018; Khairunnisa, 2018; Sonangda, 2018)

Walaupun penurunan pH dapat menyebabkan penghambatan pertumbuhan bakteri patogen, namun kondisi ini justru menunjukkan adanya aktivitas bakteri pembusuk dalam produk. Produk yang terlalu asam pun kemudian memiliki aroma, rasa dan *flavor* yang tidak disukai konsumen. Korelasi positif antara penurunan pH yang signifikan dan penurunan nilai penerimaan konsumen secara *overall* (Tabel 2).

Angka Lempeng Total (ALT)

Angka Lempeng Total merupakan indikator jumlah mikroorganisme, khususnya mikroba pembusuk yang ada pada produk. SNI 01-2976-2006 dan 01-3546-2004 tentang sambal cabai dan tomat mensyaratkan maksimum nilai ALT adalah 1,0 x 10⁴ koloni/g. Kondisi awal semua sambal memenuhi syarat mutu, namun seiring bertambah waktu penyimpanan terjadi kenaikan jumlah mikroba (Tabel 1). Hanya penyimpanan suhu rendah yang berhasil menghambat pertumbuhan mikroba sehingga produk masih dalam rentang spesifikasi SNI. Adapun pada penyimpanan suhu ruang dan suhu tinggi, nilai ALT-nya meningkat bahkan mencapai 1,0 x 10⁵ – 3,77 x 10⁷ koloni/g. Mikroba yang tumbuh dan berkembang pada kondisi suhu penyimpanan ruang adalah golongan

mesofil yang memiliki kisaran suhu pertumbuhan yaitu 20–40°C dan golongan termofilik pada suhu tinggi yaitu 40–60°C (Sepadyawan, 2018). Adanya mikroorganisme ini juga dibuktikan dengan menurunnya pH produk, seperti yang telah di jelaskan di atas.

Bahan utama sambal, cabai, juga memiliki aktivitas antimikroba. Capcaisin dalam cabai dapat berperan sebagai antimikroba (Imran, 2018), serta komponen *dialildisulfida* dan *dialitrisulfida* yang terdapat pada bawang juga memiliki aktivitas antibakteri (Prihandani *et al.*, 2015). Penambahan perasan jeruk nipis segar yang mengandung asam sitrat 6,15 % asam laktat 0 09 %, serta sejumlah kecil asam tartarat menurunkan nilai pH dibawah kisaran pertumbuhan mikroorganisme dan menghambat pencokelatan pada bahan makanan (Wulandari, 2017). Selain itu kandungan jeruk nipis dapat menurunkan bakteri seperti *E. coli* dan *S. aureus* secara *in vitro* dalam beberapa konsentrasi 25 % hingga 100 %, semakin tinggi konsentrasi maka akan semakin baik daya hambatnya (Bancin, 2018).

Bawang putih memiliki kandungan zat bioaktif sebagai antibakteri dan senyawa *allicin* yang mudah menguap (volatil) dengan kandungan sulfur. Aktivitas antibakteri bawang putih dapat

mengendalikan bakteri patogen, baik gram negatif maupun positif. Penambahan bawang putih digunakan sebagai dekontaminan bakteri seperti bakteri *S. aureus*, *E. coli*, *S. typhimurium*, dan *P. aeruginosa* untuk menjaga kualitas dan meningkatkan keamanan pangan pada bahan makanan (Prihandani *et al.*, 2015). Selain bawang putih, kandungan etanol umbi lapis bawang merah memiliki daya hambat yang baik pada konsentrasi 60 % terhadap bakteri *S. aureus* karena bawang merah mengandung *allisin*, *allin*, *pectin* dan *flavonoid* sebagai antibakteri (Sepadyawan, 2018).

Selain cabai dan tomat, dalam sebotol saus sambal terkandung cuka dan garam dengan kadar cukup tinggi. Penggunaan bumbu atau bahan tambahan berupa garam, gula, dan cuka berfungsi sebagai pengawet alami (Handayani *et al.*, 2018). Larutan garam menyebabkan proses osmosis pada sel mikroba sehingga terjadi plasmolisis dan menyebabkan kematian bakteri. NaCl adalah antimikroba untuk jasad renik, mikroba perusak dan apabila dikombinasikan dengan asam seperti cuka maupun asam sitrat, daya bunuh terhadap mikroba menjadi lebih kuat (Ratnasari *et al.*, 2014). Adanya bahan tambahan dalam pangan menurunkan A_w sehingga mengganggu stabilitas mikroba dalam bahan (Widiastuti, 2016).

Pertumbuhan mikroorganisme dipengaruhi oleh faktor intrinsik dan ekstrinsik. Pada faktor intrinsik seperti a_w , pH, potensial redoks dan nutrisi bahan mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme, sedangkan pada faktor ekstrinsik yaitu RH, suhu, gas atmosfer mempengaruhi populasi mikroorganisme. Pada produk sambal kemungkinan faktor ekstrinsik memberikan peran lebih dominan sehingga masih didapati pertumbuhan mikroba pembusuk. Beberapa mikroba pembusuk menghasilkan aktivitas fisiologi berupa pembentukan lendir oleh bakteri asam laktat (*Lactobacillus*, *Enterococcus*, *Bacillus*), pembentukan asam oleh bakteri (*Lactobacillus*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Micrococci*), perubahan warna oleh pertumbuhan kapang (*Aspergillus sp.*, *Rhizopus sp.*), dan perubahan bau oleh berbagai bakteri karena terbentuknya ammonia dan H_2S (Wiyono, 2019). Pada penyimpanan suhu rendah, nilai ALT cenderung meningkat namun tidak signifikan, sedangkan dua suhu penyimpanan lain adalah kebalikannya. Hal tersebut karena penyimpanan suhu rendah menghambat kerusakan pangan yaitu

kerusakan fisiologis, enzimatik maupun mikrobiologis (Asiah *et al.*, 2018).

Organoleptik

Karakteristik organoleptik terdiri atas parameter warna, rasa, aroma, tekstur, penampakan dan penilaian keseluruhan (*overall*). Pada pengujian ASLT dengan tiga suhu berbeda (Tabel 1), dapat dilihat bahwa setelah selang waktu penyimpanan, secara *overall* sampel yang disimpan di suhu ruang dan suhu tinggi mengalami penurunan nilai penerimaan bahkan mendapat skor penerimaan tidak suka, namun pada suhu rendah skor hedonik menyatakan tidak berbeda nyata.

Warna berpengaruh secara kenampakan terhadap persepsi panelis (Negara *et al.*, 2016). Pada sambal hijau terjadi penurunan warna sehingga berubah kecokelatan karena substitusi magnesium oleh hidrogen dengan bantuan enzim klorofilase membentuk feofitin (Wiyono, 2019). Hal tersebut terjadi akibat proses metabolik atau respirasi sambal hijau masih berlanjut sehingga mengalami perubahan mutu warna. Oksidasi vitamin C juga terjadi pada penyimpanan suhu tinggi dan menyebabkan warna menjadi semakin gelap (Bilang *et al.*, 2018). Warna merah pada saus adalah warna (pigmen) alami dari capsanthin cabai merah, cabai rawit maupun paprika. Pada saus paprika, pencokelatan diduga terjadi karena adanya reaksi *maillard*. Hasil reaksinya menghasilkan bahan berwarna coklat yang disebut melanoid (Wulandari, 2017).

Parameter bau juga mengalami perubahan selama penyimpanan. Bau sambal tomat kurang disukai karena terjadi fermentasi yang menghasilkan etanol yang kurang disukai panelis. Kebanyakan mikroorganisme cenderung memfermentasikan substrat karbohidrat menghasilkan etanol (Mamuaja dan Helvriana, 2017). Selain itu karakteristik tekstur tidak homogen, terdapat lapisan air dan saus tomat karena terjadi sineresis pada suhu dan lama penyimpanan yang meningkat (Handayani *et al.*, 2018). Adanya penurunan pH, ditambah dengan pertumbuhan mikroorganisme menyebabkan berbagai perubahan mutu dan pada akhirnya memberikan penilaian sensoris yang rendah pada produk. Pada kondisi penilaian sensoris ini rendah

atau tidak disukai, itulah menjadi batas maksimal masa simpan dari suatu produk.

Parameter Lain

Parameter lain yang dapat dijadikan sebagai indikator kerusakan sambal, antara lain berupa vitamin C, kadar air, total padatan terlarut, total asam, kecerahan warna, penerimaan konsumen, dan bilangan TBA (*Thio Barbituric Acid*). Vitamin C mempunyai sifat mudah rusak karena oksidasi terutama suhu tinggi (Wulandari, 2017). Begitu pula dengan nilai total asam yang juga mengalami penurunan yang diduga terjadi adanya penggunaan asam-asam organik dalam bahan oleh proses respirasi dan mikroba. Total asam menurun dari 0,638 % menjadi 0,317 % pada akhir penyimpanan (Ndruru *et al.*, 2018).

Kadar air juga mengalami peningkatan selama penyimpanan, awal penyimpanan diperoleh kadar air sebesar 60,55 % dan nilai tersebut mengalami peningkatan hingga akhir pengamatan sebesar 62,67 % - 63,89 %. Peningkatan kadar air terjadi karena interaksi antara produk dengan lingkungan dimana terjadi retrodegradasi. Retrodegradasi adalah kebalikan proses gelatinisasi yang mana pasta pati berubah menjadi bentuk gel dan gel ini cenderung melepaskan air pada *sweet chilli sauce*. Selama penyimpanan dalam waktu tertentu air yang ada dalam produk diduga semakin meningkat akibat proses pelarutan dan pelunakan matrik pati, protein dan senyawa tertentu yang terkandung dalam produk pangan (Handayani *et al.*, 2018). Menurut Sepadyawan (2018), pola kenaikan kadar air yang terjadi karena adanya sorpsi air pada pasta bawang merah dimana secara alami bahan pangan bersifat higroskopis.

Penelitian Bancin (2018) menunjukkan peningkatan bilangan TBA (*Thiobarbituric Acid*) pada sambal andaliman selama penyimpanan. Kenaikan bilangan TBA pada produk ini disebabkan reaksi oksidasi yang dipicu panas. Pada kenampakan pasta tomat, kecerahan warna juga mengalami penurunan menjadi lebih kecokelatan karena oksidasi likopen (Sikora *et al.*, 2008). Dari penjabaran parameter-parameter di atas menunjukkan bahwa perubahan mutu pada sambal sangat mempengaruhi penerimaan konsumen. Lama penyimpanan dan suhu penyimpanan yang digunakan mempengaruhi penerimaan konsumen terhadap produk yang ditunjukkan oleh perubahan secara organoleptik seperti warna, bau, tekstur, dll.

Kinematika Reaksi Kerusakan Mutu Sambal

Masa simpan produk, sangat dipengaruhi oleh kecepatan reaksi kimia yang terjadi di dalam produk selama penyimpanan. Reaksi kimia yang terjadi dapat berupa perubahan pH, peningkatan bilangan TBA, kenaikan kadar air, peningkatan total asam dan beberapa parameter lain sehingga merubah sifat sensoris produk, perubahan pertumbuhan mikroorganisme, dan akhirnya menyebabkan penurunan mutu sambal. Penelitian ASLT tidak hanya diperlukan untuk menentukan masa simpan sambal, tapi juga dapat digunakan untuk mengetahui pola reaksi secara matematis penurunan mutu produk berdasarkan berbagai reaksi kimia di atas. Kinematika reaksi yang dibahas dalam tulisan ini terkait dengan ordo reaksi dan energi aktivitas. Ordo reaksi adalah tingkat reaksi terhadap suatu komponen. Adapun energi aktivasi (E_a) adalah energi minimum yang harus dipenuhi agar reaksi dapat berjalan.

Penentuan ordo reaksi dilakukan pada masing-masing parameter mutu sambal. Hasil analisis sumber pustaka menunjukkan pada parameter pH, ALT dan Organoleptik ordo reaksi yang didapatkan adalah ordo 1 (Bancin, 2018; Bilang *et al.*, 2018; Dewi *et al.*, 2015; Handayani *et al.*, 2018; Junita dan Novitasari, 2019; Khairunnisa, 2018; Maghu *et al.*, 2019; Mamuja dan Helvriana, 2017; Meikapasa, 2016; Nadzhifah *et al.*, 2019; Ndruru *et al.*, 2018; Renate *et al.*, 2014; Sari, 2015; Sepadyawan, 2018; Sjarif dan Rosmaeni, 2019; Sonangda, 2018; Sukasih *et al.*, 2007; Wiyono, 2019; Wulandari, 2001). Ordo reaksi 1 menunjukkan bahwa laju reaksi bergantung pada satu reaktan dan jumlah eksponennya satu. Pada kasus penyimpanan produk sambal, kandungan air sambal adalah reaktan yang berperan penting dalam reaksi kimia kerusakan sambal.. Penurunan mutu yang mengikuti ordo satu bersifat tidak konstan, dan laju kerusakan secara logaritmik atau eksponensial. Tipe kerusakan yang mengikuti ordo reaksi satu meliputi ketengikan, adanya pertumbuhan mikroba, *off-flavor*, kerusakan vitamin, perubahan organoleptik dan penurunan mutu vitamin. Penurunan mutu mengikuti ordo nol merupakan penurunan mutu bersifat konstan. Tipe kerusakan ordo nol meliputi reaksi kerusakan enzimatik, pencokelatan enzimatik, dan reaksi oksidasi (Dewi *et al.*, 2015).

Reaksi penurunan mutu sambal memiliki energi aktivasi yang bervariasi. Ea diketahui untuk memprediksi reaksi mana yang terjadi lebih dahulu terkait perubahan mutu, serta untuk melakukan validasi mengenai reaksi yang terjadi (Asiah *et al.*, 2018). Kisaran energi aktivasi dalam produk pangan antara 2 kkal/mol hingga 150 kkal/mol. Kisaran ini dibagi menjadi tiga golongan reaksi dengan energi aktivasi rendah (2 kkal/mol – 15 kkal/mol) seperti reaksi oksidasi lipida dan reaksi degradasi vitamin, reaksi dengan energi aktivasi sedang (15 kkal/mol – 30 kkal/mol) seperti reaksi pencokelatan non enzimatis dan kerusakan vitamin, serta reaksi dengan energi aktivasi yang tinggi (30 kkal/mol – 150 kkal/mol) seperti denaturasi enzim, inaktivasi mikroba dan sporanya (Asiah *et al.*, 2018).

Pada parameter mutu pH menunjukkan nilai energi aktivasi tergolong dalam kategori sedang yakni berkisar antara 7,74–14,23 kkal/mol (Tabel 2). Parameter ALT termasuk dalam kelompok sedang antara 6,156–19,01 kkal/mol, dimana kerusakan pada kelompok ini adalah reaksi pencokelatan non enzimatis dan kerusakan vitamin C. Sedangkan pada parameter organoleptik termasuk kelompok rendah antara 1,341–7,45 kkal/mol, dimana kerusakan pada kelompok ini adalah reaksi-reaksi oksidasi minyak dan lemak, reaksi enzimatis, perubahan pigmen klorofil serta pada perubahan senyawa karotenoid (Asiah *et al.*, 2018). Hal ini menguatkan bahwa penyebab penurunan mutu organoleptik adalah akibat degradasi pigmen karotenoid pada cabai, likopen pada tomat, capsanthin pada paprika, dan klorofil pada andaliman sehingga terjadi pencokelatan pada sambal. Selain itu, kerusakan mutu sensoris juga disebabkan adanya *flavor* dalam sambal yang mudah menguap pada suhu tinggi serta oksidasi lemak yang menyebabkan bau tengik.

Berdasarkan analisis kinetika reaksi penurunan mutu sambal, kerusakan paling awal terjadi pada kadar air produk, yang langsung dapat dideteksi oleh panelis dalam pengujian sensoris, dilanjutkan pertumbuhan mikroba dan kerusakan kimiawi lainnya seperti penurunan pH, peningkatan bilangan oksidasi, dan sebagainya.

Masa Simpan Sambal

Masa simpan produk dapat didefinisikan sebagai waktu saat produk mulai dikemas sampai dengan mutu produk masih memenuhi syarat dan dalam kondisi baik untuk dikonsumsi. Selama

masa penyimpanan, produk akan mengalami penurunan mutu. Palupi *et al.* (2011) menyatakan bahwa pemilihan parameter mutu untuk menentukan umur simpan suatu produk dapat didasarkan pada beberapa hal, antara lain: (1) parameter yang tercepat mengalami penurunan selama penyimpanan, ditunjukkan nilai koefisien k mutlak atau nilai koefisien deteriorasi (R^2) terbesar; (2) parameter mutu paling sensitif terhadap perubahan terlihat dari nilai gradien/kemiringan persamaan Arrhenius atau seperti terlihat dari energi aktivasi yang paling rendah; dan (3) bila ada lebih dari satu parameter mutu yang memenuhi kriteria, maka dipilih parameter mutu yang memiliki umur simpan yang paling pendek. Masa kadaluarsa dapat dihitung dari penurunan mutu sampai dengan 85 % (Arpah dan Syarief, 2000).

Hasil perhitungan masa simpan berbagai sambal ditunjukkan pada Tabel 3. Pada suhu rendah rentang masa simpan sambal mulai 35-170 hari atau rata-rata 72 hari (2 bulan). Adapun pada suhu ruang pada rentang 23-97 hari dan rata-rata 46 hari, serta pada suhu tinggi 20-73 hari dengan rata-rata 31 hari. Nilai ini dapat dijadikan acuan bagi produsen sambal/saus agar memberikan informasi pada konsumen bahwa produk sambal sebaiknya tidak dikonsumsi melebihi 2 bulan (jika disimpan suhu dingin), atau maksimal 30-45 hari jika disimpan di suhu ruang.

KESIMPULAN

Mutu berbagai jenis sambal nabati (sambal cabai, sambal tomat, sambal bawang, sambal andaliman, sambal nanas, dan sambal durian/tempoyak) dijadikan parameter dalam penentuan masa simpan. Parameter mutu yang diamati umumnya adalah pH, jumlah mikroorganisme (ALT), dan penerimaan organoleptik produk. Berdasarkan analisis kinetika reaksi penurunan mutu sambal, kerusakan paling awal terjadi pada kadar air produk, yang langsung dapat dideteksi oleh panelis dalam pengujian sensoris, dilanjutkan pertumbuhan mikroba dan kerusakan kimiawi lainnya seperti penurunan pH, peningkatan bilangan oksidasi, dan sebagainya. Pengujian masa simpan sambal metode ASLT menunjukkan penyimpanan suhu rendah (5-20°C) mampu mempertahankan sambal pada kisaran 34-170 hari. Adapun penyimpanan suhu ruang dan suhu tinggi (di atas 40°C) hanya mampu mempertahankan kualitas sambal selama 23-98 hari dan 21-54 hari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Internasional Semen Indonesia atas bantuan hibah dana Hibah Riset Bersaing (HRB) dengan dengan Kontrak Penelitian Nomor: 21/KP.02/03-01.03.01/03.20

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, A. Bin. 2016. Metode Accelerated Shelf Life Test (Aslt) Dengan Pendekatan Arrhenius Dalam Pendugaan Umur Simpan Sari Buah Nanas, Pepaya Dan Cempedak. *Informatika Pertanian*, 25(2), 189–198. <https://doi.org/10.21082/ip.v25n2.2016.p189-198>
- Arpah, M., Syarief, R. 2000. Evaluasi Model-Model Pendugaan Umur Simpan Pangan dari Difusi Hukum Fick Unidireksional. *Buletin Teknologi Dan Industri Pangan*, XI(I), 11–16.
- Asiah, N., Cempaka, L., David, W. 2018. Panduan Praktis Pendugaan Umur Simpan Produk Pangan. In *Penerbitan Universita Bakrie*. Jakarta Selatan: Penerbitan Universitas Bakrie.
- Bancin, L. H. 2018. *Pengaruh Penambahan Gum Arab Terhadap Mutu Sambal Andaliman dan Penentuan Umur Simpannya*. Universitas Sumatera Utara.
- Bilang, M., Dirpan, A., Sakinah, N. 2018. Pengaruh Pemanasan Berulang (Tyndalisasi) Saus Spaghetti Ikan Tuna Terhadap Daya Terima Dan Pendugaan Umur Simpan Dengan Metode Akselerasi Model Persamaan Arrhenius. *Canrea Journal: Food Technology, Nutritions, and Culinary Journal*, 1(2), 98–106. <https://doi.org/10.20956/canrea.v1i2.95>
- BSN (Badan Standardisasi Nasional). 2006. *SNI Saus Cabe 01-2976-2006*. Badan Standardisasi Nasional.
- Dewi, I. A. A. P. T., Gunadnya, I. B. P., Pudja, I. A. R. P. 2015. Penentuan Umur Simpan Bumbu Rujak Dalam Kemasan Botol Plastik Menggunakan Metode Arrhenius. *BETA (Biosistem Dan Teknik Pertanian)*, 3(1), 1–9.
- Handayani, C. B., Tari, A. I. N., Afriyanti. 2018. Umur Simpan Saos Tomat pada Berbagai Konsentrasi Bahan Pengental. *Agrisaintifika: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 2(2), 113–122.
- Hunaefi, D., Ulfah, F. 2019. Pendugaan Umur Simpan Produk Pastry dengan Quantitative Descriptive Analysis (QDA) dan Metode Arrhenius. *Jurnal Mutu Pangan: Indonesian Journal of Food Quality*, 6(2), 72–78. <https://doi.org/10.29244/jmpi.2019.6.72>
- Imran, N. W. 2018. *Pengaruh Penyimpanan Terhadap Mutu Saus Berbahan Dasar Cabai Merah (Capsicum annum L.) dan Cabai Rawit (Capsicum frutescens L.) yang Difermentasi*. Universitas Hasanuddin.
- Junita, D., Novitasari, M. 2019. Analisis Masa Simpan Produk Sambal Tempoyak Berpotensi Sebagai Produk Oleh-Oleh Baru. *Jurnal Akademika Baiturrahim Jambi*, 8(1), 50. <https://doi.org/10.36565/jab.v8i1.102>
- Khairunnisa. 2018. *Pengaruh perbandingan jumlah cabai merah dengan andaliman terhadap mutu sambal andaliman dan penentuan umur simpan*. Universitas Sumatera Utara.
- Maghu, R. A., Candra, I. P., Mangku, I. G. P. 2019. Gema Agro Jenis Kemasan dan Lama Penyimpanan terhadap Karakteristik Sambal “ Maroto ” Khas Sumba Barat Daya. *Gema Agro*, 24(02), 63–72. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22225/ga.24.2.1702.63~72>
- Mamuaja, C. F., Helvriana, L. 2017. Karakteristik pasta tomat dengan penambahan asam sitrat selama penyimpanan. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Pangan*, 5(1), 17–23.
- Meikapasa, N. W. P. 2016. Aplikasi Model Arrhenius dalam Pendugaan Kualitas

- dan Umur Simpan Saus Tomat. Universitas Pasundan.
- Mirdalisa, C. A., Zakaria, Y., Nurliana, N. 2016. Efek Suhu dan Masa Simpan Terhadap Aktivitas Antimikroba Susu Fermentasi dengan *Lactobacillus casei*. *Jurnal Agripet*, 16(1), 49–55. <https://doi.org/10.17969/agripet.v16i1.3639>
- Nadzihifah, N., Nurani, A. S., Mahmudatussa'adah, A. 2019. Pengawetan Dan Daya Terima Saus Nanas Sebagai Oleh-Oleh Khas Subang. *Media Pendidikan Gizi Dan Kuliner*, 8(2), 14–19.
- Ndruru, Y., Nuraeni, F., Sunarmani. 2018. *Pendugaan Umur Simpan Cabai Merah Giling (Capsicum annum L.) dengan Menggunakan Metode ASLT (Accelerated Shelf Life Testing) Pendekatan Arrhenius*. Universitas Pakuan.
- Negara, J. K., Sio, A. K., Rifkhan, R., Arifin, M., Oktaviana, A. Y., Wihansah, R. R. S., Yusuf, M. 2016. Aspek mikrobiologis, serta Sensori (Rasa, Warna, Tekstur, Aroma) Pada Dua Bentuk Penyajian Keju yang Berbeda. *Jurnal Ilmu Produksi Dan Teknologi Hasil Peternakan*, 4(2), 286–290. <https://doi.org/10.29244/jipthp.4.2.286-290>
- Palupi, N. S., Kusnandar, F., Adawiyah, D. R., Syah, D. 2011. Penentuan Umur Simpan Dan Pengembangan Model Diseminasi Dalam Rangka Percepatan Adopsi Teknologi Mi Jagung Bagi Ukm. *MANAJEMEN IKM: Jurnal Manajemen Pengembangan Industri Kecil Menengah*, 5(1), 42–52. <https://doi.org/10.29244/mikm.5.1.42-52>
- Prihandani, S. S., Poeloengan, M., Noor, S. M., Andriani. 2015. Uji Daya Antibakteri Bawang putih (*Allium sativum* L.) terhadap bakteri *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium* dan *Pseudomonas aeruginosa* dalam Meningkatkan Keamanan Pangan. *Informatika Pertanian*, 24(1), 53–58. <https://doi.org/10.21082/ip.v24n1.2015.p53-58>
- Ratnasari, Z., Baehaki, A., Supiadi, A. 2014. Penggunaan Garam, Sukrosa dan Asam Sitrat Konsentrasi Rendah untuk Mempertahankan Mutu Fillet Ikan Gabus (*Channa striata*) yang Disimpan pada Suhu 4C. *Fishtech*, III(November), 8–14.
- Renate, D., Pratama, F., Yuliati, K., Priyanto, G. 2014. Model Kinetika Degradasi Capsaicin Cabai Merah Giling pada Berbagai Kondisi Suhu Penyimpanan. *Jurnal Agritech*, 34(03), 330–336. <https://doi.org/10.22146/agritech.9462>
- Sari, S. N. 2015. *Pengaruh Perbandingan Bubur Buah Tomat dengan Sari Ubi Jalar Oranye dan Konsentrasi Kalium Sorbat Terhadap Mutu Saos Pepaya*. Universitas Sumatera Utara.
- Sepadyawan. 2018. *Pendugaan Umur Simpan Pasta Bawang Merah (Allium ascalonicum L.) Menggunakan Jenis Kemasan berbeda dengan Metode Accelerated Shelf Life Testing (ASLT) Moel Arhenius*. Universitas Pasundan.
- Sikora, M., Badrie, N., Deisingh, A. K., Kowalski, S. 2008. Sauces and Dressing: A Review of Properties and Applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1(1), 50–77. <https://doi.org/10.1080/10408390601079934>
- Sjarif, S. R., Rosmaeni, A. 2019. Pengaruh penambahan bahan pengawet alami terhadap pertumbuhan mikroba pada pasta tomat. *Jurnal Penelitian Teknologi Industri*, 11(2), 25–36.
- Sonangda, M. 2018. *Pengaruh Perbandingan Persentase Andaliman dengan Bawang Putih dan Lama Simpan Terhadap Mutu Sambal Tuk Tuk*. Universitas Sumatera Utara.
- Sukasih, E., Sunarmani, Budiyanto, A. 2007. *Pendugaan Umur Simpan Pasta Tomat*

- kental dalam Kemasan Botol Plastik dengan Metode Akselerasi. *Junal Pascapanen*, 4(2), 72–82.
- Widiastuti, D. W. I. R. 2016. *Kajian pengawet pangan dari bahan alami sebagai bahan tambahan pangan alternatif*. Jakarta: Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM).
- Wijaya, I. M. A. S., Yusa, N. M. 2014. Karakteristik Isotermis Sorpsi Air dan Umur Simpan Ledok. *Agritech*, 34(1), 29–35.
- Wiyono, C. H. A. 2019. *Pengaruh Penambahan Kalium Sorbat Terhadap Umur Simpan, Karakteristik Fisikokimia dan Sensori Sambal Hijau dan Sambal Bawang* (Universitas Katolik Soegijapranata). Retrieved from <http://repository.unika.ac.id/20476/>
- Wulandari, C. D. 2017. Uji Aktivitas Antibakteri Air Perasan Jeruk Nipis (*Citrus aulantifolia* Swingle.) Terhadap Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus epidermidis* (Vol. 6). Universitas Sanata Dharma.
- Wulandari, D. 2001. *Penentuan Umur Simpan Saus Paprika (*Capsicum annum* var. *grossum*) dari Bahan Baku Paprika Sisa Grading*. IPB University.

AUTHOR GUIDELINES

Term and Condition

1. Types of paper are original research or review paper that relevant to our Focus and Scope and never or in the process of being published in any national or international journal
2. Paper is written in good Indonesian or English
3. Paper must be submitted to <http://journal.trunojoyo.ac.id/agrointek/index> and journal template could be download here.
4. Paper should not exceed 15 printed pages (1.5 spaces) including figure(s) and table(s)

Article Structure

1. Please ensure that the e-mail address is given, up to date and available for communication by the corresponding author
2. Article structure for original research contains

Title, The purpose of a title is to grab the attention of your readers and help them decide if your work is relevant to them. Title should be concise no more than 15 words. Indicate clearly the difference of your work with previous studies.

Abstract, The abstract is a condensed version of an article, and contains important points of introduction, methods, results, and conclusions. It should reflect clearly the content of the article. There is no reference permitted in the abstract, and abbreviation preferably be avoided. Should abbreviation is used, it has to be defined in its first appearance in the abstract.

Keywords, Keywords should contain minimum of 3 and maximum of 6 words, separated by semicolon. Keywords should be able to aid searching for the article.

Introduction, Introduction should include sufficient background, goals of the work, and statement on the unique contribution of the article in the field. Following questions should be addressed in the introduction: Why the topic is new and important? What has been done previously? How result of the research contribute to new understanding to the field? The introduction should be concise, no more than one or two pages, and written in present tense.

Material and methods, “This section mentions in detail material and methods used to solve the problem, or prove or disprove the hypothesis. It may contain all the terminology and the notations used, and develop the equations used for reaching a solution. It should allow a reader to replicate the work”

Result and discussion, “This section shows the facts collected from the work to show new solution to the problem. Tables and figures should be clear and concise to illustrate the findings. Discussion explains significance of the results.”

Conclusions, “Conclusion expresses summary of findings, and provides answer to the goals of the work. Conclusion should not repeat the discussion.”

Acknowledgment, Acknowledgement consists funding body, and list of people who help with language, proof reading, statistical processing, etc.

References, We suggest authors to use citation manager such as Mendeley to comply with Ecology style. References are at least 10 sources. Ratio of primary and secondary sources (definition of primary and secondary sources) should be minimum 80:20.

Journals

Adam, M., Corbeels, M., Leffelaar, P.A., Van Keulen, H., Wery, J., Ewert, F., 2012. Building crop models within different crop modelling frameworks. *Agric. Syst.* 113, 57–63. doi:10.1016/j.agsy.2012.07.010

Arifin, M.Z., Probawati, B.D., Hastuti, S., 2015. Applications of Queuing Theory in the Tobacco Supply. *Agric. Sci. Procedia* 3, 255–261. doi:10.1016/j.aaspro.2015.01.049

Books

Agrios, G., 2005. *Plant Pathology*, 5th ed. Academic Press, London.