



Optimasi konsentrasi senyawa anti pencokelatan pada penyimpanan jamur kancing (*Agaricus bisporus*) segar

Suminar Diyah Nugraheni*, Harijono, Agustin Krisna Wardani

Teknologi Hasil Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

Article history

Diterima:

13 Juni 2022

Diperbaiki:

4 November 2022

Disetujui:

22 November 2022

Keyword

Button mushroom;

Agaricus bisporus;

Anti-browning agent;

Citric acid;

EDTA;

Physical properties.

ABSTRACT

*Button mushroom (*Agaricus bisporus*) is an edible mushroom that has nutritional value and bioactive compounds like β -glukan, unsaturated fatty acids, tocopherol, ergosterol, lectins, polyphenol vitamin D, and selenium that are beneficial for health. The limiting factor of this commodity is its short shelf life, which is 3-4 days after harvest. This research aims to determine the optimum concentration of anti-browning agents (citric acid and EDTA) in the pretreatment process of fresh button mushrooms to obtain the best physical properties (water content, browning index/BI, texture, and weight reduction). The research design uses Response Surface Methodology with Central Composite Design through Design Expert 12 software with a combination of treatment factors are the concentration of citric acid (%) and EDTA (ppm). The results showed that the optimum concentration of citric acid and EDTA was 0.5 % and 100 ppm with the results are 93.63 % for water content, 28.89 % for BI, 23.061 N for texture, and 4.34 % for weight change. This condition is classified as still suitable for consumption.*



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

* Penulis korespondensi

Email : suminar.diyah@gmail.com

DOI 10.21107/agrointek.v17i3.14839

PENDAHULUAN

Jamur kancing (*Agaricus bisporus*) atau dengan nama dagang jamur champignon merupakan salah satu jenis jamur yang dibudidayakan di Indonesia. Jamur ini digemari karena kandungan nutrisi, secara organoleptik dapat diterima konsumen dan memiliki senyawa bioaktif seperti β -glukan, asam lemak tak jenuh, tokoferol, ergosterol, lektin, senyawa polifenol vitamin D, dan selenium sehingga jamur ini mempunyai kemampuan sebagai antioksidan, anti-kanker dan anti-inflamasi sehingga bermanfaat bagi kesehatan manusia (Mao *et al.* 2013; Ghahremani-Majd and Dashti, 2015; Ma *et al.* 2018).

Seperti pada umumnya jamur konsumsi, jamur ini akan mengalami penurunan kualitas 3-4 hari setelah panen (Gao *et al.* 2016). Hal ini terjadi karena jamur kancing memiliki kadar air dan laju respirasi yang tinggi, serta tidak mempunyai kutikula. Penurunan kualitas jamur yang menonjol antara lain penurunan berat, perubahan warna, pencokelatan serta perubahan tekstur (Akbarriad *et al.* 2013; Khan *et al.* 2014).

Perubahan warna kecokelatan yang terjadi pada jamur kancing diduga karena aktivitas enzim polifenol oksidase yang mengatalisis perubahan polifenol. Enzim polifenol oksidase (PPO) juga dikenal sebagai tirosinase, fenolase, katekol oksidase, katekolase, o-difenol oksidase, monophenol oksidase, dan kresolase, ditemukan dalam jamur pada tahun 1856 oleh Schoenbein (Whitaker 2003). Tirosinase adalah enzim oksidatif yang paling penting selama reaksi pencokelatan yang akhirnya dapat berpengaruh pada warna dan rasa. Tirosinase terletak di sitoplasma. Ketika dinding sel rusak maka tirosinase bebas bereaksi dengan fenol (monomer dan dimer) yang dilepaskan dari vakuola dan membentuk o-kuinon. Kuinon, dengan adanya oksigen, bereaksi secara non-enzimatis dengan asam amino dan protein menghasilkan kompleks makromolekul terpolarisasi dari melanin yang berwarna hitam, cokelat atau merah. Enzim ini merupakan enzim yang mengandung dua ion tembaga, yang terikat oleh enam residu histidin dan satu residu sistein, disintesis dalam tanaman dan disimpan dalam kloroplas dan vakuola (Chakraborty *et al.* 2014; Labus *et al.* 2015).

Berbagai metode untuk menghambat proses pencokelatan telah dikembangkan. Sebagian besar metode penghambatan pencokelatan atau

menghambat aktivitas PPO berfokus pada komponen penting selama reaksi seperti oksigen, ion tembaga, substrat, produk atau bahkan enzim itu sendiri (Queiroz *et al.* 2008). Penggunaan larutan pemucat baik secara mandiri atau campuran senyawa-senyawa asidulan seperti asam sitrat, senyawa pengkelat seperti *ethylene diamine tetraacetic acid* (EDTA) serta senyawa antioksidan telah banyak dilaporkan dapat menghambat aktivitas PPO pada beberapa komoditas hortikultura. Denoya (2012) melaporkan perendaman dalam asam askorbat 2% + asam sitrat 1% + EDTA 0,5% dapat menghambat aktivitas enzim PPO pada potongan apel segar. Gupta dan Bhat (2016) melaporkan penggunaan perendaman jamur kancing segar selama 10 menit dalam asam sitrat 2,5% mampu mempertahankan kualitas jamur kancing selama 12 hari penyimpanan pada suhu pendingin. Kombinasi pemanfaatan natrium metabisulfid dan asam sitrat juga mampu mempertahankan warna ubi jalar segar potong dan memperpanjang umur simpan pada suhu 5°C selama 14 hari (Sgroppo *et al.* 2010).

Aktivitas enzim PPO pada umumnya optimum pada pH 4-8 (Taranto *et al.* 2017). Oleh karena itu aktivitasnya dapat dihambat dengan pemberian asam. Asam sitrat, yang tergolong *Generally Recognized as Safe* (GRAS), merupakan asidulan yang sekaligus juga dapat bertindak sebagai antioksidan sekunder. EDTA merupakan salah satu senyawa pengkelat (*chelating agent*) banyak digunakan dalam industri makanan. Penggunaan EDTA sebagai senyawa pemucat karena senyawa ini berfungsi mengikat kation logam (tembaga) yang merupakan unsur penting dalam reaksi katalitik oksidasi pada enzim PPO sehingga dapat menghambat aktivitasnya. EDTA akan dapat membentuk kompleks dengan ion logam dan efektivitasnya berada pada kondisi pH yang berbeda-beda dengan kondisi pH optimum untuk ion Cu^{2+} adalah pH 3 (Hart 1984). Pada umumnya senyawa ini dikombinasikan dengan senyawa lain seperti asam sitrat atau asam askorbat agar dapat meningkatkan kemampuannya dalam menghambat pencokelatan pada produk pangan (Arabaci 2015). Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan kombinasi asam sitrat dan EDTA untuk menghambat pencokelatan pada jamur kancing segar.

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan konsentrasi optimal senyawa pemucat (asam sitrat dan EDTA) serta pengaruhnya terhadap sifat fisik

jamur kancing (*Agaricus bisporus*) selama masa penyimpanan.

METODE

Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah jamur kancing segar yang diperoleh dari supplier PT. Eka Timur Raya, Pasuruan, Jawa Timur. Sedangkan bahan kimia yang akan digunakan antara lain: Asam sitrat (Pro Analisis, Merck), EDTA (Pro Analisis, Merck), dan Akuades.

Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah antara lain: *beaker glass* (Pyrex), gelas ukur 500 mL dan 1000 mL (Pyrex, Herma), labu pengenceran (Iwaki), pipet tetes, oven (Memmert UNB 100), cawan pengabuan, desikator, *stopwatch*, timbangan analitik (Mettler Toledo), pengaduk, *Color reader* (CR 10 Konica Minolta), *texture analyzer* (Imada Force Measurement), kertas merang, plastik wrap pvc (Klin Pack), dan nampan *styrofoam*.

Prosedur penelitian

Penelitian ini dirancang dengan menggunakan rancangan percobaan CCD (*Central Composite Design*) dari Metode Respon Permukaan RSM (*Response Surface Methode*). Variabel bebas yang digunakan adalah konsentrasi asam sitrat sebesar antara 0,5-1,5% dan konsentrasi EDTA sebesar antara 100-200 ppm. Penentuan

konsentrasi ini berdasarkan penelitian pendahuluan dan Perka BPOM No 18 (2013) tentang Batas Maksimum Penggunaan Bahan Tambahan Pangan Sekuestran pada penggunaan EDTA Respon yang diamati adalah sifat fisik jamur kancing selama penyimpanan yaitu kadar air, *browning index* (BI), tekstur, dan susut bobot dengan 3 kali ulangan. Rancangan 13 perlakuan perlakuan dengan RSM dapat dilihat pada Tabel 1.

Metode yang digunakan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Gupta dan Bath (2016) dengan modifikasi. Jamur kancing segar dengan diameter 3-4 cm sebanyak 6 buah (± 100 gram) direndam dalam larutan pemucat (500 ml) sesuai kombinasi konsentrasi sesuai Tabel 1. Perendaman dilakukan selama 10 menit. Jamur yang telah direndam kemudian ditiriskan dan dikeringanginkan di atas kertas merang selama 30 menit. Jamur yang direndam dalam akuades dan yang tidak direndam digunakan sebagai pembandingan. Setelah itu jamur diletakkan ke dalam nampan *styrofoam* dan ditutup dengan plastik PVC, disimpan dalam lemari pendingin pada suhu 10°C selama 8 hari. Pengamatan dilakukan pada hari pertama dan hari terakhir (hari ke-8) penyimpanan. Hal ini dilakukan untuk interpretasi hasil yang lebih sederhana dan lebih mudah dengan parameter fisik yang diamati antara lain kadar air, *Browning Index* (BI), tekstur, dan susut bobot.

Tabel 1 Kombinasi perlakuan dengan metode respon permukaan (RSM)

No	Konsentrasi	
	As. Sitrat	EDTA
	%	ppm
1	0,5	100
2	1,5	100
3	0,5	200
4	1,5	200
5	0,29	150
6	1,71	150
7	1	79,28
8	1	220,71
9	1	150
10	1	150
11	1	150
12	1	150
13	1	150

Kadar air (AOAC 2005)

Cawan kosong dipanaskan dalam oven pada temperatur 105°C selama 30 menit, didinginkan dalam eksikator selama 15 menit, lalu ditimbang (W0). Kemudian sampel sebanyak ± 5 gram dimasukkan pada cawan yang telah diketahui bobotnya, ditimbang (W1), lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 3 jam, didinginkan dalam eksikator selama 15-30 menit, kemudian cawan dan isinya ditimbang dan dikeringkan kembali selama 1 jam, serta didinginkan didalam eksikator, ditimbang kembali (W2). Kandungan air dihitung dengan rumus :

$$\text{Kadar air} = \frac{W1 - W2}{W1 - W0} \times 100 \%$$

W0 = berat cawan kosong

W1 = berat cawan + sampel awal (sebelum pemanasan dalam oven)

W2 = berat cawan + sampel awal (setelah pendinginan dalam eksikator)

Browning Index (BI) (Li et al. 2011):

Analisis warna penelitian ini menggunakan *color reader*. Data warna yang dihasilkan dinyatakan dengan nilai L* untuk kecerahan (*lightness*), nilai a* menyatakan cahaya pantul yang menghasilkan warna kromatik campuran merah-hijau. Nilai b* menyatakan warna kromatik campuran biru-kuning. Indeks browning dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$BI (\text{Browning Index}) = \frac{100(x - 0,3)}{0,1752}$$

$$x = \frac{a + (1,75L)}{(5,645 L + (a - 3,012 b))}$$

Tekstur (Li et al. 2011)

Pengamatan tekstur sampel dilakukan dengan *texture analyzer* menggunakan probe silinder berdiameter 5mm. Sampel ditusuk hingga kedalam 5mm dengan kecepatan probe 2mm/detik. Gaya dan waktu yang dibutuhkan dicatat dan dibuat kurva. Penentuan kekerasan (*hardness*) dilihat dari gaya maksimal yang dibutuhkan untuk menusuk sampel.

Susut bobot (AOAC 1995)

Susut bobot sampel dilakukan dengan menimbang seluruh jamur sebelum dan sesudah periode penyimpanan. Penurunan berat sampel dinyatakan

sebagai persentase penurunan berat dengan perhitungan:

$$\text{Susut bobot (\%)} = \left(\frac{\text{berat awal} - \text{berat akhir}}{\text{berat awal}} \right) \times 100\%$$

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan software *Design Expert 12 (Trial Version)* dengan rancangan *Central Composite Design (CCD)*, dengan respon kadar air (AOAC 2005), *Browning Index (BI)* (Dokhanieh and Aghdam 2016), tekstur (Serradell et al., 2000), dan susut bobot (AOAC 1995). Solusi optimum yang didapatkan akan di verifikasi dengan uji *Paired T-test* dengan menggunakan piranti lunak Minitab 17.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil *input* data pada program *Design Expert 12 (Trial Version)* menggunakan rancangan RSM dengan CCD maka didapatkan kombinasi perlakuan beserta data respon pada Tabel 2.

Tabel 2 menunjukkan bahwa kadar air tertinggi diperoleh pada konsentrasi asam sitrat 1% dan EDTA 79,28 ppm yaitu sebesar 93,74%. Sedangkan kadar air terendah diperoleh dari konsentrasi asam sitrat 1% dan EDTA 150 ppm yaitu sebesar 93,28. BI tertinggi diperoleh pada kombinasi antara asam sitrat dengan konsentrasi sebesar 1,5% dan EDTA 150 ppm yaitu sebesar 33,69%. BI terendah dicapai pada kombinasi konsentrasi asam sitrat 0,5% dan EDTA 100 ppm yaitu 28,45%. Pada kriteria tekstur, tekstur tertinggi dicapai pada konsentrasi asam sitrat 1,5% dan EDTA 200 ppm serta pada pada konsentrasi asam sitrat 1,71% dan EDTA 150 ppm yaitu sebesar 23,8 N dan terendah pada konsentrasi asam sitrat 1% dan 150 ppm yaitu sebesar 19,1 N. Sedangkan susut bobot tertinggi diperoleh dari kombinasi asam sitrat dengan konsentrasi 0,5% dan EDTA 200 ppm yaitu sebesar 5,73% dan susut bobot terendah diperoleh dari kombinasi asam sitrat dengan konsentrasi 1% dan EDTA 150 ppm yaitu sebesar 4,30%.

Analisis kadar air

Hasil penelitian menunjukkan kadar air berkisar antara 93,26–93,74%, dengan kadar air tertinggi diperoleh pada kombinasi konsentrasi larutan pemucat asam sitrat sebesar 1% dan EDTA 79,28 ppm. Berdasarkan hasil analisis jumlah kuadrat dari urutan model, pengujian ketidaktepatan, dan

ringkasan model statistik terpilih model kuadratik yang sesuai untuk menjelaskan hubungan faktor konsentrasi asam sitrat dan EDTA terhadap respon kadar air. Hasil uji lanjut menggunakan analisis varian, diperoleh koefisien dan nilai p seperti pada Tabel 3. Berdasarkan hasil uji lanjut tersebut, model memberikan respon signifikan dengan nilai p kurang dari 5% atau <0,05 yaitu sebesar 0,0355. Selain model, yang memberikan pengaruh signifikan terhadap respon adalah konsentrasi EDTA dan interaksi antar asam sitrat yang ditunjukkan dengan nilai p kurang dari 5% atau <0,05 yaitu masing-masing sebesar 0,0310 dan 0,0112 dengan persamaan yang diperoleh adalah:

$$\begin{aligned} \text{kadar air}(\%) = & 94,75344 - 1,10197X_1 \quad (1) \\ & - 9,79238 \times 10^{-3}X_2 \\ & + 9,88870 \times 10^{-4}X_2 \\ & + 0,53871X_1^2 \\ & + 2,27407 \times 10^{-5}X_2^2 \end{aligned}$$

keterangan: X_1 = Asam Sitrat; X_2 = EDTA

Persamaan (1) menunjukkan bahwa kadar air akan meningkat berbanding lurus dengan interaksi antara asam sitrat dan EDTA, interaksi antar asam sitrat, dan interaksi antar EDTA. Hal ini ditunjukkan dengan nilai positif dari koefisien regresi masing-masing faktor. Sebaliknya, respon kadar air akan mengalami penurunan seiring dengan peningkatan konsentrasi asam sitrat dan konsentrasi EDTA. Hal ini ditunjukkan dari koefisien regresi masing-masing faktor yang bernilai negatif. Pola interaksi antara respon dengan masing-masing faktor dapat dilihat pada Gambar 1.

Keberadaan asam sitrat dan EDTA pada jamur diduga dapat mengikat kandungan air yang terdapat dalam produk sehingga mampu mempertahankan kadar air produk selama penyimpanan.

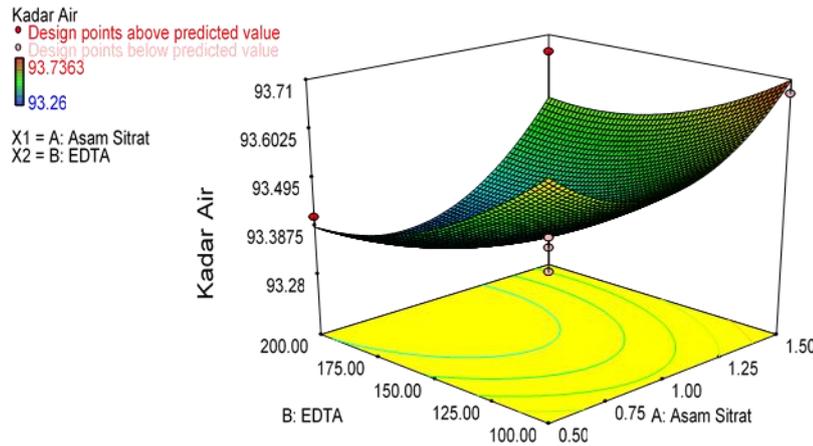
Tabel 2 Kombinasi perlakuan dan respon yang diberikan

No	Konsentrasi		Kadar air %	Respon		
	As. Sitrat	EDTA		<i>Browning Index</i> (BI)	Tekstur	Susut bobot
	%	ppm			N	%
1	0,5	100	93,52±0,29	28,45±0,1	23,7±0,21	4,46±0,01
2	1,5	100	93,68±0,08	33,69±0,03	23,8±0,15	5,24±0,04
3	0,5	200	93,41±0,5	33,61±0,59	21±0,5	5,37±0,15
4	1,5	200	93,67±0,01	31,42±0,39	23,6±0,06	4,77±0,02
5	0,29	150	93,63±0,58	31,77±0,01	22,1±0,61	4,54±0,03
6	1,71	150	93,68±0,47	32,18±0,81	23,8±0,21	4,75±0,06
7	1	79,28	93,74±0,55	31,18±0,30	21,4±0,1	4,68±0,03
8	1	220,71	93,26±0,01	33,32±0,11	19,2±0,17	4,84±0,34
9	1	150	93,45±0,31	31,23±0,03	22,1±0,06	4,31±0,06
10	1	150	93,37±0,65	28,98±0,98	20,1±0,52	4,30±0,11
11	1	150	93,46±0,22	29,59±0,28	20,3±0,12	4,34±0,02
12	1	150	93,34±0,01	30,24±0,04	20,3±0,6	4,77±0,02
13	1	150	93,28±0,65	30,38±0,15	19,1±0,06	4,30±0,06

Tabel 3 Hasil analisis varian faktor terhadap respon kadar air

Sumber	Koefisien	Nilai P
Model		0,0355*
Konstanta	+94.75344	
X1-Asam Sitrat	-1.10197	0,1364 ts
X2-EDTA	-9.79238E-003	0,0310 *
X1X2	+9.88870E-004	0,6492 ts
X1 ²	+0.53872	0,0112 *
X2 ²	+2.27407E-005	0,1929 ts
<i>Lack of Fit</i>		0,1444 ts

Keterangan : * = signifikan, ts = tidak signifikan



Gambar 1 Grafik interaksi 3-D terhadap kadar air

Analisis *Browning Index* (BI)

Hasil penelitian menunjukkan BI berkisar antara 28,45-33,69 dengan BI terendah diperoleh pada kombinasi konsentrasi larutan pemucat asam sitrat sebesar 1,5 % dan EDTA 100 ppm. Menurut Singh *et al.* (2010) parameter warna untuk jamur kancing dikategorikan dalam beberapa tingkatan (berdasarkan pengukuran warna putih (L) pada sistem *color reader*) yaitu kategori sangat baik jika nilai $L > 93$ hingga sangat buruk dengan nilai $L < 69$. Jamur yang mempunyai nilai $L < 80$ atau < 69 dianggap tidak diterima oleh konsumen. Pada penelitian ini, BI terendah (28,45) memiliki rata-rata nilai L sebesar 85,1 sehingga dikategorikan masih diterima oleh konsumen.

Berdasarkan hasil analisis jumlah kuadrat dari urutan model, pengujian ketidaktepatan, dan ringkasan model statistik terpilih model kuadrat yang sesuai untuk menjelaskan hubungan faktor konsentrasi asam sitrat dan EDTA terhadap respon BI. Hasil uji lanjut menggunakan analisis varian, diperoleh koefisien dan nilai p seperti pada Tabel 4. Berdasarkan hasil uji lanjut tersebut, model memberikan respon signifikan dengan nilai p kurang dari 5 % atau $< 0,05$ yaitu sebesar 0,0032. Selain model, yang memberikan pengaruh signifikan terhadap respon adalah konsentrasi EDTA, interaksi antar asam sitrat dan EDTA, interaksi antar asam sitrat, dan interaksi antar EDTA yang ditunjukkan dengan nilai p kurang

dari 5 % atau $< 0,05$ yaitu masing-masing sebesar 0,0255; 0,0016; 0,0180; dan 0,0091 dengan persamaan yang diperoleh adalah:

$$BI = 28,29364 + 5,13721X_1 - 0,031252X_2 \quad (2)$$

$$- 0,074324X_1X_2$$

$$+ 3,45777X_1^2$$

$$+ 4,01356 \times 10^{-4}X_2^2$$

keterangan: X_1 = Asam Sitrat; X_2 = EDTA

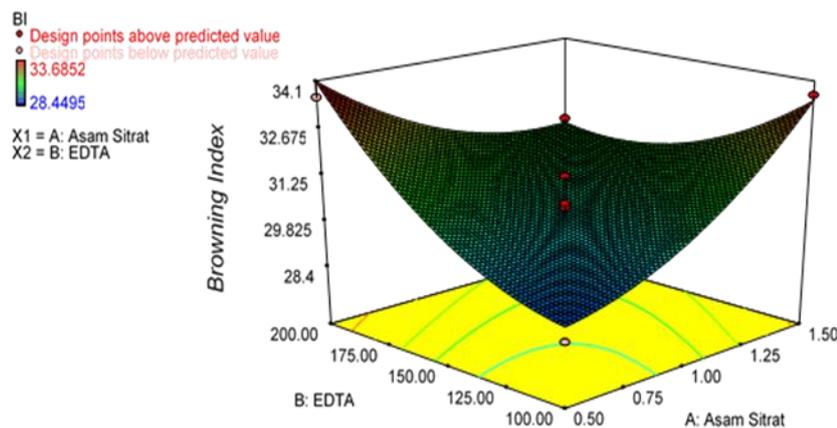
Persamaan (2) menunjukkan bahwa BI akan meningkat berbanding lurus dengan konsentrasi asam sitrat, interaksi antar asam sitrat, dan interaksi antar EDTA. Hal ini dapat dilihat dari nilai koefisien regresi yang positif dari masing-masing faktor. Sebaliknya, BI akan mengalami penurunan seiring dengan peningkatan konsentrasi EDTA dan interaksi antara asam sitrat dan EDTA. Hal ini ditandai dengan nilai koefisien regresi yang negatif. Pola interaksi antara respon dengan masing-masing faktor dapat dilihat pada Gambar 2.

Penggunaan asam sitrat yang dikombinasikan dengan EDTA diharapkan dapat meningkatkan kinerja penghambatan enzim polifenolase, penyebab pencokelatan (Hithamani *et al.*, 2018). Sejalan dengan hal tersebut, pada penelitian ini, interaksi antar asam sitrat dan EDTA memberikan respon yang signifikan terhadap BI pada jamur kancing segar selama penyimpanan.

Tabel 4 Hasil analisis varian faktor terhadap respon BI

Sumber	Koefisien	Nilai P
Model		0,0032 *
Konstanta	+28,29364	
X1-Asam Sitrat	+5,13721	0,1285 ts
X2-EDTA	-0,031252	0,0255 *
X1X2	-0,074324	0,0016 *
X1 ²	+3,45777	0,0180 *
X2 ²	+4,01356E-004	0,0091 *
<i>Lack of Fit</i>		0,7349 ts

Keterangan : * = signifikan, ts = tidak signifikan



Gambar 2 Grafik interaksi 3-D terhadap BI

Analisis tekstur

Hasil penelitian menunjukkan tekstur berkisar antara 19,1-23,8 N dengan tekstur terbesar diperoleh pada kombinasi konsentrasi larutan pemucat asam sitrat sebesar 1,5 % dan EDTA 100 ppm dan kombinasi konsentrasi larutan pemucat asam sitrat sebesar 1,71 % dan EDTA 150 ppm. Tekstur yang dimaksud pada penelitian ini adalah tingkat kekerasan dari jamur kancing. Semakin tinggi gaya yang dicapai pada analisis ini, maka semakin keras tekstur bahan yang diukur. Berdasarkan hasil analisis jumlah kuadrat dari urutan model, pengujian ketidaktepatan, dan ringkasan model statistik terpilih model kuadratik yang sesuai untuk menjelaskan hubungan faktor konsentrasi asam sitrat dan EDTA terhadap respon tekstur. Hasil uji lanjut menggunakan analisis varian, diperoleh koefisien dan nilai p seperti pada Tabel 5. Hasil analisis varian menunjukkan bahwa model kuadratik berpengaruh signifikan terhadap variabel tekstur. Hal ini ditunjukkan dengan nilai p lebih dari 5 % atau $>0,05$ yaitu sebesar 0,0363. Pengaruh signifikan juga ditunjukkan pada

interaksi antar asam sitrat yang ditunjukkan dengan nilai p kurang dari 5 % atau $<0,05$ yaitu sebesar 0,0060 dengan persamaan yang diperoleh adalah:

$$\begin{aligned} \text{Tekstur (N)} = & 31,92584 - 15,55396X_1 \quad (3) \\ & - 0,077228X_2 \\ & + 0,025X_1X_2 + 6,54X_1^2 \\ & + 1,24000 \times 10^{-4}X_2^2 \end{aligned}$$

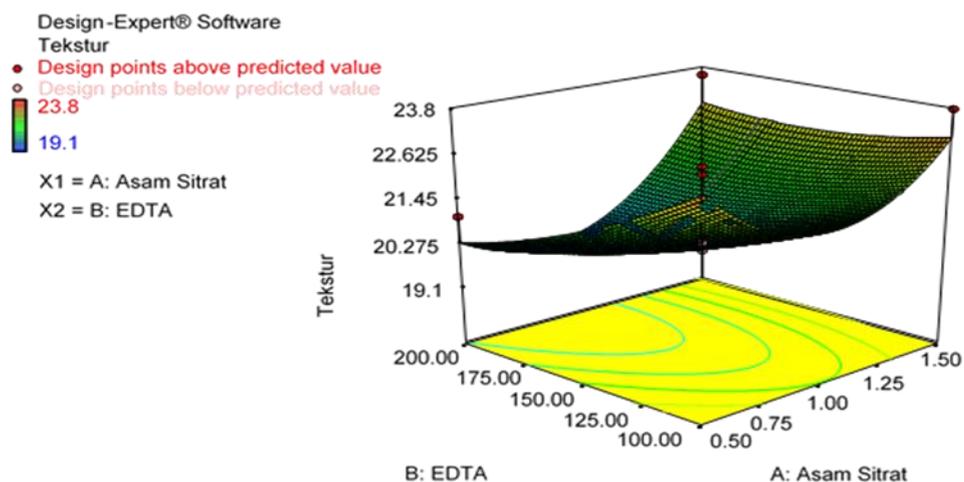
keterangan: X_1 = Asam Sitrat; X_2 = EDTA

Persamaan (3) menunjukkan bahwa tekstur akan meningkat seiring dengan peningkatan interaksi antara asam sitrat dan EDTA, interaksi antar asam sitrat, dan interaksi antar EDTA. Hal ini ditunjukkan dengan nilai positif dari koefisien regresi masing-masing faktor. Sebaliknya, tekstur akan mengalami penurunan seiring dengan penambahan konsentrasi asam sitrat dan EDTA. Hal ini ditunjukkan dari koefisien regresi masing-masing faktor yang bernilai negatif. Pola interaksi antara respon dengan masing-masing faktor dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 5 Hasil analisis varian faktor terhadap respon tekstur

Sumber	Koefisien	Nilai P
Model		0,0363*
Koefisien		+34,43819
X1-Asam Sitrat	-15,55396	0,1480ts
X2-EDTA	-0,077228	0,0971ts
X1X2	+0,025	0,2972ts
X1 ²	+6,54	0,0060*
X2 ²	+1,24000E-004	0,4853ts
Lack of Fit		0,4402ts

Keterangan : * = signifikan, ts = tidak signifikan



Gambar 3 Grafik interaksi 3-D terhadap tekstur

Penurunan tekstur atau pelunakan jaringan merupakan masalah yang paling umum dari produk hortikultura segar. Penyebab utamanya adalah terjadinya degradasi dinding sel tanaman melalui aktivitas autolisis endogen atau adanya perubahan polimer dinding sel karena reaksi enzimatik (Lagnika *et al.*, 2013; Gao *et al.*, 2014). Lagnika (2013) juga menyebutkan bahwa hilangnya ketegaran pada jamur segar merupakan efek langsung dari aktiivitas polifenol oksidase (PPO) dan pembusukan bakteri. Penggunaan asam sitrat dan EDTA pada penelitian ini berpengaruh signifikan pada tekstur jamur kancing. Hal ini dimungkinkan karena asam sitrat memiliki kemampuan dalam meningkatkan kandungan antioksidan dalam jamur kancing (Pérez-Balibrea *et al.*, 2008). Asam sitrat yang ditambahkan dapat merangsang sintesis yang lebih besar dari senyawa yang berfungsi sebagai antioksidan seperti senyawa fenol sehingga mampu memperlambat proses penuaan pada jamur kancing segar dengan demikian ketegaran dinding sel mampu terjaga hingga akhir masa penyimpanan.

Analisis susut bobot.

Hasil penelitian menunjukkan susut bobot berkisar antara 4,30-5,37% dengan susut bobot terendah diperoleh pada kombinasi konsentrasi larutan pemucat asam sitrat sebesar 1 % dan EDTA 150 ppm. Berdasarkan hasil analisis jumlah kuadrat dari urutan model, pengujian ketidaktepatan, dan ringkasan model statistik terpilih model kuadratik yang sesuai untuk menjelaskan hubungan faktor konsentrasi asam sitrat dan EDTA terhadap respon susut bobot. Hasil uji lanjut menggunakan analisis varian, diperoleh koefisien dan nilai p seperti pada Tabel 6. Berdasarkan hasil uji lanjut tersebut, model memberikan respon signifikan dengan dengan nilai p kurang dari 5 % atau <0,05 yaitu sebesar 0,0267. Selain model, yang memberikan pengaruh signifikan terhadap respon adalah interaksi antar asam sitrat dan EDTA, interaksi antar asam sitrat, dan interaksi antar EDTA yang ditunjukkan dengan nilai p kurang dari 5 % atau <0,05 yaitu masing-masing sebesar 0,0134 ; 0,0532; dan 0,0187 dengan persamaan yang diperoleh adalah :

$$\begin{aligned}
 \text{Susut bobot (\%)} &= 4,88578 \\
 &+ 0,71025X_1 \\
 &- 0,013619X_2 \\
 &- 0,013800X_1X_2 \\
 &+ 0,73950X_1^2 \\
 &+ 9,69500 \times 10^{-5}X_2^2
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

keterangan: X₁= Asam Sitrat; X₂= EDTA

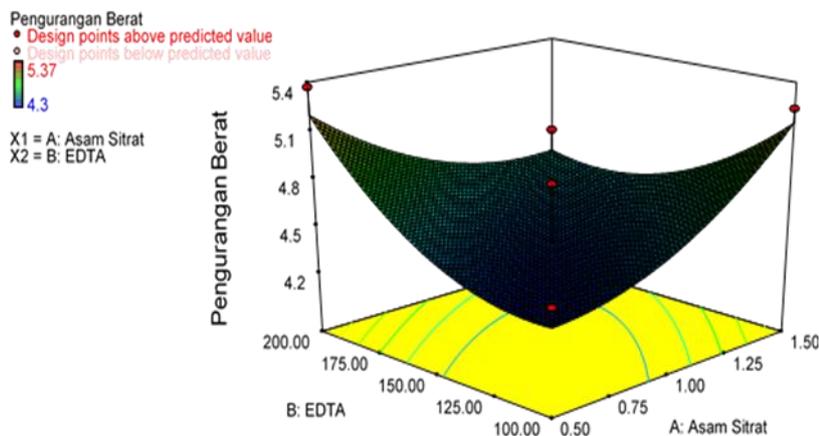
Persamaan (4) menunjukkan bahwa susut bobot akan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi asam sitrat, interaksi antar asam sitrat, dan interaksi antar EDTA. Hal ini ditunjukkan dengan nilai positif dari koefisien regresi masing-masing faktor. Penambahan asam sitrat dilaporkan dapat menghambat kerja enzim fosfofruktokinase. Enzim ini merupakan enzim yang mengkatalisis fosforilasi fruktosa 6-fosfat menjadi fruktosa 1,6-bifosfat dalam jalur glikolitik metabolisme (Kato-Noguchi dan Watada, 1997). Laju respirasi yang menurun dapat mengakibatkan berat bahan terjaga

selama masa penyimpanan, namun ketika semakin meningkat konsentrasi asam sitrat yang ditambahkan, kemungkinan terjadinya kerusakan juga meningkat karena adanya pembusukan oleh mikroba asidofilik sehingga mengakibatkan peningkatan susut bobot. Sebaliknya, susut bobot akan mengalami penurunan seiring dengan penambahan konsentrasi EDTA dan interaksi antara asam sitrat dan EDTA. Hal ini ditunjukkan dari koefisien regresi masing-masing faktor yang bernilai negatif. Pola interaksi antara respon dengan masing-masing faktor dapat dilihat pada Gambar 4. EDTA merupakan senyawa pengkelat yang dapat mengkelat logam pada sisi aktif enzim. Kapasitas pengkelat logam penting karena mengurangi konsentrasi logam transisi yang dapat bertindak sebagai katalis untuk menghasilkan beberapa radikal pertama pencetus reaksi berantai oksidatif yang dimediasi radikal bebas. Agen pengkelat ion juga dapat menghambat reaksi Fenton dan posisi dekomposisi hidroperoksida (Liu et al., 2010).

Tabel 6 Hasil analisis varian faktor terhadap respon susut bobot

Sumber	Koefisien	Nilai P
Model		0,0267 *
Koefisien	+4.88578	
X1-Asam Sitrat	+0.71025	0,4482 ts
X2-EDTA	-0.013619	0,2989 ts
X1X2	-0.013800	0,0134 *
X1 ²	+0.73950	0,0532 *
X2 ²	+9.69500E-005	0,0187 *
<i>Lack of Fit</i>		0,4438 ts

Keterangan : * = signifikan, ts = tidak signifikan



Gambar 4 Grafik interaksi 3-D terhadap susut bobot

Susut bobot merupakan faktor yang menunjukkan kualitas dan kesegaran jamur. Menurut Gao *et al.* (2014), penurunan berat sekitar 5–10 % pada jamur kancing segar dapat menyebabkan kelayuan sehingga menurunkan nilai komersilnya. Karena adanya penolakan oleh konsumen (telah terlihat tanda-tanda layu atau penyusutan). Susut bobot pada jamur selama masa penyimpanan terjadi karena berkurang atau hilangnya kelembaban dan berkurangnya cadangan karbon selama proses respirasi. Menurut Gupta dan Bhat (2016), penggunaan senyawa pemucat (asam sitrat dan EDTA) pada *pretreatment* jamur kancing memiliki efek yang signifikan dalam mengendalikan penurunan berat. Hal ini terjadi karena senyawa tersebut mampu mengurangi laju respirasi dan transpirasi produk selama penyimpanan dengan menghambat kinerja enzim yang berperan dalam proses respirasi.

Optimasi konsentrasi senyawa anti pencokelatan terhadap respon.

Setelah diperoleh hasil analisis varian pada masing-masing respon, selanjutnya ditentukan solusi optimasi konsentrasi terhadap respon yang telah ditentukan. Kriteria yang dipilih antara lain, konsentrasi faktor asam sitrat dan EDTA dalam batas yang ditentukan (*in range*), respon kadar air maksimum, respon BI minimum, respon tekstur maksimum, dan respon susut bobot minimum.

Hasil solusi optimum yang diberikan menunjukkan bahwa kombinasi asam sitrat 0,5 % dan EDTA 100 ppm akan menghasilkan respon seperti pada Tabel 7 dengan *desirability* sebesar 0,873. Nilai *desirability* berfungsi untuk menentukan derajat ketepatan hasil solusi optimal. Semakin mendekati angka satu maka semakin tinggi nilai ketepatan optimal atau dengan kata lain tujuan dari model terpenuhi (Anderson dan Whittcomb, 2017).

Verifikasi hasil optimasi

Solusi optimasi yang dihasilkan kemudian diverifikasi dengan melakukan pengukuran respon berdasarkan faktor solusi optimum yang dihasilkan. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali. Hasil pengukuran kemudian dilakukan uji perbandingan (antara hasil optimasi dengan pengukuran aktual) menggunakan uji *Paired T-test* menggunakan Minitab 17. Hasil verifikasi dapat dilihat pada Tabel 8. Berdasarkan hasil verifikasi, nilai respon yang diberikan memiliki nilai p (pada taraf 5 % lebih dari 0,05 yaitu 0,557; 0,101; 0,18; dan 0,158 sehingga dapat dikatakan bahwa respon yang diukur memiliki nilai prediksi dan nilai aktual yang tidak berbeda nyata. Hal ini menunjukkan bahwa hasil prediksi dari proses optimasi memiliki kesamaan atau tidak jauh berbeda dengan nilai hasil pengukuran aktual dengan demikian hasil optimasi dapat digunakan.

Tabel 7 Solusi kombinasi yang memberikan respon optimum

No	As. Sitrat	EDTA	Kadar air	<i>Browning Index</i>	Tekstur	Susut bobot	<i>Desirability</i>
1	0,5	100	93,63	28,89	23,06	4,34	0,873

Tabel 8 Data verifikasi hasil optimum

	Variabel Bebas			Respon		
	Asam Sitrat (%)	EDTA (ppm)	Kadar air (%)	BI (%)	Tekstur (N)	Susut bobot (%)
Prediksi	0,5	100	93,63	28,89	23,06	4,34
Verifikasi	0,5	100	93,34±0,26	27,96±0,55	24,10±0,89	4,90±0,44
Hasil Uji T (<i>p-value</i>)			0,557	0,101	0,18	0,158

Keterangan: rata-rata ± standar deviasi dari tiga kali ulangan

KESIMPULAN

Konsentrasi optimum senyawa anti pencokelatan yang dapat mempertahankan kualitas fisik jamur kancing selama masa penyimpanan (8 hari) pada penelitian ini adalah asam sitrat 0,5 % dan EDTA 100 ppm dengan menghasilkan respon kadar air sebesar 93,63%; nilai BI sebesar 28,89 (nilai L sebesar 85,1); tekstur sebesar 23,06 N; dan susut bobot sebesar 4,34%. Kondisi ini masih tergolong masuk dalam kriteria kualitas jamur yang layak dikonsumsi yaitu dengan nilai L lebih dari 80 serta susut bobot kurang dari 5%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pertanian serta Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya yang telah memfasilitasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbarriad, H., Kazemeini, S.M., Shariaty, M.A. 2013. Deterioration and some of applied preservation techniques for common mushrooms (*Agaricus bisporus*, followed by *Lentinus edodes*, *Pleurotus* spp.). *Journal Microbiology Biotechnology Food Science* 2:2398–2402.
- Anderson, M.J., Whitcomb, P.J. 2017. *RSM Simplified: Optimizing Processes Using Response Surface Methods for Design of Experiment*. Florida: CRC Press.
- AOAC. 1995. *Official Methods of Analysis of Association Analytical Chemist, Inc.* Washington D.C.
- AOAC. 2006. *Official Methods of Analysis of Association Analytical Chemist 18th Edition*, AOAC International, Gaithersburgs, Maryland, USA.
- Arabaci, G. 2015. Effects of Metals and Anti-browning Agents on Polyphenol Oxidase Activity from Sorrel (*Rumex acetosa*) *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 2(12):832-837.
- Badan Pengawas Obat dan Makanan. 2013. *Peraturan Kepala Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia No 18 tentang Batas Maksimum Penggunaan Bahan Tambahan Pangan Sekuestran*. Jakarta.
- Banda, Caleb, O.J., Opara, U.L. 2015. Effect of Citric Acid and Storage Conditions on the Respiration Rate of ‘Wonderful’ Pomegranate Arils K. *Proc. 5th International Conference Postharvest Unlimited Eds.: G.A. Manganaris et al. Acta Hort*:481-486.
- Chakraborty, S., Kaushik, N., Rao, P.S., Mishra, H.N., 2014. High-pressure inactivation of enzymes: A review on its recent applications on fruit purees and juices. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 13(4), 578–596. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12071>.
- Dokhanieh, A.Y., Aghdam, M.S., 2016. Postharvest browning alleviation of *Agaricus bisporus* using salicylic acid treatment. *Scientia Horticulturae* 207, 146–15.
- Gao, M., Feng, L., Jiang, T., 2014. Browning inhibition and quality preservation of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by essential oils fumigation treatment. *Food Chem.* 149, 107–113.
- Gao, W., Baars, J.J.P., Maliepaard, C., Visser, R.G.F., Zhang, J., Sonnenberg, A.S.M., 2016. Multi-trait QTL analysis for agronomic and quality characters of *Agaricus bisporus* (button mushrooms). *AMB Express* 6(1),67.
- Ghahremani-Majd, H., Dashti, F. 2015. Chemical composition and antioxidant properties of cultivated button mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Horticulture, Environment, Biotechnology* 56:376-382.
- Gupta, P., Bhat, A., 2016. Efficacy of Different Washing Treatments on Quality of Button Mushrooms (*A. bisporus*). *Journal Food Process Technology* 7, 6. <https://doi:10.4172/2157-7110.1000590>.
- Heimbach, J., Rieth, S., Mohamedshah, F., Slesinski, R., Samuel-Fernando, P., Sheehan, T., Dickmann, R., Borzelleca, J. 2000. Safety Assessment of Iron EDTA [Sodium Iron (Fe3+) Ethylenediaminetetraacetic Acid]: Summary of Toxicological, Fortication and Exposure Data : Review. *Food and Chemical Toxicology* 38:99-111.
- Hithamani, G., Medappa, H., Arugakeerthy, C., Ramalakshmi, K., Raghavarao, K. 2018. Effect of adsorbent and acidulants on enzymatic browning of sugarcane juice. *J. Food Sci. Technol.* 55, 4356–4362.

- Khan, Z.U., Aisikaer, G., Khan, R.U., Bu, J., Jiang, Z., Ni, Z., Yinga, T. 2014. Effects of composite chemical pretreatment on maintaining quality in button mushrooms (*Agaricus bisporus*) during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology* 95, 36–41.
- Labus, K., Bryjak, J., Polakovič, M. 2015. Kinetics of thermal inactivation of immobilized *Agaricus bisporus* tyrosinase. *Journal of Molecular Catalysis B:Enzymatic*, 120: 136–140. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2015.05.019>.
- Lagnika, C., Zhang, M., Mothibe, K.J. 2013. Effects of ultrasound and high pressure argon on physic-chemical properties of white mushrooms (*Agaricus bisporus*) during postharvest storage. *Postharvest Biol. Technol.* 82, 87–94.
- Liu W., Wang, H., Yao, W., Gao, X., Yu, L. 2010. Effects of sulfation on the physicochemical and functional properties of a waterinsoluble polysaccharide preparation from *Ganoderma lucidum*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 58: 3336–3341.
- Ma, G., Yang, W., Zhao, L., Pei, F., Fang, D., Hu, Q. 2018. A critical review on the health promoting effects of mushrooms nutraceuticals. *Food Sci. Hum. Wellness* 7:125–133.
- Mao, Y., Mao, J., Meng, X. 2013. Extraction optimization and bioactivity of exopolysaccharides from *Agaricus bisporus*. *Carbohydrate Polymers* 92(2): 1602- 1607.
- Pérez-Balibrea, S., Moreno, D.A., García-Viguera, C. 2008. Influence of light on health-promoting phytochemicals of broccoli sprouts. *J. Sci. Food Agric.* 88:904-910.
- Queiroz, C., Lopes, M.L.M., Fialho, E., Valente-Mesquita, V.L. 2008. Polyphenol oxidase: Characteristics and mechanisms of browning control. *Food Reviews International* 24, 361–375.
- Serradell, M.A., Rozenfeld, P.A., Martínez, G.A., Civello, P.M., Chaves, A.R., Añón, M.C. 2000. Polyphenoloxidase activity from strawberry fruit (*Fragaria ananassa*, Duch., cv Selva): characterisation and partial purification. *J. Sci. Food Agric.* 80, 1421–1427.
- Sgroppo, S.C., Vergara, L.E., Tenev, M.D. 2010. Effects of sodium metabisulphite and citric acid on the shelf life of fresh cut sweet potatoes. *Spanish Journal of Agricultural Research* 8(3):686-693.
- Taranto, F., Pasqualone, A., Mangini, G., Tripodi, P., Miazzi M.M., Pavan, S., Cinzia, Montemurro., C. 2017. Polyphenol Oxidases in Crops: Biochemical, Physiological and Genetic Aspects. *Int J Mol Sci* 10;18(2):1-16. doi: 10.3390/ijms18020377.
- Whitaker, J.R. 2003. *Handbook of Food Enzymology*, (1st ed). Marcel Dekker, Inc. New York Basel.