

**APLIKASI MICROWAVE UNTUK DISINFESTASI *Tribolium castaneum* (Herbst.)
SERTA PENGARUHNYA TERHADAP WARNA DAN KARAKTERISTIK
AMILOGRAFI TERIGU**

Microwave Application for the Disinfestation of *Tribolium castaneum* (Herbst.) and Its Effect
on Color and Amilographic Characteristics of Wheat Flour

ABSTRAK

Aplikasi *microwave* telah dipelajari untuk disinfestasi *Tribolium castaneum* (Herbst.) dan pengaruhnya terhadap karakteristik warna dan amilografi tepung terigu. Kerusakan karena serangan *T. castaneum* selama penyimpanan menyebabkan terjadinya perubahan fisik dan kimiawi tepung. Kerusakan fisik berupa terjadinya perubahan warna tepung, sedangkan kerusakan kimiawi karena adanya aktifitas enzim lipase dan benzokuinon yang berasal dari hasil sekresi *T. castaneum*. Penelitian dilakukan dengan menggunakan tepung yang tidak di fumigasi pada tahap *milling*. Kontaminasi pun dilakukan dengan memberikan biakan *T. castaneum* masing-masing 10 jantan dan 10 betina ke dalam 50 g dan 100 g sampel tepung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat mortalitas pada sampel yang tidak diberi aplikasi *microwave* setelah penyimpanan 42 hari adalah 0% baik untuk sampel 50 g dan 100 g. Kadar air meningkat, sedangkan tingkat kecerahan warna, puncak viskositas menurun. Sampel yang diberi perlakuan energi *microwave* 23,76 kJ, 24,00 kJ, 31,68 kJ dan 36,00 kJ menunjukkan mortalitas 100% dari *T. castaneum*, sedangkan kecerahan warna, puncak viskositas, kadar air, menurun setelah penyimpanan 42 hari baik pada berat sampel 50 g dan 100 g.

Kata Kunci: Amilografi, *microwave*, *T. castaneum*, terigu, warna

ABSTRACT

This study aimed to determine the amount of microwave energy used for the disinfestation of *T. castaneum* and to observe its effect on discoloration and amilographic characteristic of treated wheat flour. Damages due to *T. castaneum* attack during storage caused physical and chemical changes in the wheat flour. The physical damage from this attack was the color change of the wheat flour, whereas chemical damage was caused by lipase enzyme activity and benzokuinon derived from the secretion of *T. castaneum*. The study was conducted on the wheat flour that was unfumigated in its milling stage. The contamination of the wheat flour was artificially made by giving cultured *T. castaneum*, which consisted of 10 males and 10 females, into 50 g as well as 100 g of wheat flour. After 42 days of storage time, the study showed that the mortality rate of untreated samples was 0% both for 50 g and 100 g samples. The moisture showed an increase, while color-brightness level and viscosity peak were decreased. All of samples that were treated by 23.76 kJ, 24.00 kJ, 31.68 kJ and 36.00 kJ of microwave energy indicated 100% mortality of *T. castaneum*, whereas the color brightness, the amilographic peak, and moisture were decreased both on the mass of 50 g and 100 g after H₊₄₂ storage time.

Keywords: amilographic, microwave, *T. castaneum*, wheat flour, color

PENDAHULUAN

Indonesia adalah pengimpor gandum terbesar kedua dunia setelah Mesir dengan jumlah rata-rata volume impor diatas 5 juta MT pertahun. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), volume impor gandum pada 2013 mencapai 6,37 juta MT dan meningkat menjadi 7,43 juta MT pada tahun 2014 (APTINDO, 2014).

Terigu menurun kualitasnya jika tidak disimpan dengan tepat. Kerusakan karena serangan *Tribolium castaneum* selama penyimpanan menyebabkan terjadinya perubahan fisik dan kimiawi terigu. Kerusakan fisik berupa terjadinya perubahan warna terigu, sedangkan kerusakan kimiawi karena aktifitas enzim lipase dan benzokuinon yang berasal dari hasil sekresi *T. castaneum*. Benzokuinon berwarna kuning cerah, jingga atau merah dan berbau tajam sehingga terigu berbau apek dan tengik. Benzokuinon mudah larut dalam pelarut organik dan memiliki efek karsinogenik yang dapat memicu terjadinya kanker (Lis dkk., 2011). Peningkatan jumlah *T. castaneum* selama penyimpanan akan meningkatkan senyawa benzokuinon yang berasal dari sekresi *T. castaneum* (Prendeville dan Stevens, 2002) sehingga perlu dilakukan tindakan pengendalian.

Sistem pengendalian *T. castaneum* yang berkembang saat ini telah banyak dilakukan baik secara fisik/mekanik, maupun kimiawi. Pengendalian *T. castaneum* biasanya dilakukan dengan menggunakan bahan kimiawi fosfin. Berdasarkan ketentuan Codex Alimentarius, batas residu inorganik fosfin yang diperbolehkan pada biji-bijian yang belum diolah adalah 0,1 mg/kg dan 0,01 mg/kg pada biji-bijian yang telah diolah (BARANTAN, 2013). Diperkirakan penggunaan bahan kimia fosfin untuk disinfestasi pada biji-bijian yang diolah bisa mencapai 743 kg/tahun. Fosfin tidak ramah lingkungan, sehingga harus dicari alternatif lain seperti aplikasi *microwave*.

Aplikasi *microwave* diharapkan mampu mengendalikan serangan hama *T. castaneum*. Prinsip pemanasan *microwave* yaitu menggunakan gelombang radio untuk memanaskan

material dielektrik. Material dielektrik yang dimaksud adalah air, lemak dan gula (Das dkk., 2013). Menurut Copson (1975), frekuensi *microwave* yang diizinkan penggunaannya oleh *Industrial Science and Medical Frequency* (ISM) berkisar antara 900 MHz dan 2450 MHz, yang merupakan batas frekuensi yang aman bagi manusia. Penelitian Vadivambal dkk. (2007) menyebutkan bahwa pengendalian *T. castaneum* dengan menggunakan *microwave* pada tingkatan daya 400 watt dengan pemaparan *microwave* 56 detik mampu mencapai mortalitas 100%. Nurbianto (2008) menemukan mortalitas *T. castaneum* 100% dan kemunculan keturunan *T. castaneum* 0 % dengan pemaparan *microwave* 120 detik pada energi 57.6 kJ. Radiasi *microwave* tidak hanya dapat mempengaruhi sistem reproduksi serangga, tetapi juga dapat membunuhnya.

Penelitian sebelumnya, menunjukkan bahwa daya dan waktu pemaparan yang terlalu lama menyebabkan karakteristik tepung ikut rusak. Seperti yang dilaporkan oleh El-Naggar dan Mikhael (2011), bahwa aplikasi *microwave* dengan suhu tinggi menyebabkan perubahan protein kasar yang mempengaruhi sifat tepung. Kerusakan struktur protein khususnya gluten dan lemak setelah perlakuan *microwave* mempengaruhi sifat rheologi dari tepung. Dilaporkan juga oleh Kaasova dkk. (2002) bahwa besarnya jumlah penyerapan energi dengan pemanasan *microwave* menyebabkan terjadinya kerusakan makromolekul pati dan inaktivasi α -amilase. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya jumlah energi *microwave* untuk disinfestasi *T. castaneum* dan perubahan warna dan sifat amilografi terigu sebagai akibat dari aplikasi *microwave* tersebut.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah terigu yang tidak diberi perlakuan fumigasi. Terigu diperoleh dari salah satu pabrik terigu di Semarang. Serangga hama gudang

T. castaneum berumur 17 hari diperoleh dari laboratorium *Entomologi* SEAMEO BIOTROP, Bogor.

Bahan kimia yang digunakan yaitu K_2SO_4 , HgO, H_2SO_4 , H_3BO_4 , NaOH- $Na_2S_2O_3$ dan HCl 0.02 N. Peralatan yang digunakan adalah mikroskop stereo *Olympus* tipe SZM-45B1, oven *microwave electrolux* tipe EMS 2007 X, timbangan digital AND tipe EK 1200 A berkapasitas 1200 g x 0.1 g, oven pengering (IKEDA RIKA tipe SS204 D), *hybrid recorder*, *kjedhal*, *chromameter* Konica Minolta CR400 dan *Rapid Visco Analyzer* (RVA) (TecMaster).

Analisis Data

Variabel dalam penelitian adalah tingkatan energi *microwave* (kJ) dan berat sampel. Pengumpulan data diulang tiga kali pada sampel yang berbeda. Wadah terigu memiliki luasan permukaan 120 mm dan tinggi 70 mm. Rancangan percobaan yang digunakan adalah RAL (Rancangan Acak Lengkap) faktorial dengan 3 ulangan. Data yang diperoleh dari tiga kali ulangan selanjutnya dirata-ratakan kemudian dianalisis dengan uji ANOVA dan uji lanjut Duncan pada tingkat kepercayaan 95% untuk membandingkan perbedaan tiap perlakuan dengan kontrol. Perbedaan dinyatakan signifikan jika $p < 0.05$. Pengolahan data dilakukan dengan perangkat lunak SPSS 22.0 for *windows*.

Persiapan Pembiakan Serangga

Pembiakan *T. castaneum* dilakukan dalam wadah gelas yang ditutup dengan kain jaring serangga. Wadah gelas diisi dengan media biakan tepung terigu yang terlebih dulu disterilkan dengan pemanasan pada suhu sekitar 70 °C selama 2 jam, kemudian disimpan pada suhu 28 °C. Serangga uji yang digunakan ialah serangga dewasa umur 7-14 hari berukuran 3-4 mm, dan berwarna merah sampai coklat tua.

T. castaneum dalam setiap perlakuan digunakan sebanyak 20 ekor dengan kombinasi 10 ekor jantan dan 10 ekor betina. Penentuan jenis kelamin *T. castaneum* dilakukan pada tahap pupa. Perbedaan morfologi pupa *T. castaneum* jantan ditandai dengan bentuk *urogomphi*

(sepasang tonjolan pada ujung abdomen) yang lebih besar sedangkan pada jenis kelamin betina terdapat *papillae* (sepasang tonjolan yang berada diatas *urogomphi*) di atas bagian *urogomphi* pada ujung abdomen (USDA, 2006).

Persiapan Aplikasi *Microwave* pada Disinfestasi Serangga *T. castaneum* (Herbst.)

Sampel dirancang dengan menghitung ketebalan dan densitasnya berdasarkan asumsi daya tembus energi yang dihasilkan oleh *microwave*. Ketebalan terigu dihitung dengan menggunakan jangka sorong. Menurut Hussain *et al.*, (2008) densitas Kamba diukur dengan menggunakan gelas ukur 100 ml. Terigu ditimbang sebanyak 50 g dan 100 g, kemudian dimasukkan ke dalam gelas ukur 100 ml. Bagian bawah gelas ukur ditepuk-tepuk beberapa kali hingga diperoleh volume konstan. Densitas terigu yang diperoleh yaitu 0.61 g/ml. Ketebalan yang ditetapkan yaitu 0,73 cm untuk berat sampel 50 g dan 1,46 cm untuk berat sampel 100 g. Sampel terigu selanjutnya diberi biakan *T. castaneum*.

Disinfestasi *T. castaneum* dengan *Microwave*

Disinfestasi *T. castaneum* dilakukan dengan menggunakan *microwave* pada energi 23.76 kJ (daya 264 watt x 90 s), 24.00 kJ (daya 400 watt x 60 s), 31.68 kJ (daya 264 watt x 120 s) dan 36.00 kJ (daya 400 watt x 90 s) terhadap masing-masing perlakuan dilakukan tiga kali pengulangan. Pengaturan energi dengan mengatur tombol daya *microwave* dan waktu paparan untuk menghasilkan energi yang telah ditentukan. Energi yang digunakan dapat dihitung dengan mengalikan daya dan waktu yang digunakan menggunakan persamaan:

$$W = P \times t \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

W = Energi yang digunakan (Joule)

P = Daya yang digunakan (Watt)

t = Waktu yang digunakan (detik)

Tingkat Mortalitas *T. castaneum* Akibat Aplikasi *Microwave*

Pengamatan mortalitas terhadap *T. castaneum* dilakukan baik sebelum maupun setelah masa penyimpanan yang disimpan pada suhu ruang selama 42 hari. Serangga dewasa yang hidup pada sampel tepung terigu baik yang diberi maupun yang tidak diberi aplikasi *microwave* dihitung jumlahnya. Persentase kematian (mortalitas) dilakukan dengan cara menghitung jumlah *T. castaneum* yang mati pada setiap tingkatan energi yang diberikan. Untuk memastikan serangga sudah mati, serangga dibiarkan beberapa menit sampai tidak bergerak sama sekali.

Karakteristik Warna dan Amilografi Terigu

Analisis Warna

Pengukuran warna dilakukan dengan menggunakan Chromameter Minolta (Gaurav, 2003) Uji warna dilakukan dengan sistem warna Hunter L*, a*, b*. Chromameter terlebih dahulu dikalibrasi dengan lempeng standar putih dengan $Y = 93.2$, $x = 0.314$, $y = 0.3204$. Sampel yang dianalisis adalah terigu. Hasil analisis derajat putih yang dihasilkan berupa nilai L*, a*, b*. Pengukuran total derajat warna digunakan basis warna putih sebagai standar (L_1 , a_1 , b_1).

Analisis Amilografi Terigu (AACC, 2009)

Karakteristik amilografi terigu ditetapkan menggunakan *Rapid Visco Analyser* dengan metode AACC 61-02.01. Secara berturut-turut 25 ml air destilata dan 3 g sampel (kadar air disesuaikan 14 %) dimasukkan ke dalam RVA *canister*. Kemudian *canister* dimasukkan ke dalam alat dan dilakukan pengadukan sampel dengan air pada kecepatan 960 rpm selama 10 detik. Pada tahap pengukuran awal, campuran diaduk dengan kecepatan 160 rpm dan suhu dipertahankan pada 50 °C selama 1 menit. Suhu kemudian dinaikkan dari 50 °C ke 95 °C dalam 3.5 menit dan dipertahankan pada kondisi tersebut selama 2.5 menit. Suhu diturunkan kembali ke 50 °C dalam 3.5 menit dan kemudian dipertahankan selama 5 menit. Parameter-

parameter yang diukur meliputi *peak viscosity* (PV, viskositas tertinggi selama pemanasan), *trough* (T, viskositas paling rendah), *breakdown* (BD = PV – T), *final viscosity* (FV, viskositas pada akhir pemanasan), dan *setback* (SB = FV – PV). Semua nilai dinyatakan dalam cP dan setiap sampel diukur sebanyak 2 kali.

Analisis Kadar Air (BSN, 2006)

Kadar air tepung terigu ditentukan dengan menggunakan metode *thermogravimetry* berdasarkan SNI 01-3751-2006. Cawan aluminium kosong dan tutupnya dikeringkan dalam oven pada suhu 130 °C selama 15 menit, kemudian didinginkan dalam desikator selama 30 menit. Cawan ditimbang menggunakan neraca analitik (A). Sampel sebanyak 2 gram (W) yang sudah dihomogenkan dimasukkan ke dalam cawan tersebut, kemudian cawan serta sampel ditimbang dengan neraca analitik, tutup cawan diangkat, dan cawan beserta isi dan tutupnya ditempatkan di dalam oven pada suhu 130 °C selama 1 jam. Cawan berisi sampel didinginkan dalam desikator, kemudian ditimbang (X). Setelah itu, cawan berisi sampel dikeringkan kembali dalam oven selama 15-30 menit, lalu ditimbang kembali. Pengeringan diulangi hingga diperoleh bobot konstan (selisih bobot ≤ 0.005 gram). Penentuan kadar air dilakukan sebanyak 2 (dua) kali, hasil penentuan tersebut kemudian dirata-ratakan. Kadar air dihitung dengan cara:

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{W-(X-A)}{W} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

w= Bobot sampel awal (g)

x = Bobot sampel dan cawan setelah dikeringkan (g)

A = Bobot cawan kosong (g)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mortalitas *Tribolium castaneum* pada Terigu yang Diaplikasi *Microwave*

Pengaruh perlakuan energi *microwave* terhadap mortalitas *T. castaneum* setelah penyimpanan 42 hari disajikan pada Tabel 1. Pada Tabel 1 terlihat sampel kontrol tidak diberi biakan *T. castaneum* menunjukkan pertumbuhan *T. castaneum* sebanyak 168 selama penyimpanan 42 hari. Sampel yang diberi biakan *T. castaneum* tanpa perlakuan *microwave* (kontrol H₊₄₂), populasi serangga meningkat dengan cepat, yaitu mencapai 351 dan 706 masing-masing pada berat sampel 50 g dan 100 g. Besarnya jumlah populasi *T. castaneum* pada sampel kontrol tanpa *microwave* dipengaruhi oleh besarnya jumlah *T. castaneum* yang sebelumnya telah berada di dalam terigu serta suhu dan kelembaban (RH) penyimpanan terigu sesuai untuk pertumbuhan yang optimum. Abdelsamad *dkk.* (1987) menyatakan bahwa pada kondisi lingkungan yang mendukung, imago betina mampu meletakkan telur rata-rata 27.7 butir/dua hari. Selain itu, tersedianya kebutuhan nutrisi yang cukup menyebabkan *T. castaneum* dapat bereproduksi dengan cepat. Namun, apabila kandungan nutrisi pada terigu sudah habis maka dapat mengganggu pola pertumbuhan *T. castaneum*. Sifat kanibalisme *T. castaneum* juga merupakan salah satu faktor yang dapat menekan tingkat pertumbuhan populasinya. Hal ini seperti yang dijelaskan oleh Haines (1991) bahwa pada umumnya *T. castaneum* jantan dapat memangsa pupa sedangkan betina memangsa telur. *T. castaneum* tumbuh pada suhu berkisar 22 °C – 40 °C dengan suhu optimum 35 °C dan kadar air lebih dari 12 %.

Tabel 1. Pengaruh perlakuan energi *microwave* terhadap mortalitas *T. castaneum* setelah penyimpanan 42 hari

| Perlakuan Energi (Kj) | Kontrol H ₀ | | | Mortalitas H+42 (ekor) | Persentase mortalitas (%) |
|--------------------------------|------------------------|------|-------|------------------------|---------------------------|
| | Hidup | Mati | Hidup | | |
| Mortalitas Sampel 50 g | | | | | |
| Kontrol Tanpa microwave (H+42) | 20 | 20 | 351 | | 100a |
| 23.76 (daya 264 watt x 90 s) | 20 | 20 | 0 | | 100a |
| 24.00 (daya 400 watt x 60 s) | 20 | 20 | 0 | | 100a |
| 31.68 (daya 264 watt x 120 s) | 20 | 20 | 0 | | 100a |
| 36.00 (daya 400 watt x 90 s) | 20 | 20 | 0 | | 100a |
| Mortalitas sampel 100 g | | | | | |
| Kontrol Tanpa microwave (H+42) | 20 | 0 | 706 | | 0b |
| 23.76 (daya 264 watt x 90 s) | 20 | 20 | 0 | | 100a |
| 24.00 (daya 400 watt x 60 s) | 20 | 20 | 0 | | 100a |
| 31.68 (daya 264 watt x 120 s) | 20 | 20 | 0 | | 100a |
| 36.00 (daya 400 watt x 90 s) | 20 | 20 | 0 | | 100a |

Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf uji 5% menurut uji Duncan

Mortalitas *T. castaneum* 100 % diperoleh pada perlakuan energi 23.76 kJ, 24.00 kJ, 31.68 kJ dan 36.00 kJ. Hasil uji anova menunjukkan bahwa besarnya energi berpengaruh signifikan terhadap mortalitas *T. castaneum*. Tercapainya mortalitas *T. castaneum* 100 % ini disebabkan oleh perubahan struktur komponen penyusun tubuh *T. castaneum* akibat perlakuan *microwave* yang menyebabkan ikatan protein penyusun tubuh *T. castaneum* tidak berfungsi dengan baik. Hal ini seperti yang dikemukakan oleh Lu *dkk.* (2010) bahwa radiasi *microwave* dengan intensitas rendah 1440 kJ/kg dan 2880 kJ/kg menyebabkan perubahan pola elektroforesis DNA dari *T. castaneum* akibat terjadinya agregasi DNA. Selain itu, paparan *microwave* juga menyebabkan komposisi asam amino dari *T. castaneum* berubah sehingga DNA serangga juga ikut berubah. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Gasemzadeh *dkk.* (2010) juga menyebutkan bahwa aplikasi *microwave* pada tingkat daya 100 watt yang dikombinasikan dengan penyimpanan dingin dengan waktu paparan 5 menit dan dilakukan secara terus menerus selama 48 dan 72 jam menunjukkan peningkatan mortalitas *T. castaneum*. Peningkatan ini disebabkan oleh perlakuan *microwave* yang memiliki efek

merusak komponen penyusun tubuh serangga sehingga menyebabkan pengurangan tingkat reproduksi, kehilangan berat badan dan malformasi.

Warna

Keberadaan *T. castaneum* dalam terigu dapat menyebabkan terjadinya perubahan warna selama penyimpanan. Hasil pengamatan warna terhadap terigu kontrol H_0 tanpa penyimpanan dan tanpa *T. castaneum* menunjukkan warna sebagai berikut: $L^* = 95.72$, $a^* = -0.48$, dan $b^* = 9.23$. Kecerahan warna terigu ini ($L^* = 95.72$) lebih tinggi daripada kecerahan terigu pada umumnya. Menurut Wheat Marketing Center Inc. (2004) menyatakan bahwa warna terigu yang khas adalah memiliki nilai $L^* = +92.5$, $a^* = -2.4$ dan $b^* = +6.9$.

Tabel 2 menunjukkan bahwa sampel kontrol H_{+42} yang telah diberi biakan *T. castaneum* tanpa perlakuan *microwave*, pada berat sampel 50 g memiliki kecerahan warna $L^* = 92.71$ sedangkan pada sampel 100 g yaitu $L^* = 92.32$. Tingkat kecerahan terigu yang semakin berkurang dipengaruhi oleh banyaknya jumlah cemaran populasi *T. castaneum* baik berupa sisa hasil sekresi yang mengandung senyawa benzokuinon maupun adanya sisa pergantian kulit dan sisa potongan-potongan tubuh *T. castaneum* yang terlepas. Hal ini seperti yang dikemukakan oleh Eden (1967) bahwa terigu yang telah diserang *Tribolium* sp. memiliki warna yang kotor akibat adanya pergantian kulit dari *T. castaneum* pada fase larva. Larva akan mengalami pergantian kulit sebanyak 6-11 kali, tidak jarang pula pergantian kulit ini hanya terjadi sebanyak 6-7 kali, menjelang terbentuknya pupa, larva akan muncul di permukaan material, tetapi setelah menjadi imago akan kembali masuk ke dalam material.

Tabel 2. Pengaruh perlakuan energi *microwave* terhadap warna terigu setelah penyimpanan 42 hari

| Perlakuan Energi (kJ) | Penyimpanan H ₊₄₂ | | |
|---|------------------------------|---------------|--------------|
| | L* | a* | b* |
| Kontrol tanpa <i>T. castaneum</i> dan <i>microwave</i> H ₀ | 95.88 ± 0.01a | -0.48 ± 0.01h | 9.27 ± 0.01b |
| Warna Sampel 50 g | | | |
| Kontrol Tanpa <i>microwave</i> (H ₊₄₂) | 92.71 ± 0.01h | 0.62 ± 0.01b | 8.14 ± 0.01f |
| 23.76 (daya 264 watt x 90 s) | 95.34 ± 0.01g | 0.28 ± 0.01d | 9.50 ± 0.01e |
| 24.00 (daya 400 watt x 60 s) | 95.44 ± 0.01f | 0.22 ± 0.02e | 9.57 ± 0.01d |
| 31.680 (daya 264 watt x 120 s) | 95.61 ± 0.01e | 0.20 ± 0.00ef | 9.62 ± 0.02c |
| 36.00 (daya 400 watt x 90 s) | 95.63 ± 0.01d | 0.13 ± 0.02g | 9.76 ± 0.02a |
| Warna Sampel 100 g | | | |
| Kontrol Tanpa <i>microwave</i> (H ₊₄₂) | 92.32 ± 0.01i | 0.80 ± 0.00a | 8.16 ± 0.01f |
| 23.76 (daya 264 watt x 90 s) | 95.66 ± 0.02c | 0.33 ± 0.01c | 9.58 ± 0.01d |
| 24.00 (daya 400 watt x 60 s) | 95.67 ± 0.01c | 0.23 ± 0.02e | 9.52 ± 0.01e |
| 31.68 (daya 264 watt x 120 s) | 95.71 ± 0.02b | 0.21 ± 0.01e | 9.62 ± 0.01c |
| 36.00 (daya 400 watt x 90 s) | 95.86 ± 0.01a | 0.18 ± 0.04f | 9.71 ± 0.01b |

Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf uji 5% menurut uji Duncan

Kecerahan warna pada sampel yang diberi perlakuan *microwave* dengan tingkatan energi 23.76 kJ, 24.00 kJ, 31.68 kJ dan 36.00 kJ menunjukkan nilai rata-rata L* sebesar 95.63 hingga 95.86. Penurunan warna L* pada perlakuan *microwave* jika dibandingkan dengan kontrol H₀ dipengaruhi oleh peningkatan granula pati pada terigu setelah diberi perlakuan *microwave* sehingga menyebabkan terjadinya penurunan luminositas (L*). Menurut Symons dan Dexter (1991) nilai L* tepung sangat terkait dengan pericarp, fluoresensi aleuron dan juga berhubungan dengan ukuran partikel. Hal yang sama juga diperoleh pada penelitian Hidalgo dkk. (2014) yang membandingkan 4 sampel tepung dari einkorn, kamut dan gandum durum dengan menggunakan alat Chromameter Minolta CR-210 dan Chromameter Minolta II Reflectan. Untuk semua sampel terjadi penurunan warna L*, hal ini disebabkan oleh terjadinya kenaikan ukuran granulometri sehingga menyebabkan penurunan luminositas (L*).

Hasil pengamatan warna a* pada sampel terigu kontrol H₀ menunjukkan warna hijau kromatisitas. Setelah penyimpanan 42 hari, sampel yang diberi perlakuan *microwave* maupun tanpa perlakuan *microwave* (kontrol H₊₄₂) mengalami perubahan warna dari hijau ke merah baik pada berat sampel 50 g maupun 100 g dengan warna a* berkisar 0.13 hingga 0.80. Pada

sampel kontrol H₀ dan sampel yang diberi perlakuan *microwave* warna b* berkisar 9.27 hingga 9.76. Namun, pada sampel kontrol H₊₄₂ terjadi perubahan warna b* menjadi 8.14 yang dapat dilihat pada Tabel 2. Menurut Symon dan Dexter (1991) peningkatan warna a* dan b* ini berhubungan dengan besarnya jumlah kadar air pada terigu yang dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban relatif lingkungan tempat penyimpanan. Selain itu, menurut Hidalgo dkk. (2014) bahwa warna a* berkorelasi terhadap kandungan protein pada terigu dan b* berkorelasi positif terhadap kadar abu. Perubahan warna a* setelah perlakuan *microwave* disebabkan oleh adanya reaksi antara gula pereduksi dengan gugus amin bebas dari asam amino atau protein sehingga pada saat perlakuan *microwave* terjadi reaksi maillard. Perubahan a* setelah penyimpanan 42 hari tanpa perlakuan *microwave* disebabkan oleh besarnya jumlah cemaran *T. castaneum* yang menghasilkan enzim lipase dan senyawa benzokuinon sehingga mempercepat perubahan kimiawi pada bahan (Sunjaya dan widayanti, 2006).

Indikator warna pada sampel 50 g dan 100 g yang diberi aplikasi *microwave* memiliki perbedaan nilai. Perbedaan nilai ini disebabkan oleh beberapa faktor yaitu besarnya volume, luas permukaan, dan sifat dielektrik bahan yang merupakan hal penting dan sangat berpengaruh terhadap besarnya penyerapan energi *microwave* pada saat bahan pangan dipanaskan sehingga pola pemanasan yang dihasilkan juga berbeda (Zhang dan Datta, 2001). Perbedaan nilai indikator warna pada sampel 50 g dan 100 g tanpa perlakuan aplikasi *microwave* dipengaruhi oleh perbedaan jumlah cemaran *T. castaneum* dan besarnya volume sampel sebagai sumber penyedia nutrisi bagi *T. castaneum* (Sunjaya dan widayanti, 2006).

Karakteristik Amilografi Terigu

Analisis viskometri dapat digunakan untuk membedakan sifat fungsional pati dari varietas yang berbeda atau lingkungan pertumbuhan yang berbeda Copeland dkk. (2009). Menurut Lewicka dkk. (2015) pengolahan dengan *microwave* mampu mengubah sifat fisiko-

kimia pati terutama menurunkan viskositas. Perubahan ini mempengaruhi mekanisme gelasi dan sifat reologi dari pati. Selain itu juga menyebabkan perubahan dalam struktur butir dan bentuk molekul kristal pati. Perubahan sifat fisikokimia pati dalam terigu pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Awalnya terigu kontrol H_0 memiliki viskositas puncak (*peak viscosity*) tertinggi yaitu 2543 cP. Terigu kontrol yang diberi biakan *T. castaneum* tetapi tanpa perlakuan *microwave*, setelah penyimpanan 42 hari (H_{+42}) mempunyai viskositas puncak lebih rendah yaitu 2033 cP dan 2155 cP masing-masing pada berat sampel 50 g dan 100 g. Penurunan viskositas puncak juga terjadi pada perlakuan *microwave*. Besarnya energi yang diberikan mempengaruhi viskositas puncak terigu baik pada sampel 50 g maupun 100 g. Perbedaan viskositas puncak antara sampel 50 g dan 100 g pada perlakuan aplikasi *microwave* maupun tanpa aplikasi *microwave* dipengaruhi oleh perbedaan besarnya volume sampel dan kadar air pada terigu. Penurunan viskositas puncak setelah perlakuan *microwave* yaitu sebesar 2496 cP hingga 2185 cP pada sampel 50 g dan 2440 cP hingga 2174 cP pada sampel 100 g. Hal ini disebabkan oleh rusaknya struktur gluten akibat perlakuan pemanasan dengan *microwave*.

Pemanasan *microwave* memanfaatkan material dielektrik pada bahan yang berupa air, lemak, dan gula. Kerusakan struktur protein, gluten dan lemak setelah perlakuan *microwave* mempengaruhi sifat rheologi tepung sehingga mempengaruhi viskositas puncak. Hal ini juga sejalan dengan penelitian Mohamed dkk. (2004) yang menyebutkan bahwa kerusakan panas dapat menyebabkan protein menjadi tidak larut dengan cara agegasi.

Penurunan nilai *breakdown* viskositas terjadi pada perlakuan setelah penyimpanan 42 hari (H_{+42}) baik pada berat sampel 50 gr dan 100 gr yaitu 1036 cP dan 1158 cP. Hal ini juga terjadi pada sampel yang diberi perlakuan *microwave* dengan tingkat energi berbeda yaitu berkisar antara 952 cP hingga 1207 cP pada berat sampel 50 gr dan 1014 cP hingga 1229 cP pada sampel 100 gr. Hasil pengamatan sampel terigu yang diberi perlakuan *microwave* dan

tanpa perlakuan *microwave* setelah penyimpanan 42 hari (H_{+42}) menunjukkan kecenderungan kurang stabil terhadap proses pemanasan. Kestabilan pasta pati selama pengolahan baik pada suhu tinggi maupun rendah ditunjukkan dengan nilai viskositas *breakdown* dan *setback*-nya (Maulani *et al.* 2012).

Setback yang rendah pada perlakuan *microwave* dan tanpa perlakuan *microwave* selama penyimpanan 42 hari (H_{+42}) baik pada berat sampel 50 gr dan 100 gr yaitu berkisar 1171 cP hingga 1384 cP jika dibandingkan dengan kontrol (H_0) yaitu 1470 cP. Peningkatan nilai *setback* yang cukup besar ditunjukkan pada sampel tanpa perlakuan *microwave* setelah penyimpanan 42 hari (H_{+42}) yaitu 1684 cP. Hal ini dipengaruhi oleh besarnya jumlah cemaran *T. castaneum* yang terdapat pada terigu sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan kandungan lemak akibat proses metabolisme *T. castaneum*. Menurut Goesert dkk. (2005) sifat-sifat gluten tergantung pada pengikatan komponen lipid dari tepung dimana secara tidak langsung lemak dan protein dapat menghambat proses retrogradasi. Tingginya nilai viskositas *setback* ini menunjukkan pati cenderung lebih mudah mengalami retrogradasi, sehingga semakin tinggi kecenderungan membentuk gel selama pendinginan (Agustin 2011).

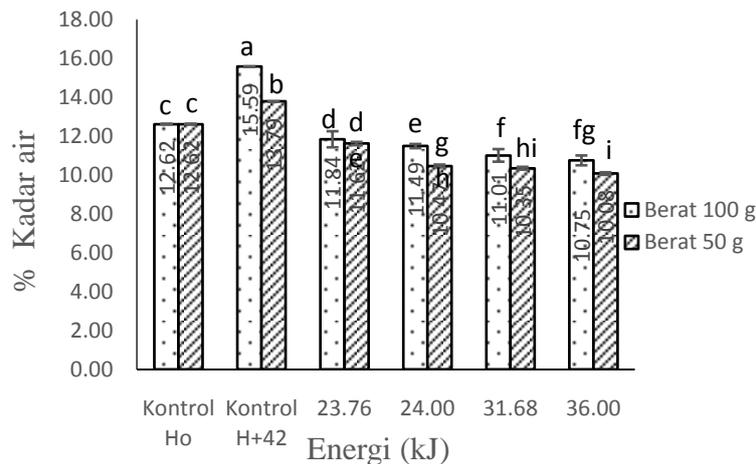
Tabel 3. Amilografi terigu dengan perlakuan *microwave* pada berat sampel 50 g dan 100 g setelah penyimpanan 42 hari

| Perlakuan <i>microwave</i> (Kj) | Peak 1 | Trough 1 | Break down | Final Visc | Setback | Peak Time | Pasting Temp |
|--|--------|----------|------------|------------|---------|-----------|--------------|
| Kontrol tanpa <i>T. castaneum</i> dan <i>microwave</i> H_0 | 2543 | 1291 | 1252 | 2761 | 1470 | 9.07 | 84.45 |
| Mortalitas Sampel 50 g | | | | | | | |
| Kontrol Tanpa <i>microwave</i> (H_{+42}) | 2033 | 1081 | 952 | 2252 | 1171 | 9.27 | 84.85 |
| 23.76 (daya 264 watt x 90 s) | 2174 | 1186 | 1036 | 2473 | 1335 | 9.15 | 85.20 |
| 24.00 (daya 400 watt x 60 s) | 2296 | 1227 | 1075 | 2465 | 1244 | 8.98 | 84.07 |
| 31.68 (daya 264 watt x 120 s) | 2348 | 1243 | 1114 | 2545 | 1311 | 9.11 | 84.25 |
| 36.00 (daya 400 watt x 90 s) | 2440 | 1233 | 1207 | 2574 | 1341 | 9.07 | 83.40 |
| Mortalitas Sampel 100 g | | | | | | | |
| Kontrol Tanpa <i>microwave</i> (H_{+42}) | 2155 | 997 | 1158 | 2681 | 1684 | 9.4 | 88.2 |
| 23.76 (daya 264 watt x 90 s) | 2185 | 1230 | 1014 | 2413 | 1243 | 9.05 | 84.52 |
| 24.00 (daya 400 watt x 60 s) | 2344 | 1235 | 1142 | 2491 | 1289 | 9.11 | 84.23 |
| 31.68 (daya 264 watt x 120 s) | 2417 | 1237 | 1129 | 2591 | 1302 | 8.98 | 83.43 |
| 36.00 (daya 400 watt x 90 s) | 2496 | 1267 | 1229 | 2651 | 1384 | 9.45 | 84.65 |

Kadar Air Terigu

Kadar air merupakan salah satu parameter utama dalam standar mutu tepung terigu. Persyaratan kadar air (% b/b) tepung terigu menurut SNI 3751:2009 yaitu maksimal 14.5%. Penyimpanan terigu dengan kadar air yang tinggi dapat menyebabkan tumbuhnya cendawan, mikroba, dan terjadinya serangan *T. castaneum* terutama apabila suhu lingkungan dan kelembaban (RH) tempat penyimpanan sesuai dengan suhu optimum pertumbuhannya. Pemanasan dengan *microwave* mempunyai efek menurunkan jumlah kadar air secara signifikan dalam waktu yang singkat sehingga dapat memperpanjang umur simpan.

Terjadinya peningkatan kadar air pada perlakuan kontrol H_{+42} dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban relatif (RH) lingkungan. Gambar 1 menunjukkan adanya kecenderungan penurunan kadar air setelah diberi perlakuan *microwave*. Semakin besar energi yang diberikan maka kehilangan kadar air juga semakin besar. Sampel kontrol H_0 yang tanpa diberi perlakuan *microwave* dan *T. castaneum* memiliki kadar air sebesar 12.62%. Sampel H_{+42} yang telah diberi biakan *T. castaneum* baik pada berat sampel 100 g maupun 50 g tanpa perlakuan *microwave*, menunjukkan terjadinya peningkatan kadar air jika dibandingkan dengan hari kontrol yaitu 15.59% dan 13.79%. Hal ini juga dilaporkan pada penelitian Okky dkk. (2014), bahwa kadar air beras yang disimpan selama 1, 2, dan 3 bulan tidak berbeda nyata, namun berbeda nyata dengan sebelum penyimpanan. Kadar air beras pada awal penyimpanan yaitu sekitar 13%, sedangkan setelah penyimpanan kadar air beras meningkat sekitar 14%. Peningkatan kadar air ini dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti suhu dan kelembaban relatif tempat penyimpanan. Menurut Cotton dan Wilbur (1974) adanya aktifitas respirasi dari *T. castaneum* yang mengeluarkan panas, CO_2 dan uap air juga dapat menyebabkan suhu di bawah tumpukan tepung meningkat (area hotspot) sehingga timbul uap air akibat proses metabolisme *T. castaneum* yang terinfeksi dalam jumlah yang sangat besar. Uap air kemudian akan berkondensasi pada permukaan bahan sehingga kadar air meningkat.



Gambar 1. Kadar air terigu pada berbagai tingkatan energi dan berat sampel. Histogram dengan bentuk yang sama dan diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut Uji Duncan pada taraf uji 5%.

Hasil anova menunjukkan bahwa perlakuan energi, berat sampel dan interaksi antara energi dan berat sampel berpengaruh nyata pada taraf uji 5%. Penurunan kadar air tertinggi terjadi pada perlakuan energi 36.00 kJ baik pada berat sampel 50 g maupun 100 g dengan kadar air 10.08 % dan 10.75 %. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar energi yang diberikan maka kehilangan kadar air juga semakin besar. Penggunaan *microwave* sangat efektif menurunkan kadar air dalam waktu yang singkat. Hal ini seperti yang dikemukakan oleh Resurreccion dkk. (2015) bahwa frekuensi *microwave* yang berkisar antara 900 MHz ke 920 MHz tidak mempengaruhi pola pemanasan dalam makanan. Tapi tingginya frekuensi yang sesuai dengan besarnya energi *microwave* dapat memproduksi laju pemanasan yang lebih tinggi sehingga meningkatkan suhu akhir dari makanan. Peningkatan suhu mengakibatkan terjadinya kehilangan air karena energi *microwave* menyerap air sehingga mengurangi jumlah energi yang dapat diserap oleh makanan.

Penurunan kadar air ini dipengaruhi oleh adanya aktifitas medan listrik, medan elektromagnetik, besarnya energi, volume sampel dan luas permukaan. Aktifitas medan listrik dan medan elektromagnetik menggerakkan molekul air dengan cepat sehingga menciptakan panas. Semakin besar energi yang diserap maka semakin besar kenaikan suhu pada

permukaan terigu. Peningkatan suhu pada bahan menyebabkan tekanan uap air semakin meningkat sehingga mengakibatkan hilangnya sebagian air yang ada pada tepung (Zhang dan Datta, 2011).

KESIMPULAN

Aplikasi *microwave* untuk disinfestasi *T. castaneum* pada terigupaling efektif diperoleh pada perlakuan energi 23.76 kJ. Perlakuan energi *microwave* sebesar 23.76 kJ, 24.00 kJ, 31.68 kJ, 36.00 kJ baik pada sampel 50 g maupun 100 g, memberikan pengaruh mortalitas *T. castaneum* 100%. Karakteristik amilografi terigu berubah yaitu umumnya pada setiap tingkatan energi dan berat sampel. Viskositas puncak turun dari 2543 cP (mPa.s) pada kontrol H₀. Perlakuan energi 23.76 kJ memberikan penurunan viskositas puncak yang signifikan. Tingkat kecerahan warna terigu tertinggi setelah masa penyimpanan 42 hari diperoleh pada energi 36.00 kJ. Penurunan kadar air tertinggi diperoleh pada perlakuan *microwave* dengan energi 36.00 kJ baik pada sampel 50 g dan 100 g yaitu sekitar 10 %. Sampel 50 g lebih tepat digunakan dalam disinfestasi *T. castaneum*.

DAFTAR PUSTAKA

- APTINDO.(2014). Overview industri tepung terigu nasional Indonesia. <http://www.aptingdo.or.id>. [23 Februari 2015].
- Agustin, Sukmiyati. 2001. Efek polisakarida non pati terhadap karakteristik gelatinisasi tepung sukun. *Jurnal Teknologi Pertanian*,**7**(1):28-35.
- AACC. (2009). *AACC International Approved Methods of Analysis (Method 32-40, 61 02.01), 11th edn*, AACC International, St. Paul MN.
- Abdelsamad R. M. E., Elhag E.A., dan Eltayeb Y.M. (1987). Studies of the phenology of *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) in the Sudan Gezira. *Journal Stored Product* **24**(2):101-105.
- BSN. (2006). Tepung Terigu sebagai Bahan Makanan. SNI 01-3751-2006. <http://sisni.bsn.go.id>. [7 Februari 2015].

- BARANTAN. (2013). *Standar Teknis Perlakuan Fumigasi Fosfin Formulasi Cair (Liquid Phosphine)*. Lampiran Keputusan Kepala Badan Karantina Pertanian Nomor: 1645/Kpts/KT.240/L/05/2013.
- Copeland L., Blazek J., Salman H., dan Tang M. C. (2009). Form and functionality of starch. *Food Hydrocolloids* 23: 1527–1534.
- Copson D.A. (1975). *Microwave Heating*. The AVI Publ. Co., Inc. Westport, Connecticut.
- Cotton R. T., dan Wilbur D.A. (1974). *Stored of Cereal Grains and Their Product*. American Association of Cereal Chemist, Inc. St. Paul, Minnesota.
- Das I., Girish K., dan Narendra G. S. (2013). Microwave heating as an alternative quarantine method for disinfestation of stored food gains. *International Journal of Food Science*. Article ID 926468, 13 pages.
- El-Naggar S. M., dan Mikhael A. A. (2011). Disinfestation of stored wheat gain and flour using gamma rays and microwave heating. *Journal of Stored Products Research* 47:191-196.
- Eden W.G. (1967). *Insects and Arachnids of Tropical Stored Product; Their Biology and Identification*. US Department of Agriculture.
- Gasemzadeh S, Ali A. P., Mohammad H. S., dan Mustafa M. (2010). effect of microwave radiation and cold storage on *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) and *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Plant Protection Research* Vol. 50, No. 2.
- Gaurav S. (2003). *Digital Color Imaging Handbook*. CRC Press. ISBN 084930900X.
- Goesaert H, Brijs K, Veraverbeke W. S, Courtin C. M, Gebruers K., dan Delcour J. A. (2005). Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science and Technology* 16: 12-30.
- Hidalgo A., Fongaro L., and Brandolini A. 2014. Wheat flour granulometry determines colour perception. *Food Research International* 64: 363–370.
- Hussain S, Anjum FM, Butt MS, Sheikh MA (2008) Chemical composition and functional properties of flax-seed (*Linum usitatissimum*) flour. *Sarhad J Agric* 24(4): 649-653.
- Haines C. P. (1991). *Insects and Arachnids of Tropical Stored Products: Their Biology and Identification (A Training Manual) Second Edition*. United Kingdom: The Natural Resources Institute (NRI).
- Kaasova J., Kadlec P., Bubnik Z., Hubackova B., dan Prihoda J. (2002). Chemical and biochemical changes during microwave treatment of wheat. *Czech J. Food Sci.*, 20: 74–78

- Lewicka K., Siemion P., dan Kurcok P. (2015). Chemical modifications of starch: microwave effect. *International Journal of Polymer Science* Volume 2015, Article ID 867697, 10 pages.
- Lis L. B., Bakula T., Baranowski M., dan Czarnewicz A. (2011). The carcinogenic effects of benzokuinon produced by the flour beetle. *Polish Journal of Veterinary Sciences* Vol. **14**, No. 1: 159-164.
- Lu H., Zhou J., Xiong S., dan Zhao S. (2010). Effects of low-intensity microwave radiation on *tribolium castaneum* physiological and biochemical characteristics and survival. *Journal of Insect Physiology*, **56**: 1356.
- Maulani R.H., Fardiaz D., Kusnandar F., Sunarti T.C. (2012). Sifat Fungsional Pati Garut Hasil Hidroksipropilasi dan Taut Silang. *J. Teknol. dan Industri Pangan*. **2(1)**:60-67. ISSN : 1979-7788.
- Nurbianto R. (2008). *Pengaruh Perlakuan Oven Gelombang pada Berbagai Tingkatan Daya dan Waktu terhadap Mortalitas Tribolium castaneum herbst dan Kandungan Tepung Tapioka* [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Okky S. D., Halid H, dan Sunjaya (2014). Serangan *Tribolium castaneum* pada beras di penyimpanan dan pengaruhnya terhadap serangan cendawan dan susut bobot. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. ISSN: 0215-7950. Volume **10**, Nomor 4 Halaman 126–132.
- Prendeville H. R., dan Stevens L. (2002). Microbe inhibition by *Tribolium* flour beetles varies with beetle species, strain, sex, and microbial group. *Journal Chem Ecol*. **28(6)**:1183–1190.
- Resurreccion J. F. P., Luan D., Tang J., Liu F., Tang Z., Pedrow P.D., dan Cavalieri R. (2015). Effect of changes in microwave frequency on heating patterns of foods in a microwave assisted thermal sterilization system. *Journal of Food Engineering* **150**: 99–105.
- Symons S. J., dan Dexter J. E. (1991). Computer analysis of fluorescence for the measurement of flour refinement as determined by flour ash content, flour grade color, and tristimulus color measurements. *Cereal Chemistry*, **68**, 454–460.
- USDA. (2006). Beetle wrangling tips (an introduction to the care and handling of *Tribolium castaneum*). <http://bru.gmprc.ksu.edu> [23 Februari 2015].
- Vadivambal R., Jayas D. S., dan White N. D. G. (2007). Wheat disinfestation using microwave energy. *Journal of Stored Products Research* **43**:508–514.
- Wheat Marketing Center, Inc. (2004). *Wheat and Flour Testing Methods. A Guide to Understanding Wheat and Flour Quality*. Hlm 19. Portland, Oregon. USA.
- Zhang H, dan Datta AK. (2001). *Electromagnetics of Microwave Heating: Magnitude and Uniformity of Energy Absorption in an Oven*. Di dalam: Datta AK, Anatheswaran RC, editor. *Handbook of Microwave Technology for Food Application*. hlm 33-68. New York (US): Marcel Dekker.

