

**FILM EDIBEL BERBASIS ISOLAT PROTEIN KEDELAI
DENGAN PENAMBAHAN EKSTRAK KUNYIT
DAN NANOPARTIKEL ZnO SERTA APLIKASINYA
SEBAGAI PELAPIS PADA PRODUK TAHU**

IMAWATI EKA PUTRI



**SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2018**

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis berjudul Film Edibel Berbasis Isolat Protein Kedelai dengan Penambahan Ekstrak Kunyit dan Nanopartikel ZnO serta Aplikasinya sebagai Pelapis pada Produk Tahu adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juni 2018

Imawati Eka Putri
NRP F251150201

RINGKASAN

IMAWATI EKA PUTRI. Film Edibel Berbasis Isolat Protein Kedelai dengan Penambahan Ekstrak Kunyit dan Nanopartikel ZnO serta Aplikasinya sebagai Pelapis pada Produk Tahu. Dibimbing oleh NUGRAHA EDHI SUYATMA, dan HARSI DEWANTARI KUSUMANINGRUM.

Produk tahu termasuk ke dalam golongan pangan mudah rusak yang memiliki daya simpan 1 hari saja pada suhu kamar. Pendeknya umur simpan tahu ini menjadi permasalahan utama bagi produsen dan penjual tahu sehingga penggunaan bahan kimia berbahaya sering dijadikan sebagai pengawet pada tahu guna memperpanjang umur simpannya. Penggunaan bahan kimia berbahaya seperti formalin berpotensi membahayakan kesehatan. Masalah kesehatan yang dapat ditimbulkan dari penggunaan bahan kimia berbahaya tersebut menjadi urgensi dan mendorong peneliti untuk mengembangkan alternatif kemasan edibel yang aman untuk diaplikasikan pada produk tahu.

Kemasan edibel dapat berupa film dan pelapis edibel yang dapat diformulasikan dari berbagai material, salah satunya adalah protein. Protein yang berasal dari kedelai dapat digunakan sebagai pembentuk film yang memiliki sifat *barrier* terhadap uap air, gas dan lemak, serta memiliki sifat fisik dan mekanik yang lebih baik dari polisakarida. Penambahan bahan pengisi yang memiliki sifat antimikroba ke dalam film berbasis protein dapat meningkatkan sifat fungsionalnya sebagai kemasan antimikroba. Alternatif bahan pengisi yang dapat digunakan dalam pembuatan film edibel adalah nanopartikel seng oksida (NP-ZnO) dan ekstrak kunyit yang memiliki kemampuan menghambat pertumbuhan mikroorganisme.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengkarakterisasi film edibel berbasis isolat protein kedelai (IPK) dengan penambahan nanopartikel ZnO (NP-ZnO) dan ekstrak kunyit berdasarkan parameter fisik, mekanis, dan mikrobiologinya serta mengkaji pengaruh aplikasi pelapis edibel berbasis IPK tersebut terhadap mutu produk tahu selama penyimpanan. Percobaan dilakukan menggunakan rancangan acak faktorial (2 faktor) yaitu kombinasi konsentrasi NP-ZnO dengan taraf 0%, 1%, dan 2.5% (b/b) serta konsentrasi ekstrak kunyit dengan taraf 0% dan 2.5% (b/b).

Pembuatan film pada penelitian ini dilakukan dengan melarutkan 5 gram IPK ke dalam 100 mL aquades kemudian ditambahkan NP-ZnO (0%, 1%, dan 2,5% b/b IPK) serta ekstrak kunyit (0% dan 2,5% b/b IPK). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan NP-ZnO dengan konsentrasi 1%, dan 2.5% (b/b) serta penambahan ekstrak kunyit dengan konsentrasi 2.5% (b/b) dapat memperbaiki karakteristik fisik dan mekanis film berbasis IPK. Film edibel dengan formula NP-ZnO 2.5% (b/b) tanpa penambahan ekstrak kunyit mampu menghambat pertumbuhan *E.coli* dengan diameter zona hambat yang terbentuk sebesar 4.29 ± 0.06 mm.

Aplikasi larutan film edibel pada produk tahu dengan metode pencelupan mampu menghasilkan struktur permukaan tahu yang kompak. Berdasarkan analisis menggunakan SEM, keberadaan NP-ZnO dan ekstrak kunyit tidak terlihat jelas, namun pelapis edibel mampu menyelimuti permukaan tahu dengan baik. Penambahan NP-ZnO dengan konsentrasi 1% dan 2.5% (b/b) serta ekstrak kunyit

dengan konsentrasi 2.5% (b/b) berpengaruh terhadap tekstur tahu. Penurunan jumlah mikroba tertinggi terjadi pada penyimpanan tahu di hari ke-0 pada jam ke-3 yaitu dari 6 log cfu/g menjadi 5.51 log cfu/g, sementara seluruh sampel tahu mengalami penurunan mutu pada penyimpanan hari ke-2 dimana total mikroba telah melewati ambang batas cemaran mikroba pada tahu dan tekstur tahu menjadi lembek dan berair. Formula terbaik yang diperoleh adalah Z2C0 yaitu pelapis edibel berbasis IPK dengan konsentrasi NP-ZnO sebesar 2.5% (b/b) tanpa penambahan ekstrak kunyit.

Kata kunci: ekstrak kunyit, film edibel, isolat protein kedelai, nanopartikel ZnO, tahu

SUMMARY

IMAWATI EKA PUTRI. Edible Film Based on Soy Protein Isolate with Addition of Turmeric Extract and ZnO Nanoparticles and Its Application as A Coating on Tofu Products. Supervised by NUGRAHA EDHI SUYATMA and HARSI DEWANTARI KUSUMANINGRUM.

Tofu is one of the perishable foods which has only one day of shelf life at room temperature. The short shelf life of tofu is the major problem for both producers and sellers, then a harmful chemical is often used as an illegal preservative in tofu to extend shelf life. Harmful chemical such as formalin potentially makes a health problems. This issue becomes an urgency and encourage researchers to develop a safe alternatives that can be applied to tofu products.

Edible packaging can be a films and or coatings that are formulated from various materials, such as protein. Edible film made from soy isolate protein (SPI) contains most of the hydrophobic amino acids and capable of being a barrier against water vapor, gases, fats, and also have a better physical-mechanical properties than polysaccharides. The addition of antimicrobial fillers to the protein based coating will offer possibility to be used as antimicrobial packaging. The fillers commonly used are zinc oxide (ZnO) in nanoparticles size and turmeric extracts that have an ability to inhibit the growth of microorganism.

The aims of this research were to characterize edible film based on SPI with the addition of ZnO nanoparticles (ZnO-NPs) and turmeric extract in physical, mechanical properties, and microbiological parameters and also to study the effect of these edible coating application on tofu products during storage. The experimental design was used completely randomized design with two factors, namely ZnO-NPs with concentration at the level are 0%, 1%, and 2.5% and turmeric extract with concentration at the level are 0%, and 2.5%.

Edible films was prepared by dissolving 5 grams of SPI into 100 mL of distilled water and followed by the addition of ZnO-NPs (0%, 1%, and 2.5% by the weight of SPI) and or, added with turmeric extract (0% and 2.5% by the weight of SPI). The results showed that the addition of ZnO-NPs with concentrations of 1% and 2.5% (w/w) and turmeric extract with concentration 2.5% (w/w) could improve the physical and mechanical characteristics of SPI-based film. The film with ZnO-NPs 2.5% (w/w) without turmeric extract were able to inhibit *E. coli* growth with inhibition zone diameters of 4.29 ± 0.06 mm.

Its application on tofu products in depping method were able to make a compact surface structure. The presence of ZnO-NPs and turmeric extract by using SEM was not observed clearly but edible coating covered the tofu surface well. The largest reduction of microbial count occurred in the storage of tofu at 0 day in 3 hours storage from 6 log cfu/g to 5.51 log cfu/g, while all tofu samples had decreased quality at the second day of storage, where microbial counts had passed the threshold of microbial contamination on tofu and the textured of tofu had become mushy and watery. The best formula obtained is Z2C0 which is edible coating based in SPI with NP-ZnO concentration of 2.5% (w/w) without the addition of turmeric extract.

Key word: edible film, soy protein isolate, tofu, turmeric extract, ZnO nanoparticles

© Hak Cipta Milik IPB, Tahun 2018
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah; dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB

**FILM EDIBEL BERBASIS ISOLAT PROTEIN KEDELAI
DENGAN PENAMBAHAN EKSTRAK KUNYIT
DAN NANOPARTIKEL ZnO SERTA APLIKASINYA
SEBAGAI PELAPIS PADA PRODUK TAHU**

IMAWATI EKA PUTRI

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Sains
pada
Program Studi Ilmu Pangan

**SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2018**

Penguji luar komisi pada ujian tesis: Dr Didah Nur Faridah, STP, MSi

Judul Penelitian :Film Edible Berbasis Isolat Protein Kedelai dengan Penambahan Ekstrak Kunyit dan Nanopartikel ZnO serta Aplikasinya Sebagai Pelapis pada Produk Tahu
Nama : Imawati Eka Putri
NIM : F251150201

Disetujui oleh
Komisi Pembimbing

Dr Nugraha Edhi Suyatma, STP, DEA
Ketua

Prof Dr Ir Harsi D. Kusumaningrum
Anggota

Diketahui oleh

Ketua Program Studi Ilmu Pangan

Dekan Sekolah Pascasarjana

Prof Dr Ir Harsi D. Kusumaningrum

Prof Dr Ir Anas Miftah Fauzi, MEng

Tanggal ujian: 27 April 2018

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya karya ilmiah dengan judul “Film Edibel Berbasis Isolat Protein Kedelai dengan Penambahan Ekstrak Kunyit dan Nanopartikel ZnO serta Aplikasinya Sebagai Pelapis pada produk Tahu” berhasil diselesaikan. Penelitian telah dilaksanakan sejak bulan Desember 2016 hingga September 2017.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Dr Nugraha Edhi Suyatma, STP, DEA dan Prof Dr Ir Harsi Dewantari Kusumaningrum selaku pembimbing yang telah banyak memberikan ilmu, arahan, dan saran yang membangun sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik. Kepada penguji sidang tesis, Dr Didah Nur Faridah, STP, MSi terima kasih telah membantu penulis dalam menyelesaikan studi sehingga akhirnya penulis mendapatkan gelar magister sains.

Terima kasih kepada para staf Laboratorium Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan IPB yang telah membantu penulis dalam melaksanakan penelitian ini. Ungkapan terimakasih sebesar-besarnya tak lupa penulis sampaikan kepada ayah, ibu, adik-adik serta seluruh keluarga yang senantiasa memberikan dukungan baik moril maupun materi serta selalu melimpahkan kasih sayang dan cintanya kepada penulis. Kepada rekan-rekan sesama pengguna Laboratorium Rekayasa Proses Pangan, Novan, Rozi, dan Anis yang selalu meluangkan waktunya untuk mengajari dan membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian. Kepada sahabat-sahabat Ilmu Pangan 2015; Mba Cucu, Faizah, Yaya, Yeni, Winda, Cindy, Danu, Aji, Adit, Hanif, Reza, Fathma dan teman-teman seperjuangan lainnya yang telah membantu dan mendukung penulis hingga dapat mencapai tahap ini. Terimakasih tak terhingga penulis sampaikan kepada Sismanto, S.Gz yang selalu percaya bahwa penulis mampu menyelesaikan studi ini dan tak pernah lelah mendengarkan keluh kesah serta mendukung penulis dalam menjalani masa kuliah hingga penulis dapat menyelesaikan studi magister ini dengan baik.

Akhir kata, penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tesis ini. Semoga karya ilmiah ini bermanfaat.

Bogor, Juni 2018

Imawati Eka Putri

DAFTAR ISI

| | |
|---|----|
| DAFTAR TABEL | iv |
| DAFTAR GAMBAR | iv |
| DAFTAR LAMPIRAN | iv |
| PENDAHULUAN | 1 |
| Latar belakang | 1 |
| Perumusan masalah | 2 |
| Tujuan penelitian | 2 |
| Hipotesis | 3 |
| Manfaat Penelitian | 3 |
| TINJAUAN PUSTAKA | 3 |
| Tahu | 3 |
| Film Edibel | 5 |
| Isolat Protein Kedelai | 6 |
| Nanopartikel Seng Oksida (ZnO) | 7 |
| Kunyit (<i>Curcuma longa</i>) | 10 |
| METODE PENELITIAN | 12 |
| Tempat dan Waktu | 12 |
| Bahan dan Alat | 12 |
| Tahapan Penelitian | 12 |
| Prosedur Analisis | 15 |
| HASIL DAN PEMBAHASAN | 19 |
| Karakteristik Ekstrak Kunyit | 19 |
| Karakteristik Film Edibel | 20 |
| Karakteristik Fisik Film Edibel | 20 |
| Karakteristik Mekanis Film Edibel | 21 |
| Aktivitas Antimikroba | 23 |
| Aplikasi Pelapis Edibel Berbasis IPK dengan NP-ZnO dan Ekstrak Kunyit pada Tahu | 25 |
| Struktur Morfologi Tahu | 25 |
| Kadar air | 25 |
| Profil Tekstur Tahu | 26 |
| Umur Simpan Tahu | 27 |
| SIMPULAN DAN SARAN | 30 |
| Simpulan | 30 |
| Saran | 30 |
| DAFTAR PUSTAKA | 30 |
| LAMPIRAN | 37 |
| RIWAYAT HIDUP | 50 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| 1 Hasil penelitian pelapis berbasis IPK pada produk pangan | 7 |
| 2 Penelitian pembuatan pelapis edibel dengan penambahan NP-ZnO | 9 |
| 3 Penelitian pelapis edibel dengan ekstrak kunyit | 11 |
| 4 Formulasi nanopartikel ZnO dan ekstrak kunyit pada film edibel berbasis IPK | 14 |
| 5 Karakteristik fisik film edibel berbasis IPK | 20 |
| 6 Aktivitas antimikroba larutan edibel | 24 |
| 7 Hasil pengukuran tekstur tahu | 27 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| 1 Skema pembuatan tahu | 4 |
| 2 Transfer yang dapat di kontrol oleh kemasan edibel | 5 |
| 3 Ilustrasi beberapa mekanisme aktivitas antimikroba NP-ZnO | 8 |
| 4 Diagram Alir penelitian secara umum | 13 |
| 5 Skema tahapan pembuatan film dan pelapis edibel | 15 |
| 6 Zona hambat ekstrak kunyit 100% terhadap <i>E.coli</i> dan <i>B.cereus</i> | 19 |
| 7 Film edibel berbasis IPK dengan NP-ZnO dan ekstrak kunyit | 21 |
| 8 Karakteristik mekanis edibel film | 22 |
| 9 Morfologi tahu | 25 |
| 10 Kadar air tahu | 25 |
| 11 Total mikroba tahu selama penyimpanan suhu ruang (27°C) | 28 |
| 12 Ilustrasi penghambatan pelapis edibel terhadap kontaminan | 29 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|----|
| 1 Analisis statistik tebal film edibel | 38 |
| 2 Analisis statistik WVTR film edibel | 39 |
| 3 Analisis statistik warna film edibel | 40 |
| 4 Analisis statistik kuat tarik film edibel | 41 |
| 5 Analisis statistik elongasi film edibel film | 42 |
| 6 Analisis statistik aktivitas antimikroba edibel film | 43 |
| 7 Analisis statistik kadar air pada produk tahu | 44 |
| 8 Analisis statistik tekstur pada produk tahu | 45 |
| 9 Analisis statistik umur simpan produk tahu | 47 |

1 PENDAHULUAN

Latar Belakang

Produk tahu merupakan salah satu produk pangan yang banyak dijumpai di pasar dan banyak diminati masyarakat. Badan Pusat Statistik Indonesia (2014) melaporkan bahwa tingkat rata-rata konsumsi tahu masyarakat Indonesia sebesar 7.1 kg/kapita/tahun. Angka ini cukup tinggi dibandingkan dengan tingkat konsumsi tempe yang hanya 6.9 kg/kapita/tahun. Tahu pada umumnya hanya mampu bertahan satu sampai dua hari saja pada suhu ruang. Umur simpannya yang pendek menyebabkan banyak produsen menggunakan bahan kimia berbahaya seperti formalin untuk mengawetkan tahu guna meningkatkan keuntungan dan memenuhi permintaan pasar. Hal ini dibuktikan dengan ditemukannya formalin pada pabik tahu di daerah Cipayung, Jakarta Timur (Kahfi 2017). Data dari BPOM (2006) menyebutkan bahwa penjualan tahu dan beberapa produk pangan di 17 kota besar di Indonesia masih terbukti mengandung formalin yang dapat menyebabkan masalah kesehatan. Beberapa metode telah dikembangkan untuk mengatasi hal tersebut termasuk untuk memperpanjang umur simpan tahu, diantaranya dengan penyimpanan pada suhu dingin dan pelapisan.

Krochta dan Johnston (1997) menyebutkan bahwa film edibel banyak digunakan sebagai pelapis pada berbagai produk pangan seperti produk pangan semi basah, buah-buahan, sayur, produk hasil laut, dan pelapis kapsul (obat-obatan). Kelebihan film edibel adalah dapat langsung dikonsumsi bersama produk dan mampu menjaga permukaan produk dari kontaminasi sehingga dapat menekan penurunan mutu. Bahan dasar film edibel dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu polisakarida, protein, dan lipida (Krochta dan Johnston 1997). Pada umumnya polisakarida sering digunakan sebagai bahan dasar pembuatan film edibel karena memiliki kemampuan sebagai penghalang O₂ dan CO₂ yang baik, namun lemah terhadap ketahanan transfer uap air karena bersifat hidrofilik (suka air) (Cazon *et al.* 2016). Penggunaan protein sebagai bahan dasar film edibel dipilih karena mengandung sebagian besar asam amino non polar seperti leusin, isoleusin, dan valin yang cenderung bersifat hidrofilik sehingga mampu menahan uap air, mampu menjadi penghalang terhadap gas dan lemak, serta memiliki sifat fisik mekanik lebih baik dari polisakarida (Hasdar *et al.* 2011; Wan *et al.* 2005; Shon dan Choi 2011).

Ghidelli *et al.* (2014) serta Yousuf dan Srivastava (2016) membuktikan bahwa penggunaan isolat protein kedelai (IPK) sebagai bahan dasar film edibel efektif untuk menghambat laju respirasi dan memperpanjang umur simpan terong dan melon potong. Sementara itu, Guerrero *et al.* (2015) melakukan penelitian yang menunjukkan bahwa penggunaan IPK sebagai pelapis belum mampu menghambat pertumbuhan bakteri pembusuk pada daging *patty*. Oleh karena itu, penambahan komponen lain (*filler*) yang bersifat antimikroba ke dalam film berbasis protein akan meningkatkan kemampuannya dalam memperpanjang umur simpan produk. Dewasa ini penelitian di bidang film edibel telah berkembang dengan aplikasi teknologi nano. Contohnya adalah penelitian yang dilakukan oleh Arfat *et al.* (2015) dimana penambahan nanopartikel seng oksida (NP-ZnO) ke

dalam film berbasis isolat protein ikan sebanyak 0-4% mampu meningkatkan kuat tarik dan menurunkan nilai elongasi serta laju transmisi uap air film pada pH 3 dan pH 11. Penelitian tersebut membuktikan bahwa dengan adanya penambahan NP-ZnO dan pengkondisian film pada pH 3 mampu memberikan pengaruh terhadap penurunan aktivitas bakteri *L.monocytogenes* dan *P.aeruginosa* sehingga cocok diaplikasikan sebagai *active food packaging*. Selain itu penggunaan ekstrak tumbuhan seperti kunyit sebagai senyawa antimikroba telah banyak diketahui. Pada penelitiannya Kavas dan Kavas (2017) menyatakan bahwa penambahan ekstrak kunyit (1% dan 2% v/v) kedalam film berbasis protein putih telur mampu meningkatkan laju transmisi uap air serta dapat menurunkan pertumbuhan *E.coli* dan *S.aureus* pada keju cokelek selama penyimpanan. Ekstrak kunyit memiliki kandungan beberapa senyawa aktif seperti alkaloid, fenol, kurkumin, minyak atsiri, dan flavonoid yang mampu menghambat pertumbuhan mikroorganisme (Amaliya dan Putri 2014). Oleh karena itu, kelebihan yang dimiliki film edibel berbasis IPK dengan penambahan senyawa antimikroba NP-ZnO dan ekstrak kunyit membuka peluang untuk diaplikasikan sebagai pelapis pada produk tahu dengan tujuan untuk melindungi tahu dari kontaminasi mikroorganisme pembusuk dan memperpanjang umur simpannya.

Perumusan Masalah

Umur simpan tahu yang singkat umumnya sering dimanfaatkan produsen untuk menambahkan bahan kimia berbahaya guna memperpanjang umur simpan tahu. Berkembangnya teknologi pengemasan seperti film edibel yang dapat terbuat dari IPK membuka peluang pemanfaatannya sebagai alternatif dalam memperpanjang umur simpan tahu yang lebih aman. Penambahan NP-ZnO dan ekstrak kunyit diharapkan mampu meningkatkan sifat fungsional film edibel berbasis IPK sehingga dapat diaplikasikan sebagai pelapis pada produk tahu dan diharapkan dapat menghambat penurunan mutu produk tahu serta memperpanjang umur simpannya.

Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan diatas, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengkarakterisasi film edibel berbasis IPK dengan penambahan NP-ZnO dan ekstrak kunyit berdasarkan parameter fisik, mekanis, dan aktivitas antimikroba.
2. Mengkaji pengaruh aplikasi pelapis edibel berbasis IPK dengan penambahan NP-ZnO dan ekstrak kunyit terhadap mutu produk tahu.

Hipotesis

1. Penambahan NP-ZnO dan ekstrak kunyit dapat memperbaiki karakter fisik, mekanis dari film edibel berbasis IPK dan mempunyai efek sebagai antimikroba.
2. Aplikasi pelapis edibel berbasis IPK dengan penambahan NP-ZnO dan ekstrak kunyit pada produk tahu mampu memperpanjang umur simpan tahu.

Manfaat Penelitian

Penggunaan NP-ZnO dan ekstrak kunyit diharapkan mampu meningkatkan karakteristik film berbasis IPK dan aplikasinya pada produk tahu dapat dijadikan salah satu alternatif dalam memperpanjang umur simpan tahu dan mempertahankan kualitasnya.

2 TINJAUAN PUSTAKA

Tahu

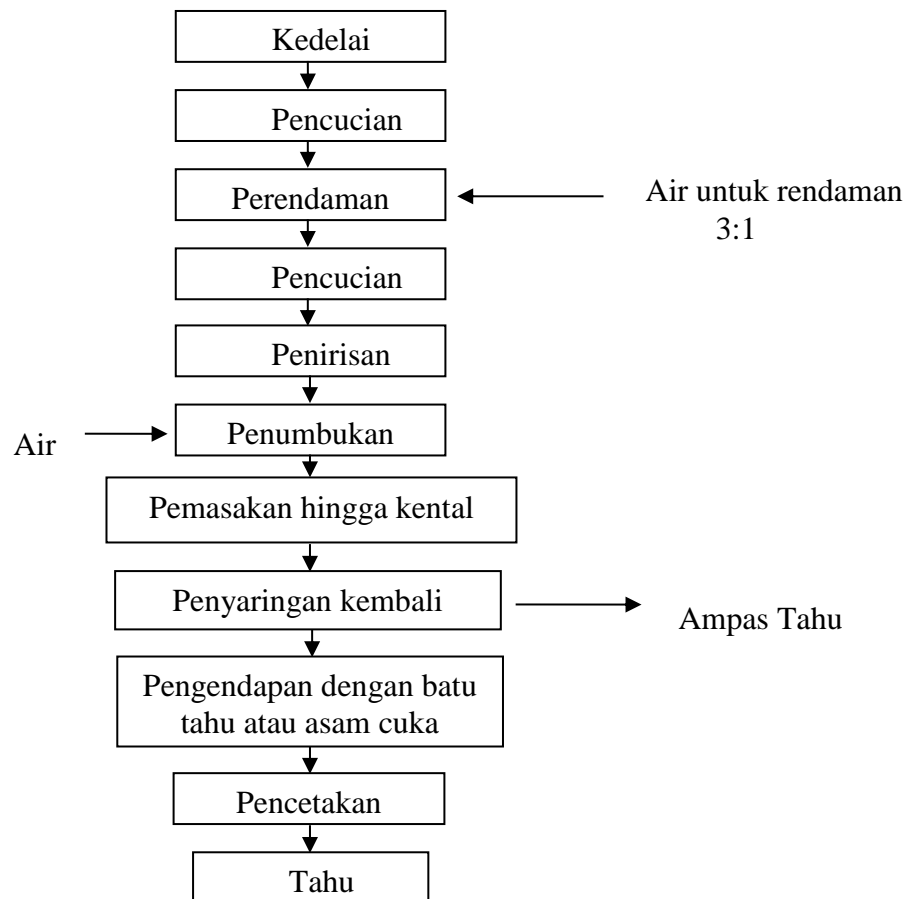
Menurut kamus besar bahasa Indonesia tahu adalah makanan dari kedelai putih yg digiling halus, direbus, dan dicetak. Tahu merupakan makanan yang awalnya berasal dari Tiongkok Cina lalu dibawa perantau Cina, sehingga makanan ini menyebar ke Asia Timur, Asia Tenggara, dan ke seluruh dunia. Kata tahu sendiri adalah serapan dari bahasa Hokkian, yaitu *tauhu* (hanyu pinyin: *doufu*). Di Jepang tahu dikenal dengan sebutan *tofu*. Di Indonesia, merupakan lauk sumber protein nabati yang disukai masyarakat. Proses pembuatan tahu umumnya hanya menggunakan teknologi yang cukup sederhana. Dan cara pemasarannya pun dilakukan dengan cara yang sederhana, yaitu dengan merendam tahu dalam wadah besar terbuka di pasar tradisional agar konsumen dapat memilih tahu yang ingin dibelinya (Rahmawati, 2013).

Tahu sangat mudah diperoleh di pasaran Indonesia dengan berbagai macam bentuk, ukuran, dan warna. Diantaranya adalah tahu putih dan tahu kuning dalam berbagai degradasi warna dan juga tahu coklat atau disebut juga tahu kulit yang biasa di goreng sebelum disajikan. Ukuran tahu yang banyak dijual di pasaran adalah 4 x 4 x 2.5 cm. Badan Pusat Statistik Indonesia (2014) menyatakan bahwa tingkat rata-rata konsumsi tahu masyarakat Indonesia dalam seminggu adalah 0.136 kg/kapita atau sebesar 7.1 kg/kapita/tahun. Angka ini cukup tinggi dibandingkan dengan rata-rata tingkat konsumsi tempe yang hanya 0.133 kg/kapita atau 6.9 kg/kapita/tahun. Selain harganya yang relatif terjangkau, tahu juga memiliki kandungan gizi yang cukup tinggi. Kandungan gizi dalam setiap 100 gram tahu terdapat energi sebesar 68 kkal; 7.8 gram protein; 4.6 gram lemak; 1.6 gram hidrat arang; 124 mg kalsium; 10 mg besi (DKBM 2005).

Proses pembuatan tahu berbeda dengan tempe walaupun sama-sama menggunakan bahan dasar kedelai. Skema pembuatan tahu dapat dilihat pada Gambar 1. Proses pembuatan tahu tradisional pada umumnya diawali dengan

pemilihan kedelai yaitu dengan cara memilih biji kedelai kemudian dicuci dengan air bersih lalu direndam didalam air selama kurang lebih enam jam. Proses selanjutnya, dilakukan pencucian, pengupasan, penghancuran, sampai menjadi bubur kedelai yang baik. Berikutnya pemberian zat pengental, pemadatan, dan pemotongan. Umumnya produsen tahu di Indonesia merupakan pengusaha kecil dan menengah, dimana aspek sanitasi masih kurang diperhatikan.

Hasil dan kualitas tahu dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya mutu dan varietas kedelai, jumlah pengadukan, koagulan yang digunakan, serta besar gaya dan lama penekanan *curd*. Faktor-faktor ini lah yang akan mempengaruhi profil tekstur pada hasil akhir dari tahu yang terbentuk. Produk tahu biasanya hanya dapat bertahan sehari saja pada suhu ruang. Tanda penurunan kualitas tahu adalah adanya perubahan sifat sensoris, seperti menjadi berasa asam dan berlendir akibat adanya pertumbuhan bakteri pembusuk yang mengkontaminasi tahu. Sumber utama pencemaran bakteri pada tahu biasanya berasal dari bahan mentah dan lingkungan pembuatan tahu. Pada penelitiannya, No *et al.* (2006) melaporkan bahwa bakteri utama penyebab kerusakan pada tahu adalah bakteri asam laktat yang telah banyak pula di kemukakan pada berbagai hasil penelitian.



Gambar 1 Skema pembuatan tahu (Rahmawati 2013)

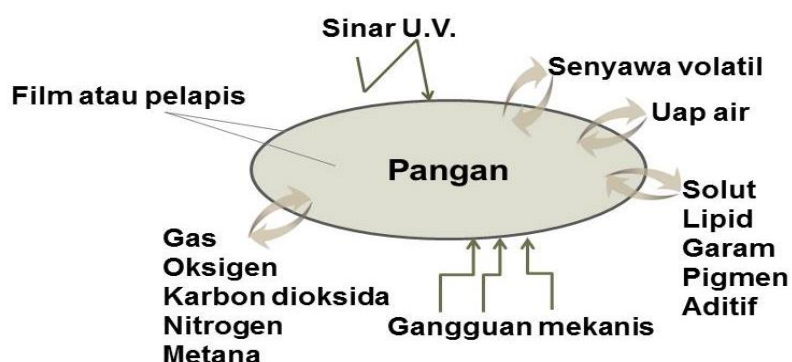
Daya simpan tahu yang terbatas dan tidak tahan lama membuat sebagian produsen tahu menambahkan bahan kimia berbahaya pada proses pembuatannya guna memperpanjang masa simpan dan membuat tekstur tahu lebih kuat.

Penggunaan bahan kimia berbahaya seperti formalin umum digunakan pedagang tahu bila tahu tidak laku dijual dalam satu hari (Sari *et al.* 2014). Tahu yang diberikan formalin dapat bertahan selama 5 hari atau bahkan lebih. Penggunaan formalin pun biasanya dilakukan hingga berkali-kali sehingga kadar formalin yang biasanya ditemukan pada produk pangan sangat tinggi. Sari *et al.* (2014) juga melaporkan bahwa formalin yang ditambahkan kedalam bahan pangan dan dikonsumsi dalam jangka panjang akan menyebabkan akumulasi di dalam tubuh dan memicu pertumbuhan sel kanker yang akan menurunkan kesehatan. Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) RI mengidentifikasi ciri-ciri dari tahu berformalin yang banyak terdapat di pasar Indonesia, diantaranya adalah:

- 1) Tidak rusak sampai tiga hari pada suhu kamar (25°C)
- 2) Bertahan lebih dari 15 hari pada suhu lemari es (10°C)
- 3) Tahu terlampau keras namun tidak padat
- 4) Bau agak menyengat, bau formalin (dengan kandungan formalin 0.5–1 ppm). (BPOM RI, 2006).

Film Edibel

Film dan pelapis edibel merupakan kelompok dari kemasan edibel yang bersifat ramah lingkungan dan berfungsi sebagai penghalang dari perpindahan massa seperti air, oksigen, lipida, dan zat terlarut dengan tujuan untuk menjaga kualitas dan umur simpan dari produk pangan. Selain itu, film dan pelapis edibel memiliki fungsi sebagai *carrier* komponen bahan makanan seperti antioksidan, flavor, antimikroba, pewarna, dan zat gizi lain. Skudlarek (2012) mendefinisikan perbedaan antara film dan pelapis/*coating* edibel dari proses pembentukannya. Dimana film dibuat dengan *casting* dan pencetakan untuk menghasilkan lembaran yang kemudian diaplikasikan pada produk makanan. Sedangkan pelapis/*coating* dibuat dengan cara menyemprotkan, mencelupkan, meneteskan larutan edibel langsung ke permukaan produk makanan sehingga nantinya akan terbentuk lapisan tipis yang menyelimuti permukaan produk. Transfer yang dapat di kontrol oleh kemasan edibel dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Transfer yang dapat di kontrol oleh kemasan edibel (Embuscado and Huber 2009)

Bahan dasar pembuatan film edibel dapat digolongkan menjadi tiga kelompok, yaitu hidrokoloid (protein dan polisakarida), lipida (asam lemak dan

wax), dan komposit. Bahan dasar pembentuk film sangat mempengaruhi sifat-sifat film yang terbentuk. Pada umumnya film edibel yang dibuat dari bahan hidrokolid memiliki sifat mekanis yang baik, namun film berbasis polisakarida tidak dapat menghalangi migrasi uap air dengan baik karena memiliki sifat yang lebih hidrofilik (suka air) (Cazon *et al.* 2016). Penggunaan protein sebagai bahan dasar film edibel menghasilkan karakteristik yang lebih baik dibandingkan dengan polisakarida karena memiliki sifat yang lebih hidrofobik sehingga mampu menahan uap air dan efisien sebagai penghalang gas (Koshy *et al.* 2016; Wan *et al.* 2005).

Film edibel yang terbuat dari satu komponen bahan tidak dapat memberikan hasil yang memuaskan, sehingga perlu ditambahkan komponen lain. Dalam pembuatan film biasanya ditambahkan pula *plasticizer* untuk meningkatkan sifat mekanisnya. Penggunaan *plasticizer* umumnya ditambahkan ke dalam film berfungsi untuk meningkatkan fleksibilitas dan ketahanan film. *Plasticizer* didefinisikan sebagai zat non volatil dengan titik didih tinggi, tidak mudah menguap, dan bila ditambahkan ke dalam film dapat merubah sifat fisik dan mekaniknya (Banker 1966). *Plasticizer* yang umum digunakan dalam pembuatan film adalah gliserol yang bersifat higroskopis, tidak berwarna, tidak berbau, meleleh pada suhu 17.8°C, mendidih pada suhu 290°C, serta larut dalam air dan etanol. Pemanfaatan gliserol sebagai *plasticizer* telah banyak dilakukan oleh para peneliti. Rusli *et al.* (2017) membuktikan bahwa penambahan 10% (b/b) gliserol ke dalam film berbasis karagenan dapat menghasilkan karakteristik film yang lebih baik dibandingkan tanpa penggunaan gliserol. Ia menyatakan bahwa penambahan gliserol mampu meningkatkan ketebalan, pemanjangan film, dan kuat tarik film yang terbentuk. Selain itu penggunaan gliserol sebagai *plasticizer* lebih baik dibandingkan sorbitol, karena film edibel yang dihasilkan memiliki permukaan yang lebih halus dan fleksibel.

Isolat Protein Kedelai

Isolat protein kedelai merupakan fraksi protein utama kedelai yang umum digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan film. Penggunaan protein yang bersumber dari kacang-kacangan seperti kedelai sering dipilih karena bahan ini umumnya mudah dijumpai di masyarakat. Selain itu, kedelai ini sangat potensial untuk dimanfaatkan dalam industri pangan karena memiliki daya ikat air, emulsifier, kekentalan, dan kemampuan untuk membentuk gel yang baik (Muchtadi 2013). Liu and Tang (2014) mengungkapkan bahwa isolat protein kedelai merupakan salah satu isolasi protein yang paling murni karena kadar protein yang terkandung dalam isolat kedelai mencapai 96% dan hampir bebas dari karbohidrat, serat dan lemak sehingga sifat fungsionalnya jauh lebih baik dari pada bentuk protein lainnya. Isolasi protein dilakukan melalui beberapa tahap yaitu ekstraksi protein dari tepung kedelai bebas lemak dan air, pemisahan serat kasar, pengendapan dengan asam, pencucian, penetralan dan pengeringan (Muchtadi 2013). Widyasari (2000) mengungkapkan bahwa pembentukan film berbasis protein kedelai disebabkan karena terjadinya polimerasi yang dibantu oleh adanya pemanasan dan kondisi alkali (pH 6.1 – 10.2). Beberapa penelitian

mengenai penggunaan isolat protein kedelai sebagai bahan dasar pelapis dapat dilihat pada Tabel 1.

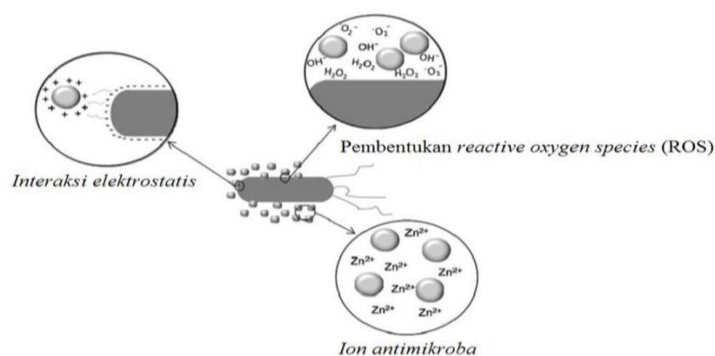
Tabel 1 Hasil penelitian pelapis berbasis IPK pada produk pangan

| Jenis pangan | Perlakuan | Hasil | Referensi |
|----------------------------------|---|--|-------------------------------|
| Salak pondoh terolah minimal | IPK - asam lemak – <i>coating</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Penambahan IPK 0.5-4 % meningkatkan ketebalan dan WVTR film. - Perlakuan terbaik diperoleh IPK 0.5% dan asam stearat-palmitat 0.5% - Pada suhu penyimpanan 5°C mampu menurunkan kadar air, susut bobot, total gula, dan memperpanjang umur simpan salak pondoh hingga 10 hari. | Widyasari (2000) |
| <i>Beef patties</i> | IPK-gelatin- <i>coating</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Pelapis berbasis IPK mampu menurunkan oksidasi lemak, melindungi daging dari O₂, mempertahankan warna permukaan daging selama penyimpanan. - Pelapisan tidak berpengaruh nyata terhadap nilai tekstur daging <i>patty</i> dan tidak mempengaruhi rasa daging. - Pertumbuhan mikroba pada daging kontrol dan daging dengan pelapis semakin meningkat seiring dengan lamanya penyimpanan. | Guerrero <i>et al.</i> (2010) |
| <i>Fresh ground beef patties</i> | IPK- <i>thyme-oregano essential oils-film</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Penambahan minyak esensial <i>thyme</i> dan <i>oregano</i> sebesar 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% pada film IPK mampu menghambat pertumbuhan bakteri <i>E. coli</i>, <i>S. aureus</i>, <i>P. aeruginosa</i>, <i>L. plantarum</i>. - Pertumbuhan <i>coliform</i> dan <i>Pseudomonas spp.</i> pada sampel daging mengalami penurunan ketika dilapisi film. | Emiroglu <i>et al.</i> (2010) |
| <i>Fresh-cut apples</i> | IPK- <i>ferulic acid-coating</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Penambahan <i>ferulic acid</i> 4.0 g/L pada 30 g/L IPK mampu menurunkan WVP film. - Mampu mengontrol susut bobot dan kekerasan buah apel dibandingkan dengan kontrol. - Memperpanjang umur simpan hingga 7 hari pada suhu 10°C | Alves <i>et al.</i> (2017) |

Nanopartikel Seng Oksida (ZnO)

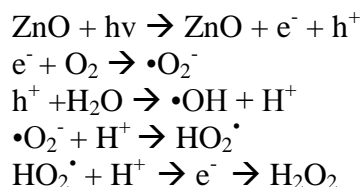
Seng oksida/ *zinc oxide* (ZnO) merupakan senyawa kimia yang umumnya digunakan sebagai bahan aditif dalam bentuk serbuk. Penggunaan ZnO dalam bidang pangan banyak dijumpai. Hal ini dikarenakan sifatnya yang aman dimakan

dalam jumlah tertentu dan merupakan salah satu mikro mineral yang diperlukan oleh tubuh untuk metabolisme. Menurut *dietary references intakes* (DRI) batas maksimal ZnO yang dapat dikonsumsi manusia adalah 40 mg/hari. Pada teknologi pengemasan, ZnO dalam ukuran nanopartikel (< 100 nm) berpotensi diaplikasikan sebagai *filler* atau pengisi karena memiliki kemampuan untuk meningkatkan sifat mekanis, sebagai *barrier* dan stabilitas kemasan, serta memiliki sifat antimikroba (Espitia *et al.* 2012). Beberapa mekanisme antimikroba dari ZnO tersaji pada Gambar 3.



Gambar 3 Ilustrasi beberapa mekanisme aktivitas antimikroba nanopartikel ZnO (Espitia *et al.* 2012)

Tayel *et al.* (2010) menyatakan bahwa nanopartikel ZnO merupakan nanopartikel anorganik yang tahan terhadap kondisi pemrosesan yang intensif serta memiliki aktivitas anti bakteri dan sifat anti jamur sehingga cocok di tambahkan kedalam pelapis (*coating*). Aktivitas antimikroba dari nanopartikel berhubungan dengan beberapa mekanisme dan dapat secara langsung berinteraksi dengan sel-sel mikroba, misalnya mengganggu/menembus membran sel, mengganggu transfer elektron transmembran, oksidasi komponen sel, atau menghasilkan produk sekunder seperti *reactive oxygen species* (ROS) atau ion-ion logam berat terlarut yang menyebabkan kerusakan (Li *et al.* (2009). Mekanisme aktivitas antimikroba ZnO dilaporkan oleh Yousef dan Danial (2012), ketika ZnO diaktifkan oleh UV dan cahaya tampak, maka akan menghasilkan *reactive oxygen species* (ROS) $e^- + h^+$ yang kemudian memecah molekul H_2O (dari suspensi ZnO) menjadi OH^- dan H^+ . Molekul oksigen terlarut diubah menjadi anion superoksida radikal ($\bullet O_2^-$), lalu bereaksi dengan H^+ untuk menghasilkan radikal ($HO_2\bullet$), setelah tabrakan berikutnya dengan elektron menghasilkan anion hidrogen peroksida (HO_2^-). Dan bereaksi dengan ion hidrogen untuk menghasilkan molekul H_2O_2 . Molekul H_2O_2 yang dihasilkan dapat menembus membran sel dan membunuh bakteri. Persamaan kimia pembentukan ROS dari nanopartikel ZnO adalah sebagai berikut:



Penelitian yang dilakukan oleh Mostafa (2015) membuktikan bahwa nanopartikel ZnO (NP-ZnO) dengan konsentrasi 100, 200, 300, 400, dan 500 $\mu g/mL$ mampu menurunkan laju pertumbuhan bakteri uji yaitu *S.aureus* dan *B.cereus* pada beberapa sampel makanan Mesir. Arfat *et al.* (2015) menambahkan

bahwa penambahan nanopartikel ZnO sebesar 0% - 4% b/b ke dalam film berbasis isolat protein ikan dapat meningkatkan karakteristik film yang terbentuk dan mampu menghambat pertumbuhan bakteri Gram positif (*L. monocytogenes*) serta bakteri patogen yaitu *P.aeruginosa* yang tergolong bakteri Gram negatif. Selain kemampuannya dalam meningkatkan karakteristik film edibel, penambahan NP-ZnO juga dapat diaplikasikan ke dalam pelapis edibel dan mampu mempertahankan mutu produk yang dilapisinya.

Tabel 2 Penelitian pembuatan pelapis edibel dengan penambahan NP-ZnO

| Polimer | Hasil | Daya Hambat Mikroorganism | Referensi |
|-------------------------------------|--|---|---------------------------------|
| Film grade LDPE resin pellets | Penambahan 0.25% NP-ZnO pada polimer LDPE meningkatkan kuantitas aglomerasi film. | - LDPE+ 1% NP-ZnO secara signifikan menurunkan pertumbuhan <i>L. plantarum</i> pada jus jeruk. - Kombinasi ZnO dan nanosilver mempunyai aktivitas antimikroba yang tinggi dalam menghambat <i>L. plantarum</i> terutama pada penyimpanan jangka panjang. | Emamifar <i>et al.</i> (2011) |
| Pektin – ZnO | Penambahan ZnO sebesar 0.04 g pada dapat menekan susut bobot salak | - Adanya penurunan laju pertumbuhan mikroba pada salak pondoh yang terlapisi larutan nanokomposit sebesar 0.079 log cfu/g. | Sabarisman <i>et al.</i> (2015) |
| <i>Polyethylene</i> (LDPE) | Penambahan NP-ZnO 5% b/b mampu menghalang gas O ₂ dan CO ₂ , menghambat oksidasi lemak & Menekan laju kerusakan ayam | - Penambahan 5% NP-ZnO ke dalam kemasan LDPE mereduksi <i>E.coli</i> 7.34 log cfu/cm ² , <i>P.aeruginosa</i> 6.74 log cfu/cm ² , <i>L.monocytogenes</i> 4.31 log cfu/cm ² - Tidak mempengaruhi warna daging ayam selama | Panea <i>et al.</i> (2014) |
| PLA – NP-ZnO | Kuat Tarik film menurun 4% dan 10.4% dengan penambahan ZnO sebesar 5% dan 10%. Modulus elastisitas nanokomposit meningkat dari 0.86 GPa menjadi 1.2 GPa. | - Penambahan NP-ZnO dapat menurunkan > 99% jumlah <i>E.coli</i> dan <i>S.aureus</i> setelah 14 hari inkubasi. | Silva <i>et al.</i> (2015) |
| Karagenan – NP-ZnO + <i>Beeswax</i> | Inkorporasi NP-ZnO (0.5%) ke dalam polimer karagenan meningkatkan kuat tarik film secara signifikan serta memberikan pengaruh nyata pada struktur morfologi film | - Penambahan 1% NP-ZnO menunjukkan adanya penghambatan terhadap bakteri <i>E.coli</i> . | Meindrawan <i>et al.</i> (2016) |

Penelitian lain yang dilakukan oleh Wardana *et al.* (2017) menunjukkan bahwa kombinasi dari NP-ZnO (0%, 1%, dan 2% b/b tapioka) dengan asam stearat ke dalam pelapis berbasis tapioka mampu mempertahankan mutu buah mangga terolah minimal selama penyimpanan. Diketahui formula terbaik pada penelitian tersebut adalah dengan penambahan NP-ZnO sebanyak 2% (b/b) menghasilkan nilai susut bobot, kekerasan, indeks pencoklatan, total asam, total padatan terlarut, respirasi, dan total mikroba yang signifikan, sehingga perlakuan ini dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif untuk mempertahankan mutu buah mangga terolah minimal selama penyimpanan. Beberapa penelitian lain mengenai pengaruh penambahan nanopartikel ZnO sebagai material pengisi dalam pelapis dirangkum pada Tabel 2.

Kunyit (*Curcuma longa*)

Kunyit dengan nama latin *Curcuma longa* merupakan spesies tanaman dari genus *Curcuma* (famili *Zingiberaceae*) dan biasa digunakan sebagai suplemen kesehatan di beberapa negara Asia (Yue *et al.* 2010). Di Indonesia, kunyit merupakan rempah-rempah yang sering digunakan sebagai bumbu masakan. Hartati (2013) dalam warta penelitian tanaman industri menyebutkan bahwa tanaman kunyit dapat dijumpai di wilayah dataran rendah sampai dataran tinggi sekitar 2000 meter di atas permukaan laut. Senyawa yang terkandung dalam kunyit adalah kurkuminoid dan minyak atsiri, kandungan kurkuminoid berkisar 3-5% yang memberikan fluoresensi warna kuning yang tidak stabil cahaya matahari namun menjadi stabil bila dipanaskan. Kandungan minyak atsiri kunyit berkisar 2.5% - 6% yang terdiri dari komponen artumeron, alfa dan beta tumeron, tumerol, alfa atlanton, beta kariofilen, linalol, zingiberen, dd-felandren, d-sabinen, dan borneol. Selain itu kunyit juga mengandung senyawa lain seperti pati, lemak, protein, kamfer, resin, damar, gom, kalsium, fosfor, dan zat besi (Hartati 2013).

Data dari Balai Penelitian Tanaman Obat dan Aromatik (BALITRO) menyebutkan bahwa, kunyit dapat dibedakan berdasarkan varietasnya, yaitu Kunyit lokal (sering dijumpai di sekitar kita, dengan kadar kurkumin yang masih rendah) dan kunyit turina (jenis varietas unggul dengan kadar kurkumin yang cukup tinggi sekitar 7%). Bagian kunyit yang sering dimanfaatkan adalah bagian rimpangnya atau bagian akar. Akar kunyit memiliki bau aromatik yang khas dengan rasa yang agak pedas dan pahit dan bila dilarutkan kedalam air maka akan memunculkan warna kuning akibat dari zat kurkuminoid yang merupakan komponen pewarna alami dan berkhasiat sebagai antibakteri karena mampu merusak dinding sel sehingga menyebabkan kematian sel.

Penelitian mengenai pemanfaatan kunyit sebagai agen antimikroba pada pelapis telah banyak dilakukan. Sebagai contoh, penelitian yang telah dilakukan Danggi (2008) menunjukkan bahwa penambahan ekstrak kunyit ke dalam pelapis berbasis kitosan mampu menghambat pertumbuhan bakteri *B.cereus* dan *E.coli* dengan diameter zona hambat sebesar 18.58 mm untuk *B.cereus* dan *E.coli* sebesar 18.63 mm. Pembentukan zona bening ini menandakan adanya penghambatan dari penambahan ekstrak kunyit terhadap pertumbuhan bakteri uji tersebut. Penelitian lain yang dilakukan oleh Ibrahim *et al.* (2017) menunjukkan bahwa kombinasi ekstrak kunyit dan silitol ke dalam film berbasis polistiren dan

polyvinyl alcohol active (PVA) sebesar 6% dan 8% mampu menurunkan pertumbuhan *P. aeruginosa*, *C. albicans*, dan *S. aureus*, namun belum mampu menurunkan laju pertumbuhan dari *A. niger*. Selain itu adanya ekstrak kunyit dan silitol mampu menurunkan nilai WVP, kuat tarik, dan modulus elastisitas serta mampu mempengaruhi warna dari film yang terbentuk menjadi kuning-oranye. Beberapa penelitian mengenai pembuatan pelapis edibel dengan penambahan ekstrak kunyit sebagai antimikroba terangkum pada Tabel 3.

Tabel 3 Penelitian pelapis edibel dengan ekstrak kunyit

| Polimer | Varietas | Hasil | Referensi |
|--------------|--|---|--------------------------------|
| Kitosan | <i>Curcuma longa</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Penambahan 2% ekstrak kunyit dapat menghambat <i>E.coli</i> dan <i>B.cereus</i> dengan zona hambat masing-masing sebesar 18.63 mm 18.58 mm - Penambahan ekstrak kunyit mampu menurunkan jumlah bakteri dan memperpanjang umur simpan tahu. | Danggi (2008) |
| Whey protein | <i>Curcuma longa</i> | - Penambahan minyak esensial kunyit sebanyak 6% (v/v) mampu menghambat pertumbuhan kapang (<i>A. flavus</i> , <i>Penicillium</i> sp.) dan bakteri (<i>S. aureus</i>) pada ikan kering yang dilapisi film berbasis whey protein, memperpanjang masa simpan ikan hingga 21 hari, dan tidak berpengaruh nyata terhadap uji kesukaan. | Matan (2012) |
| Pati tapioka | Kunyit putih (<i>Kaempferia rotunda</i>) | <ul style="list-style-type: none"> - Penambahan 0.1% minyak atsiri kunyit putih mampu menghambat <i>P. putida</i> dan <i>P. fluorescens</i> masing-masing sebesar 29.44 mm dan 29.99 mm. - Pada uji hedonik tidak ada perbedaan nyata antara edibel film kontrol dan edibel film dengan penambahan kunyit. | Utami <i>et al.</i> (2013) |
| Kitosan | Turmeric (<i>Curcuma longa</i>) | <ul style="list-style-type: none"> - Penambahan ekstrak kunyit pada film berbasis kitosan berpengaruh terhadap karakteristik film yang terbentuk. Meningkatkan kuat tarik, modulus elastisitas, kekakuan, ketebalan, dan WVP film. - Mampu menghambat pertumbuhan bakteri Gram positif (<i>S. aureus</i>) lebih baik dibanding bakteri Gram negatif (<i>Salmonella</i>) | Kalaycioglu <i>et al.</i> 2017 |
| Gelatin | <i>Curcuma longa</i> | - Penambahan 5% residu ekstrak kunyit ke dalam film mampu menurunkan laju transmisi uap air dan kuat tarik, menghambat pertumbuhan bakteri mesofil, asam laktat, dan bakteri psikotropik serta meningkatkan % elongasi. | Tosati <i>et al.</i> (2017) |

3 METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2016 hingga Agustus 2017 di Laboratorium Ilmu dan Teknologi Pangan Institut Pertanian Bogor.

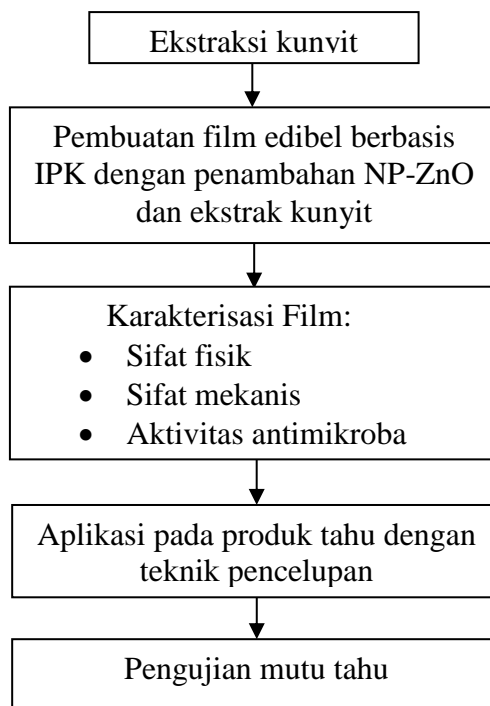
Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tahu komersil (non-formalin) yang diperoleh dari pabrik tahu Djadi Sari Bogor berukuran 2.5cm x 2.5cm x 3cm, isolat protein kedelai (IPK) komersil (Marksoy 90) yang diperoleh dari Guyun Economic Development Zone Shenxian China, rimpang kunyit varietas Turina 2 dengan umur panen 10 bulan yang diperoleh dari Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat (BALITRO) Bogor, nanopartikel ZnO dengan ukuran partikel rata-rata 20 nm (Wako, Jepang), gliserol (*Ecogreen Oleochemical*, Indonesia), etil asetat teknis (Brataco, Indonesia), aquades, kultur mikroba *E.coli* (ATCC 25922) dan *B.cereus* (ATCC 11778), media agar padat (MHA, NA dan PCA), dan media agar cair (LB).

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah timbangan analitik, pisau, spatula, blender (Cosmos CB-721 G, Indonesia), ayakan 60 mesh, *shaker* (GFL-D3006, Jerman), *oven blower*, *rotary evaporator* (BUCHI, Swiss), *magnetic stirrer*, *stirring hot plate*, cawan petri kaca steril, cawan petri plastik dengan diameter 80 mm, kertas saring kasar, *micro pipet*, jarum ose, inkubator, desikator, *Scanning Electron Microscopy* (SEM), ultraturax (IKA, T25, Jerman), Texture Analyzer TA-XT2i *stable micro system*, *Microcomputer Controlled Universal Testing Machine*, instrumen uji permeabilitas uap air, kamera digital (SONY DSC-W 810), alat gelas dan beberapa alat pendukung analisis.

Tahapan Penelitian

Metode penelitian ini dilakukan dalam 2 tahapan. Tahapan pertama adalah persiapan bahan yang meliputi pemilihan produk tahu tanpa formalin, ekstraksi kunyit, dan pembuatan film edibel serta pengujian karakteristik film edibel. Tahapan kedua adalah pengaplikasian pelapis edibel pada produk tahu menggunakan teknik pencelupan. Skema penelitian secara umum tersaji pada Gambar 4.



Gambar 4 Diagram alir penelitian secara umum

Persiapan Bahan

Tahapan ini diawali dengan mempersiapkan bahan yang akan digunakan. Pemilihan sampel tahu tanpa formalin dilakukan dengan survey ke produsen tahu Djadi Sari Bogor dan mengamati proses pembuatan tahu dari awal hingga proses pengemasan. Selanjutnya dilakukan uji kandungan formalin pada tahu dengan menggunakan larutan standar KMnO_4 dan diamati perubahan warnanya.

Proses ekstraksi kunyit

Rimpang kunyit yang diperoleh dari Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat (BALITRO) Bogor varietas Turina 2 dengan umur panen 10 bulan dibersihkan dari tanah dan kotoran yang menempel, lalu dicuci bersih dan diiris tipis dengan ketebalan ± 3 mm. Irisan kunyit kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 40°C selama 25 jam. Setelah kering, kunyit diblender dengan kecepatan maksimum selama ± 30 detik dan diayak dengan ayakan 60 mesh untuk mendapatkan ukuran yang lebih halus (bubuk). Bubuk kunyit yang diperoleh kemudian ditimbang sebanyak 100 gram dan ditambahkan dengan pelarut etil asetat (teknis) dengan rasio 1:4 (Danggi 2008). Kunyit bubuk yang bercampur dengan pelarut kemudian dimaserasi selama 24 jam dengan *shaker* pada suhu ruang dengan kecepatan 100 rpm. Selanjutnya, dilakukan penyaringan dengan menggunakan kertas saring untuk memisahkan larutan hasil penyaringan (filtrat) dan ampas. Filtrat yang masih bercampur dengan pelarut kemudian diuapkan dengan menggunakan *rotary evaporator* pada suhu 50°C dengan tekanan 200 mbar selama ± 30 menit sehingga didapatkan ekstrak kunyit kasar.

Ekstrak kunyit yang didapat kemudian dilakukan pengujian antimikroba dengan menggunakan metode sumur (Danggi 2008). Kultur dengan jumlah

bakteri (*E.coli* dan *B.cereus*) 10^8 CFU/ml sebanyak 50 μ L dimasukkan ke dalam 50 ml media Mueller Hinton Agar (MHA). Lalu dihomogenisasi dan dituangkan ke dalam cawan petri steril kemudian dibiarkan memadat. Setelah media memadat, dibuat lubang (sumur) dengan diameter rata-rata 8 mm. Sampel ekstrak kunyit kemudian ditambahkan ke dalam sumur sebanyak 60 μ L (tanpa pengenceran) lalu diinkubasi dengan suhu 37°C dan diamati zona bening yang terbentuk setelah 20 jam.

Pembuatan film edibel

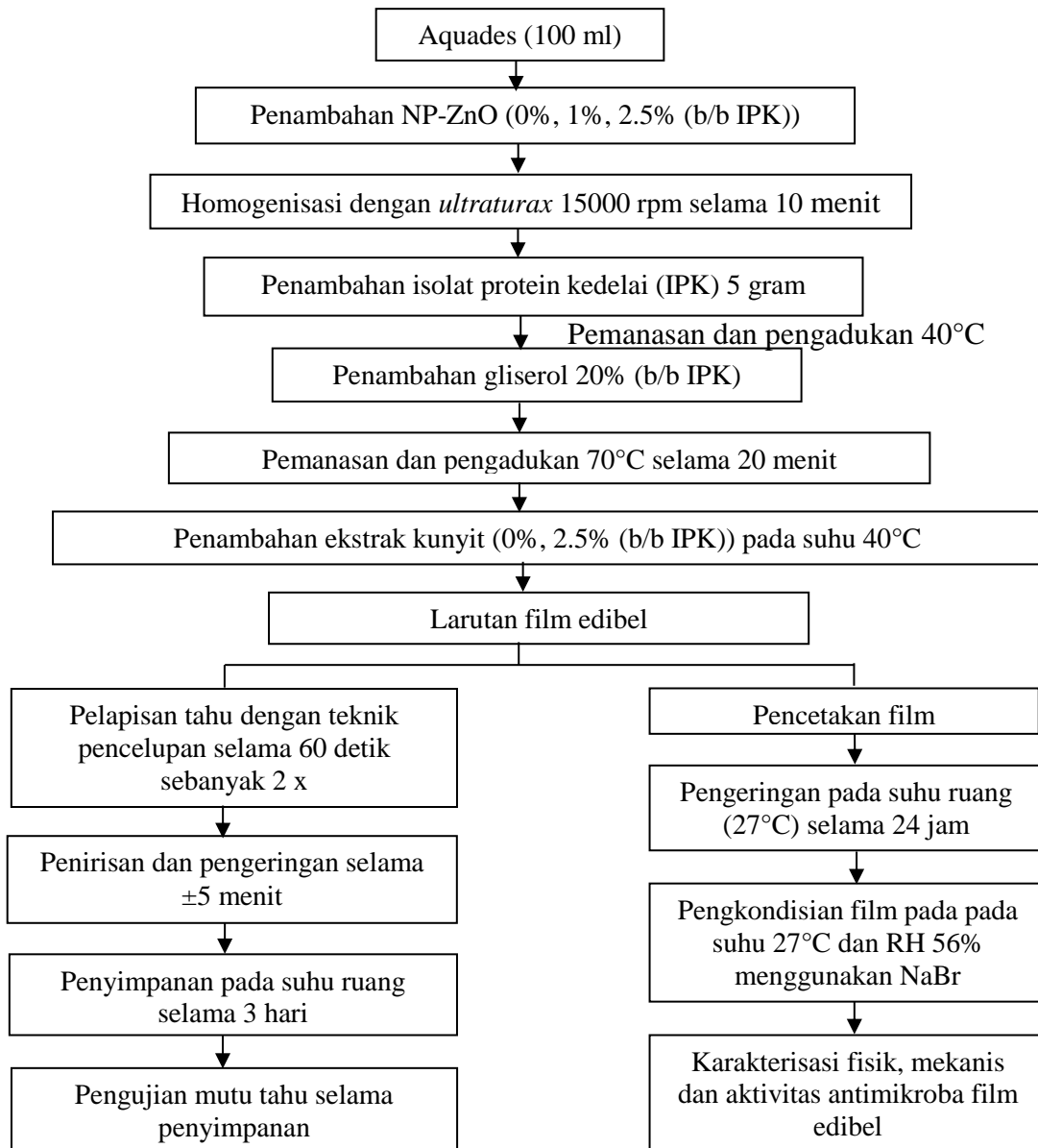
Pembuatan film edibel dengan bahan dasar IPK diadaptasi dari Widyasari, (2000) dan Guerrero *et al.* (2016) dengan sedikit modifikasi. Mula – mula aquades dituang ke dalam gelas beker sebanyak 100 ml, lalu NP-ZnO sebanyak 0%, 1% dan 2.5% (b/b IPK) dimasukkan ke dalam gelas beker berisi aquades dan didispersikan dengan ultraturax 15000 rpm selama 10 menit. Langkah selanjutnya adalah menambahkan IPK sebanyak 5 gram sedikit demi sedikit ke dalam aquades. Larutan ini kemudian diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* sampai homogen sambil dipanaskan dengan suhu 40°C. Setelah itu, ditambahkan gliserol sebanyak 20% (b/b IPK) untuk meningkatkan elastisitas dan terus dipanaskan serta diaduk hingga suhu 70°C selama 20 menit. Setelah 20 menit, dan suhu menurun hingga 40°C ditambahkan ekstrak kunyit sebanyak 0% dan 2.5 % (b/b IPK) kemudian diaduk kembali hingga rata.

Larutan edibel ini lalu di bagi menjadi 2 bagian, satu bagian untuk pelapis pada tahu dan satu bagian untuk pengujian karakteristik film edibel. Pelapis pada tahu dilakukan menggunakan metode pencelupan. Tahu yang diperoleh dari produsen tahu Djadi Sari rata-rata berukuran 2.5 x 2.5 x 3 cm dicelupkan pada larutan pelapis edibel selama 60 detik sebanyak dua kali agar merata, kemudian ditiriskan dan dikeringanginkan lalu diamati selama 3 hari penyimpanan pada suhu ruang, lalu dibandingkan dengan tahu tanpa pelapis edibel (kontrol positif) dan tahu berformalin (kontrol negatif). Sedangkan untuk mendapatkan film edibel, sebanyak 10 ml larutan dicetak pada cawan plastik berdiameter 80 mm dan dikeringkan pada suhu ruang selama 24 jam. Skema pembuatan film dan pelapis edibel tersaji pada Gambar 5 dan formulasi film edibel dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Formulasi nanopartikel ZnO dan ekstrak kunyit pada film edibel berbasis IPK

| Formula | NP-ZnO (b/b IPK) | Ekstrak kunyit (b/b IPK) |
|---------|---------------------|-----------------------------|
| Z0C0 | 0% | 0 % |
| Z1C0 | 1% | 0 % |
| Z2C0 | 2.5% | 0 % |
| Z0C2 | 0% | 2.5% |
| Z1C0 | 1% | 2.5% |
| Z2C2 | 2.5% | 2.5% |

Keterangan: Dalam volume 100 ml dan konsentrasi ISP 5 gram/100 ml (5% (b/v)).



Gambar 5 Skema tahapan pembuatan film dan pelapis edibel

Prosedur Analisis

Karakteristik Fisik Film Edibel

Ketebalan Film

Ketebalan film edibel yang dihasilkan diukur ketebalannya dengan menggunakan mikrometer sekrup dengan akurasi sebesar 0.01 mm. Pengukuran dilakukan sebanyak 10 titik berbeda.

Laju Transmisi Uap Air (ASTM D 1249-90 1993)

Laju transmisi uap air dari film edibel diukur berdasarkan metode ASTM D1249-90 (1993) dengan sedikit modifikasi. Bahan penyerap uap air (CaCl_2) dengan RH 2% diletakan di dalam wadah, kemudian sampel edibel film dipotong dengan diameter ± 30 mm dan diletakan diatas wadah yang berisi CaCl_2 kemudian tutup dengan parafilm sehingga tidak ada udara masuk. Wadah yang sudah berisi CaCl_2 dan tertutup film kemudian ditimbang dengan ketelitian 0.001 gram kemudian diletakan dalam desikator yang berisi garam KCl jenuh (RH 85%). Wadah permeansi kemudian ditimbang secara berkala dan ditentukan penambahan beratnya. Laju transmisi uap air dihitung dari kemiringan garis (*slope*) yang dihasilkan dari analisis regresi bobot sebagai fungsi waktu.

$$\text{WVTR} = \frac{\text{Slope}}{\text{Area film}}$$

Warna Film (Manninen *et al.* 2015 yang dimodifikasi)

Pengukuran warna pada penelitian ini menggunakan kamera digital SONY DSC-W 810 dengan resolusi gambar 20 mega pixel . Gambar film diambil dalam kondisi terkontrol di lemari potret. Parameter L, a, dan b CIE diperoleh dari analisis 5 titik gambar menggunakan piranti lunak *Adobe Photoshop CS6*. Pengukuran dilakukan dengan sebanyak 2 ulangan. Perbedaan warna (ΔE) dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta E = \sqrt{(L2 - L1)^2 + (a2 - a1)^2 + (b2 - b1)^2}$$

Dimana nilai L mengindikasikan kecerahan, nilai a menjelaskan kemerahan atau kehijauan, dan nilai b menjelaskan kekuningan atau kebiruan.

Karakteristik Mekanis Film Edibel (ASTM D 882-02 2002)

Karakteristik mekanis film meliputi pengukuran kuat tarik dan elongasi yang diperoleh dengan menggunakan *Microcomputer Controlled Universal Testing Machine* dengan kecepatan 20 mm/menit dan beban 100 kgf. Kuat tarik (MPa) ditentukan dengan membagi beban maksimum (N) dengan luas penampang bidang film (mm^2). Sedangkan nilai elongasi merupakan persentase pemanjangan film sebelum film putus. Secara sistematis karakteristik mekanis film dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Kuat tarik} = \frac{F}{A}$$

$$\% \text{ elongasi} = \frac{b-a}{a} \times 100\%$$

Dimana F merupakan gaya tarik (N) dan A adalah luas penampang bidang gaya (mm^2), sedangkan nilai a adalah panjang film awal (m) dan b adalah panjang film akhir (m).

Aktivitas Antimikroba (Nitha *et al.* 2012)

Pengujian aktivitas antimikroba mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Nitha *et al.* (2012). Tahap awal pengujian aktivitas antimikroba ini dilakukan dengan pengambilan masing-masing satu ose bakteri *E. coli* (ATCC 25922) dan *B.cereus* (ATCC 11778). Kemudian masing-masing bakteri diinokulasikan ke dalam 5 ml media NB, lalu diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C. Pengujian antimikroba dilakukan dengan mengambil kultur bakteri yang sudah diinkubasi di media NB sebanyak 25 µL kemudian dimasukkan ke dalam media agar *Mueller Hinton Agar/MHA* (25 ml) lalu dihomogenisasi dan dituang ke dalam cawan petri kemudian dibiarkan hingga membeku. Setelah media agar membeku dibuat lubang (sumur) dengan diameter ± 6 mm. Selanjutnya, larutan pelapis edibel dimasukkan ke dalam lubang (sumur) lalu diinkubasi pada suhu 37°C dan dilakukan pengamatan zona bening yang terbentuk setelah 20 jam yang diukur dengan menggunakan jangka sorong.

Analisis Kualitas Tahu

Tahu yang sudah diberi perlakuan, dianalisis kualitasnya berdasarkan parameter fisik (tekstur dan morfologi tahu), parameter kimiawi (kadar air), dan analisis umur simpan yang ditinjau dari sifat mikrobiologisnya.

Analisis Morfologi Mikrostruktur Tahu (Danggi 2008)

Pengamatan yang dilakukan untuk mengukur/ mengamati mikrostruktur dari lapisan edibel yang terbentuk pada produk tahu pada penelitian ini menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Sampel terlebih dahulu dikeringkan dengan *freeze drier* sampai kadar air mencapai 2%. Kemudian sampel dipotong dengan ukuran 0.5 cm x 0.5 cm. Setelah preparasi, sampel diletakkan pada logam yang dilapisi karbon untuk selanjutnya dilakukan pelapisan emas (Au) 300 Å di dalam *Magnetron Sputtering Device* yang dilengkapi dengan pompa vakum. Pada proses vakum terjadi loncatan logam emas ke arah sampel, sehingga melapisi sampel. Sampel yang telah dilapisi emas diletakkan pada lokasi sampel dalam mikroskop elektron, dan dengan terjadinya tembakan elektron ke arah sampel, maka akan terekam ke dalam monitor dan kemudian dilakukan pemotretan. Pengamatan dilakukan pada perbesaran 100 dan 500 kali.

Analisis Profil Tekstur Tahu (Murdia dan Wadhvani 2010)

Pengukuran tekstur tahu dilakukan dengan alat *texture analyzer TA-XT2* yang sudah terhubung dengan program XRTA dalam komputer. Sampel berbentuk kubus berukuran 2.5 x 2.5 x 3 cm diletakan pada tempat yang telah disediakan. Kemudian sampel ditekan dengan *probe* nomer 75 *trigger* 5 g dengan kecepatan 1 mm/detik dan jarak 50% dari tebal tahu (Murdia dan Wadhvani 2010). Parameter yang diukur adalah *hardness* dan *springiness*.

Kadar Air (AOAC 2005)

Pengukuran kadar air dilakukan menggunakan metode oven. Cawan aluminium yang akan digunakan untuk mengukur bobot sampel ditimbang dengan neraca analitik dan dicatat nilainya (c). Cawan kemudian disimpan di dalam desikator sebelum digunakan agar tidak menyerap uap air dari udara yang menyebabkan bobotnya bertambah. Sampel tahu yang akan diukur kadar airnya ditimbang sebanyak 2 gram dalam cawan aluminium yang sudah disiapkan pada tahap sebelumnya. Bobot sampel tahu yang terbaca pada neraca analitik dicatat dan kemudian disebut bobot basah sampel (a). Sampel tahu beserta cawan tadi dikeringkan dalam oven selama 3 jam pada suhu 105°C, kemudian didinginkan dalam desikator dan ditimbang bobotnya. Bobot yang diperoleh kemudian disebut bobot kering sampel + cawan (b).

Data yang diperoleh kemudian dihitung dengan menggunakan persamaan (1) dan (2) sebagai berikut:

$$\text{Kadar air (\%bb)} = \frac{a-(b-c)}{a} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Kadar air (\%bk)} = \frac{a-(b-c)}{(b-c)} \times 100 \quad (2)$$

Analisis Umur Simpan Tahu (Yunita *et al.* 2015)

Analisis penentuan umur simpan pada tahu dilihat dari penurunan jumlah mikroba pada sampel yang telah disimpan pada plastik tertutup disuhu ruang. Pengujian ini dilakukan dengan metode *Total Plate Count* (TPC) selama 0 hingga 3 hari. Persiapan sampel dilakukan dengan menghancurkan sampel tahu sebanyak 25 gram dan ditimbang secara aseptik lalu dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer steril berisi 225 mL larutan pengencer buffer fosfat (Yunita *et al.* 2015). Pengenceran dilakukan hingga tingkat yang sesuai dengan perkiraan jumlah mikroba dalam sampel. Lalu sampel yang sudah bercampur dengan pengencer diambil sebanyak 1 mL dan dimasukkan ke dalam cawan petri steril. Kemudian ditambahkan media *plate count agar* (PCA) steril sebanyak 15 mL dan dibiarkan hingga membeku lalu diinkubasi pada suhu 30°C selama 48 jam. Setelah waktu inkubasi selesai, kemudian dihitung jumlah koloni yang terbentuk. Penetapan estimasi jumlah mikroba yang dapat dihitung adalah 25-250 cfu (BAM 2001) yang kemudian dihitung sebagai log cfu/gram dengan rumus sebagai berikut:

$$N = \frac{\Sigma C}{(1 \times n_1) + (0.1 \times n_2) \times (d)}$$

Keterangan:

- N = Total cfu/gram
- ΣC = Jumlah koloni yang dihitung
- n₁ = Jumlah cawan pada pengenceran 1
- n₂ = Jumlah cawan pada pengenceran 2
- d = Pengenceran terendah

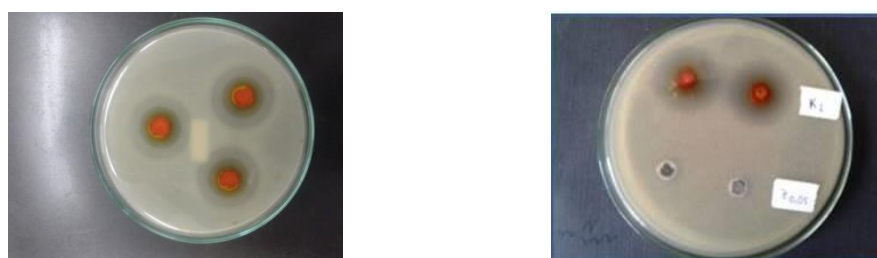
Analisis Statistik

Percobaan dilakukan menggunakan rancangan acak lengkap faktorial (2 faktor) dengan kombinasi 3 taraf konsentrasi NP-ZnO dan 2 taraf konsentrasi ekstrak kunyit dan dilakukan sebanyak dua kali ulangan. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan piranti lunak SPSS 20.0 dengan analisis sidik ragam (ANOVA) pada taraf signifikansi 5% dan dilanjutkan dengan uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*).

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Ekstrak Kunyit

Data rendemen ekstrak kunyit pada penelitian ini adalah sebesar 21.8%. Umur panen, metode ekstraksi dan pelarut yang digunakan sangat mempengaruhi rendemen yang dihasilkan. Dewi *et al.* (2016) membuktikan bahwa rendemen ekstrak kunyit pada umur panen 10 bulan dengan pelarut etanol (1:6) adalah sebesar 18.24%. Rimpang kunyit diketahui memiliki senyawa fenolik berupa kurkuminoid yang merupakan pigmen berwarna kuning dan memiliki kemampuan sebagai antibakteri, antioksidan, antiinflamasi, dan imunomodulator (Paulucci *et al.* 2012). Kurkumin merupakan senyawa aktif terbanyak yang terkandung di dalam kunyit yaitu sekitar 77% (Bitencourt *et al.* 2014), namun persentase ini tergantung dari tempat tumbuh kunyit, kultur, tipe pelarut, rasio sampel dan pelarut, serta waktu dan metode ekstraksi (Xia *et al.* 2007). Data dari Balai Penelitian Tanaman Rempah Obat (BALITRO) melaporkan bahwa kunyit dengan varietas unggul (*turina*) memiliki kadar kurkumin yang cukup tinggi yaitu $\pm 7\%$. Hal ini serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh Dewi *et al.* (2016) yang menyatakan bahwa kandungan rata-rata kurkumin dengan umur panen 10 bulan sebesar 7.27%. Daya hambat mikroba dari ekstrak kunyit dapat dilihat pada Gambar 6.



(a)

(b)

Gambar 6 Zona hambat ekstrak kunyit kasar terhadap (a) bakteri *E. coli* (b) bakteri *B. cereus*

Gambar 6 menunjukkan bahwa kunyit memiliki kemampuan dalam menghambat pertumbuhan bakteri *E.coli* yang merupakan golongan bakteri Gram negatif dan *B.cereus* yang merupakan bakteri Gram positif. Zona bening yang terbentuk pada pengamatan adalah sebesar 19.83 mm untuk *E.coli* dan 11.83 mm

untuk *B.cereus*. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa ekstrak kunyit efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri Gram positif maupun Gram negatif. Kandungan senyawa kurkumin di dalam ekstrak kunyit yang merupakan senyawa fenolik memiliki peran sebagai senyawa antibakteri dengan mekanisme kerja yaitu mengubah permeabilitas membran sehingga menyebabkan kebocoran nutrisi pada sel bakteri dan sel tersebut pun mati (Bonilla dan Garcia 2012).

Karakteristik Film Edibel

Karakteristik Fisik Film Edibel

Penambahan NP-ZnO dan ekstrak kunyit dapat mempengaruhi karakteristik fisik dari film edibel berbasis IPK. Karakteristik fisik film edibel yang diperoleh pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5. Interaksi antara NP-ZnO dan ekstrak kunyit menunjukkan ada perbedaan yang nyata pada nilai ketebalan dan WVTR namun tidak berpengaruh nyata terhadap nilai ΔE . Ketebalan film edibel sangat dipengaruhi oleh konsentrasi bahan kering yang digunakan, sehingga film dengan konsentrasi padatan terbanyak akan semakin tebal. Espitia *et al.* (2013) dan Wardana (2016) melaporkan bahwa penambahan NP-ZnO dapat meningkatkan ketebalan film masing-masing berbasis selulosa dan tapioka. Disisi lain, Amaliya dan Putri (2014) menyatakan bahwa penambahan *filler* berupa ekstrak kunyit putih dapat meningkatkan ketebalan film berbasis pati. Masih adanya kandungan pati pada ekstrak kunyit mampu meningkatkan jumlah padatan pada film sehingga ketebalan pun semakin meningkat dan mempengaruhi sifat mekanis serta permeabilitas film yang dihasilkan.

Tabel 5 Karakteristik fisik film edibel berbasis IPK

| Sampel | NP-ZnO (%) | Ekstrak kunyit (%) | Ketebalan (μm) | WVTR ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$) | ΔE |
|--------|------------|--------------------|-------------------------------|---|--------------------------------|
| Z0C0 | 0 | 0 | 55.8 \pm 2.12 ^{Aa} | 21.03 \pm 0.08 ^{Aa} | 0.00 \pm 0.00 ^{Aa} |
| Z1C0 | 1 | 0 | 79.6 \pm 0.28 ^{Ab} | 17.74 \pm 0.23 ^{Ab} | 1.90 \pm 0.95 ^{Ab} |
| Z2C0 | 2.5 | 0 | 92.1 \pm 2.40 ^{Ac} | 16.52 \pm 0.15 ^{Ac} | 4.70 \pm 1.16 ^{Ab} |
| Z0C2 | 0 | 2.5 | 86.7 \pm 2.47 ^{Ba} | 18.64 \pm 0.41 ^{Ba} | 45.27 \pm 0.95 ^{Ba} |
| Z1C2 | 1 | 2.5 | 89.5 \pm 0.00 ^{Bb} | 14.48 \pm 0.40 ^{Bb} | 50.70 \pm 1.13 ^{Bb} |
| Z2C2 | 2.5 | 2.5 | 92.7 \pm 0.56 ^{Bc} | 19.63 \pm 0.21 ^{Bc} | 50.54 \pm 0.41 ^{Bb} |

Keterangan:

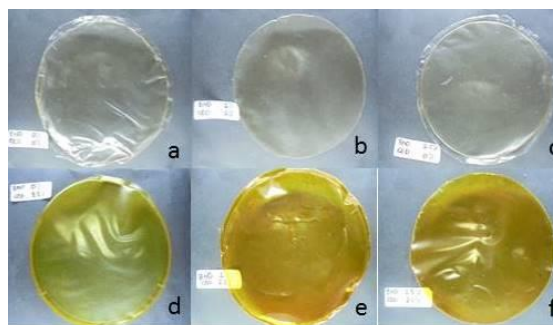
* Perbedaan huruf kapital pada kolom yang sama menunjukkan pengaruh nyata pada konsentrasi ekstrak kunyit pada taraf nyata $\alpha = 5\%$.

* Perbedaan huruf kecil pada kolom yang sama menunjukkan pengaruh nyata pada konsentrasi NP-ZnO pada taraf nyata $\alpha = 5\%$.

Laju transmisi uap air/ *water vapor transmission* (WVTR) adalah kecepatan uap air dalam menembus film pada kondisi kelembaban dan luas serta waktu tertentu. Pada Tabel 5 terlihat bahwa penambahan NP-ZnO dan ekstrak kunyit mampu menurunkan nilai WVTR film berbasis IPK secara signifikan. NP-ZnO menyebabkan perpindahan air menjadi sulit karena adanya mekanisme jalur

berliku yang semakin panjang sehingga air sulit untuk menembus film. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Nafchi *et al.* (2012) dan Meindrawan *et al.* (2016) yang melaporkan bahwa penambahan NP-ZnO dapat menurunkan permeabilitas uap air secara signifikan pada polimer film yang masing-masing berbasis pati sagu dan karagenan. Begitupun dengan adanya penambahan ekstrak kunyit yang juga mampu menurunkan nilai WVTR. Diduga adanya kandungan senyawa hidrofobik seperti minyak atsiri dan kurkumin yang berikatan hidrogen dengan polimer film sehingga membatasi interaksi antara polimer film dengan air dan menyebabkan difusi molekul air pada permukaan film menurun yang membuat nilai WVTR film pun menurun (Ojagh *et al.* 2010). Hal tersebut didukung oleh pendapat Bitencourt *et al.* (2014) dan Musso *et al.* (2016) yang menyatakan bahwa penambahan ekstrak kunyit mampu menurunkan nilai WVTR film edibel berbasis gelatin.

Total perbedaan warna (ΔE) dari film edibel berbasis IPK terlihat mengalami peningkatan dengan adanya penambahan NP-ZnO dan ekstrak kunyit (Tabel 5). Nilai ΔE merupakan total perbedaan warna yang umum digunakan untuk mengidentifikasi warna produk secara lebih efektif. Meningkatnya nilai ΔE menandakan warna film yang terbentuk cenderung keruh dan tidak bening. Hal ini juga selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Musso *et al.* (2016) dimana penambahan ekstrak kunyit mampu meningkatkan nilai ΔE secara signifikan serta mampu membuat warna film menjadi kuning-oranye. Begitupun dengan adanya penambahan NP-ZnO yang mampu membuat warna film menjadi cenderung keruh. Wardana (2016) membuktikan bahwa penambahan NP-ZnO ke dalam film berbasis tapioka mampu meningkatkan nilai ΔE sehingga film yang dihasilkan cenderung keruh dan cahaya/sinar tidak mampu menembus film.

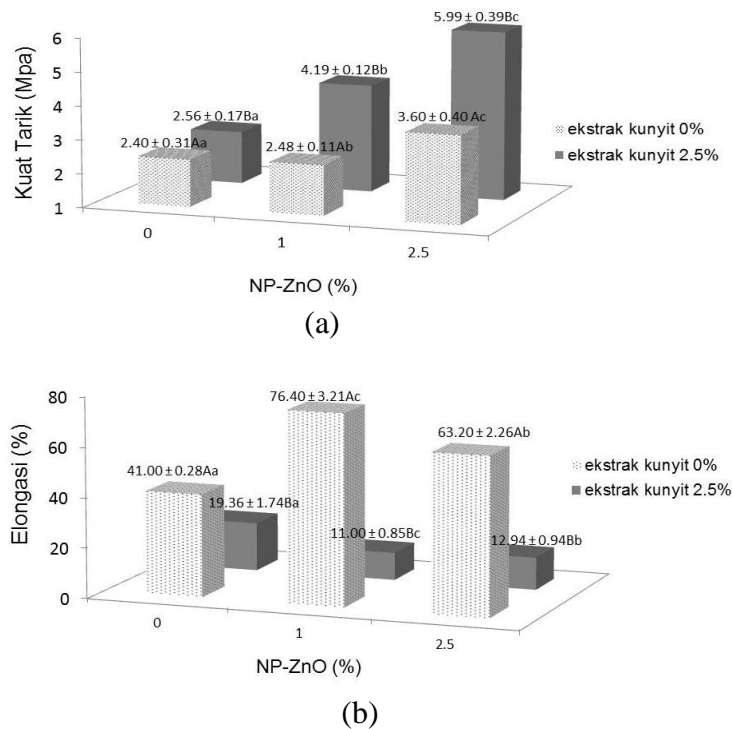


Gambar 7 Film edibel berbasis isolat protein kedelai dengan NP-ZnO dan ekstrak kunyit. a) Z0C0, b) Z1C0, c) Z2C0, d) Z0C2, e) Z1C2, f) Z2C2

Karakteristik Mekanis Film Edibel

Karakteristik mekanis ditinjau dari nilai kuat tarik dan elongasi yang merupakan parameter penting dalam pembentukan film edibel. Kuat tarik dan elongasi film yang dapat dilihat pada Gambar 8. Kuat tarik adalah besarnya gaya tarik maksimum yang dapat ditahan film sebelum putus. Nilai kuat tarik yang tinggi menandakan film yang terbentuk keras dan rapuh. Sedangkan elongasi adalah perubahan panjang maksimum pada saat terjadi perenggangan hingga film putus. Elongasi dikaitkan dengan fleksibilitas film. Semakin tinggi nilai elongasi

maka menandakan film yang terbentuk cenderung elastis. Pada Gambar 8a terlihat bahwa semakin banyak NP-ZnO dan ekstrak kunyit yang ditambahkan kedalam film maka nilai kuat tarik akan semakin meningkat. Uji sidik ragam menunjukkan bahwa NP-ZnO dan ekstrak kunyit memberikan pengaruh nyata terhadap nilai kuat tarik dan elongasi film berbasis IPK. Interaksi keduanya juga berpengaruh nyata terhadap sifat mekanis film.



Gambar 8 Karakteristik mekanis film edibel a) nilai kuat tarik b) nilai elongasi. Angka yang diikuti oleh huruf yang berbeda (kapital: pengaruh konsentrasi ekstrak kunyit, kecil: pengaruh konsentrasi NP-ZnO) menunjukkan perbedaan nyata dari perlakuan pada taraf nyata $\alpha = 5\%$.

Sifat mekanis film sangat dipengaruhi oleh banyaknya bahan pengisi yang digunakan. Adanya kandungan pati pada ekstrak kunyit dan adanya padatan yang berasal dari NP-ZnO membuat interaksi intermolekul antar rantai polimer film menjadi lebih tebal sehingga film sulit putus dan nilai kuat tarik semakin tinggi. Baik dan Song (2017) melaporkan bahwa penambahan NP-ZnO pada film berbasis *Gracilaria vermiculophylla extract* (GVE) dapat meningkatkan nilai kuat tarik dari 38.29 MPa menjadi 41.39 MPa dan menurunkan nilai elongasi dari 18,97% menjadi 16,57%. Begitupun Kalaycioglu *et al.* (2017) yang pada penelitiannya menunjukkan bahwa penambahan ekstrak kunyit mampu meningkatkan kuat tarik film berbasis kitosan dari 32.2 MPa menjadi 47.9 MPa.

Gambar 8b memperlihatkan bahwa semakin tinggi konsentrasi ekstrak kunyit yang ditambahkan ke dalam film maka nilai elongasi semakin menurun. Serupa dengan Liu *et al.* (2016) yang melaporkan bahwa adanya penambahan ekstrak kunyit sebanyak 1% ke dalam polimer film berbasis kitosan mampu menurunkan nilai elongasi dari 79,13 % menjadi 39,41%. Adanya penambahan bahan pengisi akan mempengaruhi sifat mekanis film. Semakin banyak

konsentrasi bahan pengisi ke dalam film akan membuat jumlah padatan semakin banyak dan film akan semakin tebal, namun ruang intermolekular matriks polimer tidak merenggang sempurna sehingga film yang dihasilkan tidak fleksibel (Musso *et al.* 2016).

Aktivitas Antimikroba

Aktivitas antimikroba larutan edibel ditunjukkan pada Tabel 6. Terlihat bahwa penambahan NP-ZnO dan ekstrak kunyit mampu menghambat pertumbuhan bakteri *E.coli* (Gram negatif) namun belum dapat menghambat pertumbuhan bakteri *B.cereus* (Gram positif) karena tidak adanya zona hambat yang terbentuk. Penambahan NP-ZnO sebesar 2.5% tanpa penambahan ekstrak kunyit mampu menghasilkan diameter zona hambat sebesar 4.29 mm. Sementara kombinasinya dengan ekstrak kunyit 2.5% menghasilkan diameter zona hambat yang lebih kecil yaitu 3.18 mm pada bakteri uji *E.coli*. Berdasarkan analisis sidik ragam penambahan NP-ZnO dan ekstrak kunyit memiliki interaksi yang signifikan satu sama lain ($p < 0.05$) dalam menurunkan pertumbuhan bakteri uji *E.coli*. Meskipun diameter zona hambat yang dihasilkan tidak terlalu besar, namun data ini menunjukkan bahwa penambahan NP-ZnO dan ekstrak kunyit memiliki aktivitas antimikroba terhadap *E. coli*. Zona hambat yang dihasilkan pada metode difusi sumur sangat dipengaruhi oleh konsentrasi zat antimikroba dan difusibilitas larutan yang diuji. Berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Danggi (2008) yang menyatakan bahwa penambahan ekstrak kunyit sebesar 2% ke dalam polimer kitosan menunjukkan adanya aktivitas antimikroba terhadap *E.coli* dan *B.cereus*. Ketidaksesuaian hasil ini diduga karena perbedaan polimer dan bahan pengisi yang digunakan.

Tidak adanya zona hambat yang terbentuk pada bakteri uji *B.cereus* diduga karena adanya perbedaan struktur dinding sel mikroba. Bakteri Gram positif memiliki dinding sel dengan lapisan peptidoglikan yang tebal dan tersusun atas rantai linier polisakarida yang saling berikatan silang dengan peptida pendek. Struktur dinding sel yang kompleks ini diketahui dapat menghambat senyawa antimikroba untuk berpenetrasi ke dalam sel (Rhim dan Wang, 2013). Selain itu, diduga karena besarnya konsentrasi padatan dalam larutan IPK mempengaruhi kemampuannya dalam menghambat pertumbuhan bakteri *B.cereus*. Namun hal ini dapat dibuktikan secara lebih baik dengan uji *total plate count* (TPC) pada produk tahu yang tersalut pelapis edibel.

Penambahan NP-ZnO ke dalam film edibel akan membentuk *reactive oxygen species* (ROS) yang mampu menembus dinding sel bakteri (Yousef dan Danial 2012). Aktivitas antibakteri NP-ZnO terjadi karena adanya interaksi antara hidrogen peroksida dengan protein membran, dimana hidrogen peroksida mampu memasuki membran sel bakteri dan menyebabkan kebocoran sel (Singh dan Nanda 2013). Selain itu, ZnO dalam ukuran nanopartikel memberikan efek penghambatan yang jauh lebih efektif dan mampu berpenetrasi ke dalam dinding sel bakteri Gram negatif lebih mudah dibandingkan dengan sel bakteri Gram positif (Dhivya *et al.* 2015). Penambahan ekstrak kunyit juga berkontribusi dalam menghambat pertumbuhan *E.coli*, namun ukuran partikelnya yang jauh lebih besar dari NP-ZnO menyebabkan kemampuannya menghambat bakteri lebih

rendah dibanding ZnO dalam ukuran nanopartikel. Pasaraeng *et al.* (2013) mengungkapkan bahwa kurkumin yang terkandung dalam ekstrak kunyit memiliki mekanisme penghambatan bakteri dengan merusak membran sitoplasma dan mendenaturasi protein sel sehingga mengganggu permeabilitas membran dan menyebabkan kebocoran. Hal ini mengakibatkan keluarnya nutrisi sehingga pertumbuhan sel terhambat dan mati. Putri (2016) menambahkan bahwa kurkumin bekerja secara efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri dengan memecah protein menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana (seperti asam amino) sehingga metabolisme mikroba terhambat dan sel pun mati.

Tabel 6 Aktivitas antimikroba larutan edibel

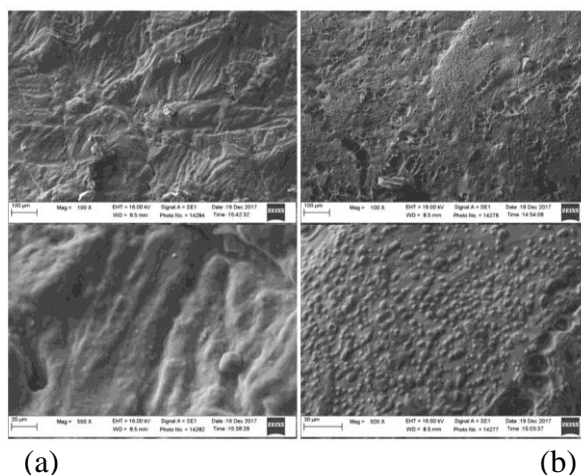
| Konsentrasi ZnO | Konsentrasi ekstrak kunyit | Diameter zona hambat (mm) | |
|-----------------|----------------------------|---------------------------|------------------------|
| | | <i>Escherichia coli</i> | <i>Bacillus cereus</i> |
| 0 % | 0 % | - | - |
| | 2.5 % | 3.03 ± 0.03 | - |
| 1 % | 0 % | 2.54 ± 0.26 | - |
| | 2.5 % | 2.25 ± 0.04 | - |
| 2.5 % | 0 % | 4.29 ± 0.06 | - |
| | 2.5 % | 3.18 ± 0.95 | - |

Keterangan: (-) = tidak ada zona hambat

Aplikasi Pelapis Edibel Berbasis IPK dengan NP-ZnO dan Ekstrak Kunyit pada Tahu

Struktur Morfologi Tahu

Gambar 9 menunjukkan struktur mikroskopis permukaan tahu yang diamati menggunakan SEM pada perbesaran 100x dan 500x. Terlihat struktur permukaan tahu tanpa pelapis edibel cenderung lebih halus tanpa retakan, sedangkan tahu dengan pelapis edibel cenderung kasar dan terdapat retakan. Konsentrasi IPK yang cukup besar yaitu 5 gram/100 mL larutan dan adanya pengeringan pada sampel tahu dengan pelapis edibel menyebabkan hilangnya air dan mengakibatkan tingkat konformasi protein berubah (Hasdar *et al.* 2011) sehingga menyebabkan adanya retakan pada permukaan tahu. Terlihat pula pada Gambar 9 terdapat gelembung-gelembung yang diduga merupakan protein globular yang menyalut permukaan tahu sehingga lapisan tahu menjadi tidak rata. Adanya penambahan NP-ZnO memungkinkan terjadinya agregasi antar partikel yang dapat mengganggu kekompakan dan kehalusan permukaan pelapis (Wardana 2016). Namun, keberadaan NP-ZnO dan ekstrak kunyit tidak terlihat jelas. Diduga NP-ZnO dan ekstrak kunyit tersalut dengan baik oleh matriks polimer isolat protein kedelai. Struktur permukaan yang terlihat kompak dan menyebar sempurna ini menandakan isolat protein kedelai mampu membentuk lapisan pada permukaan tahu dengan baik.

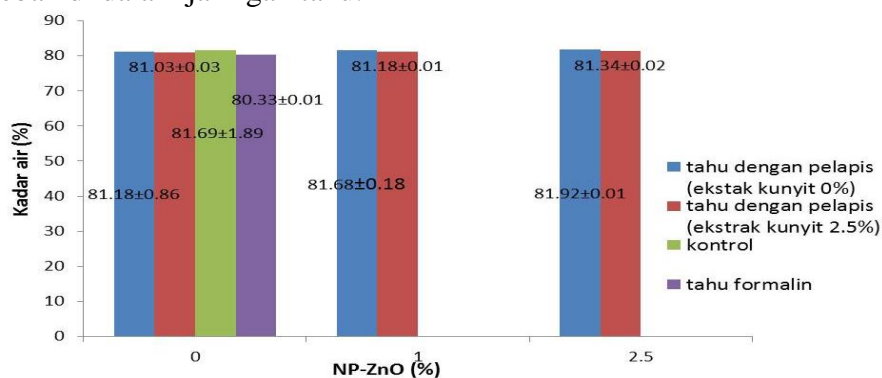


Gambar 9 Morfologi tahu tanpa pelapis (a) dan tahu dengan pelapis (b)

Kadar Air

Kandungan air dalam produk tahu dapat menentukan kesegaran dan daya terima produk tersebut terhadap konsumen. Berdasarkan hasil analisis sidik ragam pelapis edibel berbasis IPK dengan penambahan NP-ZnO dan ekstrak kunyit tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap kadar air tahu ($p>0.05$). Serupa dengan penelitian Danggi (2008) yang melaporkan bahwa kadar air tahu dengan pelapis edibel berbasis kitosan dengan penambahan ekstrak kunyit memiliki nilai yang tidak berbeda nyata dengan tahu tanpa pelapis. Kadar air tahu dapat dilihat pada Gambar 10.

Kadar air merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan kualitas tahu, karena kadar air akan mempengaruhi tekstur dan aktivitas mikroorganisme pembusuk. Semakin tinggi kadar air maka tahu akan menjadi lunak dan aktivitas mikroorganisme akan meningkat sehingga membuat tahu menjadi cepat rusak. Adanya pelapis edibel mampu menutup permukaan produk sehingga dapat menghalangi masuknya uap air dari lingkungan ke dalam produk. Kadar air tahu erat kaitannya dengan daya ikat air dari protein. Adanya gugus-gugus polar dan non-polar pada protein menyebabkan terjadinya gaya kohesi antara molekul polar pada protein dan molekul polar pada air yang mengakibatkan air terjebak di dalam jaringan tahu.



Gambar 10 Kadar air tahu

Profil Tekstur Tahu

Pengukuran tekstur tahu pada penelitian ini dilakukan secara mekanik karena memberikan hasil yang lebih objektif dan menggambarkan tekstur sampel secara keseluruhan dalam proses pengunyahan. Sifat mekanik bahan pangan diukur menggunakan gaya, tekanan, dan gesekan yang menghasilkan perubahan bentuk menggunakan alat *Texture Analyzer TA-XT2i*. Parameter tekstur yang diukur pada penelitian ini meliputi kekerasan (*hardness*) dan kekenyalan (*springiness*). Dimana kekerasan (*hardness*) adalah daya tahan untuk pecah/patah akibat gaya tekanan pertama yang diberikan dan dikenal juga sebagai *firmness*, sedangkan kekenyalan (*springiness*) merupakan kemampuan produk kembali ke kondisi semula setelah diberikan tekanan yang ditentukan dari perbandingan gaya maksimum pada tekanan kedua (L2) dan gaya maksimum pada tekanan pertama (L1) (Bourne 1978).

Hasil pengukuran tekstur tahu disajikan pada Tabel 7. Berdasarkan hasil uji sidik ragam terdapat perbedaan yang nyata antara masing-masing perlakuan terhadap nilai kekerasan dan kekenyalan ($p < 0.05$). Terlihat pada Tabel 7 bahwa tahu dengan pelapis memiliki nilai kekerasan (*hardness*) yang lebih tinggi dibanding kontrol. Tahu dengan nilai kekerasan yang lebih tinggi menandakan tahu tersebut memiliki kemampuan menahan air (*Water holding capacity*) yang rendah. Oleh karena itu bila bahan pangan memiliki kemampuan menahan air yang rendah maka makin rendah kadar air tahu dan semakin tinggi nilai kekerasan. Selain itu protein juga berpengaruh terhadap tekstur tahu. Yulianti (2003) mengemukakan bahwa tingginya kekerasan berkorelasi positif dengan produk yang diberi pelapis berbasis isolat protein kedelai. Karena protein kedelai termasuk protein globular yang dapat membentuk matriks protein yang rigid sehingga dapat mempengaruhi tekstur suatu bahan pangan. Sama halnya dengan kekenyalan tahu yang sangat dipengaruhi oleh kadar air. Semakin tinggi kadar air maka tekstur tahu menjadi kenyal. Setyadi (2008) menyatakan bahwa peningkatan kekenyalan pada tahu berhubungan dengan naiknya kadar air pada tahu. Dengan demikian, adanya pelapis edibel berbasis IPK dengan penambahan NP-ZnO dan ekstrak kunyit tidak memiliki kontribusi yang signifikan terhadap tekstur tahu namun disisi lain adanya pelapis edibel tidak mengurangi mutu tekstur dari produk tahu.

Penelitian ini tidak mengukur evaluasi tekstur secara sensorik, namun beberapa penelitian membuktikan bahwa tahu dengan pelapis edibel memiliki tekstur yang mirip dengan tahu pasar pada umumnya (Rohim *et al.* 2015). Pada penelitiannya, Rohim *et al.* (2015) melaporkan bahwa tahu dengan pelapis berbasis kitosan memiliki tingkat kesukaan yang cukup tinggi. Hal ini menandakan tahu dengan pelapis dan tanpa pelapis edibel memiliki karakteristik yang hampir mirip sehingga masih dapat diterima panelis/konsumen.

Tabel 7 Hasil pengukuran tekstur tahu meliputi kekerasan (*hardness*) dan kekenyalan (*springiness*)

| Sampel | Perlakuan | | Kekerasan (<i>hardness</i>) (g) | Kekenyalan (<i>springiness</i>) |
|----------------------------|---------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | NP-ZnO (%) | Ekstrak kunyit (%) | | |
| Kontrol | 0 | 0 | 3451.05±0.07 ^a | 0.22±0.00 ^b |
| Tahu Formalin | 0 | 0 | 4242.55±138.80 ^b | 0.28±0.01 ^c |
| Tahu dengan pelapis edibel | | | | |
| Z0C0 | 0 | 0 | 6399.20±274.07 ^c | 0.17±0.03 ^a |
| Z1C0 | 1 | 0 | 6694.15±73.89 ^c | 0.22±0.00 ^b |
| Z2C0 | 2.5 | 0 | 4719.15±368.89 ^b | 0.28±0.00 ^c |
| Z0C2 | 0 | 2.5 | 6412.75±146.30 ^c | 0.27±0.00 ^{bc} |
| Z1C2 | 1 | 2.5 | 4728.40±267.71 ^b | 0.27±0.00 ^{bc} |
| Z2C2 | 2.5 | 2.5 | 4498.40±66.75 ^b | 0.28±0.04 ^c |

Keterangan: Angka yang diikuti huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata pada $\alpha = 5\%$.

Umur Simpan Tahu

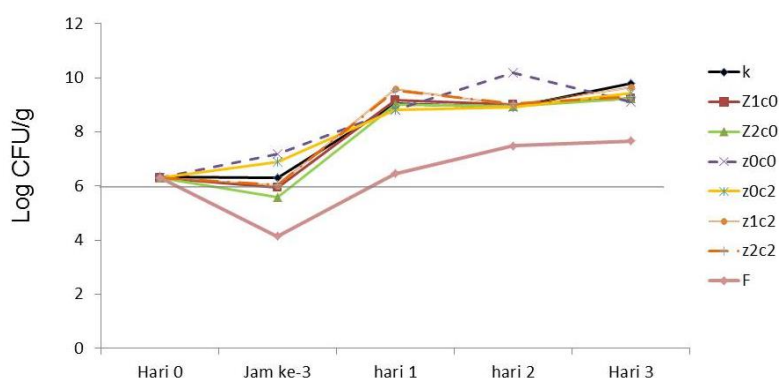
Pengukuran umur simpan pada penelitian ini ditinjau dari sifat mikrobiologisnya yang menunjukkan pertumbuhan jumlah koloni mikroba dalam bahan makanan sehingga mempengaruhi daya terima produk pada konsumen. Analisis mikrobiologi yang dilakukan pada penelitian ini adalah analisis TPC (*Total Plate Count*). SII 0270-1990 menyatakan bahwa batas cemaran mikroba pada produk tahu adalah sebesar 6 log cfu/g. Tahu yang digunakan pada penelitian ini memiliki jumlah mikroba 6.3 log cfu/g. Hal ini menandakan tahu yang diperoleh dari produsen tidak dapat dikontrol jumlah mikroba awalnya. Berbeda dengan jumlah mikroba awal pada tahu yang dibuat sendiri. Abdurrahman (2018) menyatakan bahwa tahu yang di buat sendiri dapat dikontrol jumlah mikroba awalnya hingga 10^3 cfu/g. Umumnya makanan dengan jumlah mikroba mencapai 10^6 cfu/g diasumsikan sudah mendekati rusak namun penentuan akhir dari angka ini membutuhkan perbandingan dengan penurunan mutu fisik dari produk tersebut.

Umumnya fase pertumbuhan bakteri dimulai dari *lag phase* yaitu kondisi dimana mikroba berada pada tahap adaptasi dan mempersiapkan diri untuk pembelahan sel. *Logarithmic phase* dimana jumlah sel-sel bakteri mengalami pembelahan dengan sangat cepat. Selanjutnya *stationary phase* yaitu fase dimana pembelahan sel masih dalam keadaan seimbang, jumlah sel yang tumbuh sama dengan jumlah sel yang mati. Pada fase ini sangat dipengaruhi oleh faktor nutrisi. Kemudian dilanjutkan dengan *death phase* atau fase kematian, yang terjadi akibat sel telah kehabisan nutrisi sehingga sel tidak dapat melakukan pembelahan dan laju kematian mikroba lebih besar dari pada laju pertumbuhan (Sya'di *et al.* 2012). Pertumbuhan mikroba yang ditunjukkan pada Gambar 11 telah mengikuti

pola perumbuhan bakteri tersebut, namun berbeda dengan sampel tahu formalin (F) yang mengalami penurunan cukup signifikan pada fase lag.

Pada Gambar 11 diketahui bahwa pada pengamatan di jam ke-3 hampir seluruh perlakuan mengalami penurunan jumlah mikroba dan masih dibawah ambang batas aman konsumsi kecuali perlakuan Z0C0. Hal ini dikarenakan sampel Z0C0 merupakan sampel tahu yang diberi pelapis edibel berbasis IPK tanpa penambahan NP-ZnO dan ekstrak kunyit. IPK diketahui tidak memiliki daya hambat terhadap mikroorganisme, sehingga nilai total mikroba yang dihasilkan pada sampel Z0C0 tidak mengalami penurunan. Serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh Guerrero *et al.* (2015) yang menyatakan bahwa daging *patty* tidak mengalami penurunan jumlah mikroba ketika diberi perlakuan dengan pelapis berbasis IPK hingga hari ke-14 penyimpanan. Adanya penurunan jumlah mikroba pada tahu di jam ke-3 penyimpanan mengindikasikan bahwa pelapis edibel mampu menghambat pertumbuhan mikroba pada permukaan tahu namun belum mampu menghambat pertumbuhan mikroba yang sudah ada pada tahu.

Berdasarkan analisis sidik ragam, tahu dengan formula Z2C0 dimana konsentrasi NP-ZnO sebesar 2.5% tanpa penambahan ekstrak kunyit menunjukkan nilai total mikroba terendah pada penyimpanan di jam ke-3 yaitu 5.51 log cfu/g dan memberikan pengaruh nyata dibandingkan dengan perlakuan lain. Pada pengamatan hari ke-1 semua sampel tahu sudah mengalami peningkatan jumlah mikroba hingga 9.6 log cfu/g, namun secara fisik belum menunjukkan adanya penurunan mutu pada penyimpanan hari ke-1. Pada penyimpanan hari ke-2 hingga hari ke-3 mutu tahu secara fisik sudah mengalami penurunan ditandai dengan tekstur tahu yang berubah lembek dan berair. Ginting *et al.* (2015) melaporkan bahwa mikroorganisme pembusuk yang terdapat pada tahu mampu mendegradasi protein menjadi senyawa yang lebih sederhana dan menyebabkan protein tidak dapat mengikat air sehingga menyebabkan tekstur tahu menjadi lunak.

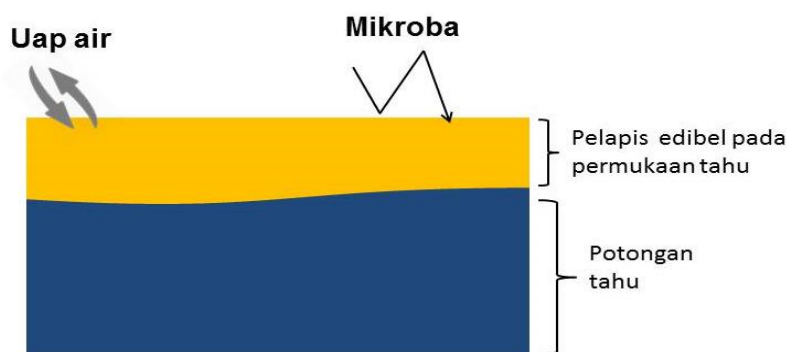


Gambar 11 Total mikroba tahu selama penyimpanan suhu ruang (27°C)

Adanya penambahan NP-ZnO pada perlakuan Z2C0 memiliki efektivitas antibakteri yang lebih baik karena berukuran kecil (≤ 100 nm) dan luas permukaan yang lebih besar, sehingga memungkinkan interaksi yang lebih baik dengan bakteri. Hal ini didukung oleh hasil penelitian yang dilakukan oleh Emamifar *et al.* (2011) yang melaporkan bahwa penambahan 1% NP-ZnO kedalam kemasan berbasis LDPE mampu menurunkan pertumbuhan *L. plantarum* dan mampu

memperpanjang umur simpan jus jeruk hingga hari ke-7 penyimpanan. Wardana (2016) menambahkan penggunaan NP-ZnO sebagai *filler* dalam pembuatan pelapis nanokomposit berbasis tapioka dapat memperpanjang umur simpan mangga terolah minimal hingga hari penyimpanan ke-6. Mekanisme penghambatan mikroba oleh NP-ZnO telah banyak dilaporkan. ZnO dapat memproduksi hidrogen peroksida (H_2O_2) yang akan berinteraksi dengan membran sel bakteri sehingga sel mengalami kebocoran (Yousef dan Danial 2012). Selain itu, NP-ZnO dapat berinteraksi dengan gugus fosfor dalam DNA sel yang akan menyebabkan sel kehilangan kemampuan replikasi dan mencegah pembelahan sel sehingga pertumbuhan sel pun terhambat (Arabi *et al.* 2012). Namun, menurut regulasi EU No 10/2011 makanan yang mengalami kontak dengan seng memiliki batasan yaitu 25 mg/kg produk dan menurut *dietary references intakes* (DRI) batas maksimal ZnO yang dapat dikonsumsi manusia adalah 40 mg/hari. Pada penelitian ini jumlah NP-ZnO yang digunakan relatif dalam konsentrasi rendah sehingga masih dalam batas aman untuk dikonsumsi.

Penambahan ekstrak kunyit juga berkontribusi dalam menurunkan total mikroba pada tahu. Hal ini didukung oleh penelitian Danggi (2008) yang melaporkan bahwa penambahan ekstrak kunyit kedalam pelapis berbasis kitosan mampu menurunkan jumlah mikroba lebih baik dibandingkan kontrol dan dapat memperpanjang umur simpan tahu. Sementara itu, adanya senyawa kurkumin yang terkandung didalam ekstrak kunyit dapat berinteraksi dengan dinding sel bakteri dan berpenetrasi ke dalam sel sehingga menyebabkan terjadinya denaturasi protein yang mengakibatkan lisisnya membran sel bakteri (Dermawaty 2015). Penambahan NP-ZnO dan ekstrak kunyit yang bersifat antimikroba akan meningkatkan kemampuan IPK sebagai bahan dasar pelapis. Dimana diketahui IPK dapat membentuk lapisan pada permukaan tahu dan berfungsi sebagai penghalang uap air, gas, dan juga migrasi mikroba. Pertumbuhan mikroba pembusuk yang bersifat aerob awalnya akan tumbuh pada bagian permukaan, dengan adanya pelapis edibel ini akan menghalangi migrasi mikroba yang dapat mengkontaminasi produk pada bagian permukaan. Hal ini lah yang menyebabkan tahu dengan pelapis edibel memiliki jumlah mikroba yang cenderung lebih rendah dibanding tahu tanpa pelapis edibel. Ilustrasi penghambatan pelapis edibel terhadap kontaminasi mikroba dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12 Ilustrasi penghambatan pelapis edibel terhadap kontaminasi mikroba (Danggi 2008)

5 SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Penambahan NP-ZnO mampu meningkatkan ketebalan film, menurunkan nilai WVTR, meningkatkan perbedaan warna (ΔE), meningkatkan kuat tarik dan elongasi. Kombinasi NP-ZnO 1% dan 2.5% (b/b) serta ekstrak kunyit 2.5% (b/b) mampu menurunkan nilai WVTR, meningkatkan perbedaan warna (ΔE), meningkatkan kuat tarik, menurunkan elongasi film berbasis IPK dan mampu menghambat pertumbuhan bakteri *E. coli* namun belum mampu menghambat pertumbuhan *B. cereus*. Aplikasi pelapis berbasis IPK dengan NP-ZnO dan ekstrak kunyit pada tahu mampu menghasilkan morfologi permukaan tahu yang lebih kompak dibandingkan dengan tahu tanpa pelapis serta mampu meningkatkan tekstur. Adanya pelapis edibel mampu menurunkan jumlah mikroba pada permukaan tahu namun belum mampu menurunkan jumlah awal mikroba pada tahu. Penurunan jumlah mikroba tertinggi terjadi pada penyimpanan tahu di hari ke-0 pada jam ke-3 yaitu dari 6 log cfu/g menjadi 5.51 log cfu/g, sementara seluruh sampel tahu mengalami penurunan mutu pada penyimpanan hari ke-2 dimana total mikroba telah melewati ambang batas cemaran mikroba pada tahu dan tekstur tahu menjadi lembek dan berair. Formula terbaik yang diperoleh adalah Z2C0 yaitu pelapis edibel berbasis IPK dengan konsentrasi NP-ZnO sebesar 2.5% (b/b) tanpa penambahan ekstrak kunyit.

Saran

Pemilihan sampel tahu haruslah yang bermutu baik dengan jumlah mikroba dibawah 6 log cfu/g. Pada penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan tahu dengan jumlah mikroba awal yang dapat dikontrol dan dapat dilakukan pengamatan tahu dengan pelapis edibel pada suhu yang bervariasi serta uji organoleptik untuk mendapatkan kondisi terbaik dalam memperpanjang umur simpan dan mempertahankan kualitas tahu.

DAFTAR PUSTAKA

- [AOAC] Association of Official Analytical Chemists (US). 2005. Official Methods of Analysis (18 Edn). Association of Official Analytical Chemists. AOAC, Inc. Mayland.
- [ASTM] American Society for Testing and Material (US). 1993. Standard Test Method For Water Vapor Transmission Rate Through Plastic Film And Sheeting Using A Modulated Infrared Sensor. Annual Book of American Standard Testing Methods D1249-90. Philadelphia.

- [ASTM] American Society for Testing and Material (US). 2002. Standard Test Method For Tensile Properties Of Plastics. Standard Designation: D 882-02. Philadelphia.
- Abdurrahman M. 2018. Aplikasi nanocoating berbasis kitosan dan nanopartikel ZnO untuk pengawetan produk tahu [Skripsi]. Bogor (ID). Institut Pertanian Bogor.
- Alves MM, Goncalves MP, Rocha CMR. 2017. Effect of ferulic acid on the performance of soy protein isolate-based edible coatings applied to fresh-cut apples. *Food Science and Technology*. 80: 409-415.
- Amaliya RR, Putri WDR. 2014. Karakterisasi edibel film dari pati jagung dengan penambahan filtrat kunyit putih sebagai antibakteri. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*. 2 (3): 45-53.
- Arabi F, Imandar M, Negahdary M, Imandar M, Noughabi MT, Akbari-dastjerdi H, Fazilati M. 2012. Investigation anti-bacterial effect of zinc oxide nanoparticles upon life of *Listeria monocytogenes*. *Annals of Biological Research*. 3(7): 3679-3685.
- Arfat YA, Benjakul S, Prodpran T, Sumpavapol P, Songtipya P. 2015. Physico-mechanical characterization and antimicrobial properties of fish protein isolate/fish skin gelatin-zinc oxide (ZnO) nanocomposite films. *Food Bioprocess Technology*. 9(1): 101-112.
- Baek SK, Song KB. 2017. Development of *Gracillaria vermiculophylla* extract films containing zinc oxide nanoparticles and their application in smoked salmon packaging. *Journal of Food Science and Technology* 89: 269-275.
- Banker GS. 1966. Film coating, theory and practice. *Journal of Pharmaceutical Science*. 55(1): 81-89.
- [BAM] Bacteriological Analytical Manual (US). 2001. Aerobic plate count chapter 3. [Internet]. (<http://www.fda.gov/LaboratoryMethods/ucm114664.htm>) [diakses pada 20 Januari 2018].
- Bitencourt CM, Trindade CSF, Sobral PJA, Carvalho RA. 2014. Gelatin-based films additivated with curcuma ethanol extract: antioxidant activity and physical properties of films. *Food Hydrocolloids*. 40: 145-152.
- Bonilla AM, Garcia MF. 2012. Polymeric materials with antimicrobial activity. *Progress in Polymer Science*. 37(2): 281-339.
- Bourne MC, Kenny JF, Barnard. 1978. Computer-assisted readout of data from texture profile analysis curves. *Journal of Texture Studies*. 9: 481-494.
- [BPOM] Badan Pengawas Obat dan Makanan. 2006. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor : 722/ Menkes/ Per/ IX/ 1988 tentang Bahan Tambahan Makanan. [Internet]. <http://pom.go.id>. [di akses pada 21 Oktober 2016].
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2014. Konsumsi Rata-rata per Kapita Seminggu Beberapa Macam Bahan Makanan Penting Periode 2007-2014. [Internet] <https://www.bps.go.id/>. [diunduh pada 28 November 2016].
- Cazon P, Velazquez G, Ramirez JA, Vazquez M. 2016. Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: a review. *Food Hydrocolloids*. 68: 136-148.

- Danggi E. 2008. Aplikasi kitosan dengan penambahan esensial oil kunyit sebagai pengawet dan edibel coating produk tahu [Tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Depkes RI. 2005. *Daftar Komposisi Bahan Makanan (DKBM)*. Jakarta (ID): Departemen Kesehatan RI.
- Dewi PJN, Hartiati A, Mulyani S. 2016. pengaruh umur panen dan tingkat maserasi terhadap kandungan kurkumin dan aktivitas antioksidan ekstrak kunyit (*Curcuma domestica* Val.). *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*. 4(2): 101-111.
- Dermawaty DE. 2015. Potential extract Curcuma (*Curcuma xanthorrhizal*, Roxb) as antibacterials. *Jurnal Majority*. 4(1): 5-11.
- Dhivya RJ, Ranjani J, Rajendhran M, Rajasekaran J, Annaraj. 2015. Ph responsive curcumin/ ZnO nanocomposite for drug delivery. *Advanced Material Letters*. 6(6): 505-512.
- Emamifar A, Kadivar M, Shahedi M, Zad SS. 2011. Effect of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on inactivation of *Lactobacillus plantarum* in orange juice. *Food Control*. 22: 408 - 413.
- Embuscado ME, Huber KC. 2009. *Edibel Film and Coating for Food Application*. New York (USA): Springer.
- Emiroglu ZK, Yemis GP, Coskun BK, Candogan K. 2010. Antimicrobial activity of soy edible films incorporated with thyme and oregano essential oils on fresh ground beef patties. *Meat Science*. 86: 283-288.
- Espitia PJP, Soares NFF, Coimbra JSR, Andrade NJ, Cruz RS, Medeiros EAA. 2012. Zinc oxide nanoparticles: synthesis, antimicrobial activity, and food packaging applications. *Food Bioprocess Technology*. 5: 1447-1464.
- Ghidelli C, Mateos M, Argudo CR, Gago MBP. 2014. Extending the shelf-life of fresh-cut eggplant with a soy protein-cysteine based edible coating and modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology*. 95: 81-87.
- Ginting C, Ginting S, Suhaidi I. 2015. Pengaruh jumlah bubuk kunyit terhadap mutu tahu segar selama penyimpanan pada suhu ruang. *Jurnal Rekayasa Pangan dan Pertanian*. 2(4): 52-60.
- Guerrero P, O'Sullivan MG, Kerry JP, Caba KDL. 2015. Application of soy protein coating and their effect on the quality and shelf-life stability of beef patties. *Royal Society of Chemistry Advances*. 5: 8182-8189.
- Hasdar M, Erwanto Y, Triatmojo S. 2011. Karakteristik edible film yang diproduksi dari kombinasi gelatin kulit kaki ayam dan soy protein isolate. *Buletin Peternakan*. 35(3): 188-196.
- Ibrahim S, Soliman O, Sultan M, Aziz A. 2017. Synergistic antimicrobial effect of xylitol with curcumin: water vapor barrier, mechanical and thermal properties of PSS/PVA packaging films. *International Journal of Applied Engineering Research*. 20: 10360-10366.
- Kahfi DC. 2017. Formalin dicampur di adonan tahu. [Internet]. <http://megapolitan.kompas.com>. [diunduh pada 21 Januari 2018].
- Kalaycioglu Z, Torlak E, Evingur GA, Ozen I, Erim B. 2017. Antimicrobial and physical properties of chitosan films incorporated with turmeric extract. *International Journal of Biological Macromolecules*. 101: 882-888.

- Kavas N, Kavas G. 2017. Use of turmeric (*Curcuma longa* L.) essential oil added to an egg white protein powder-based film in the storage of cokelek cheese. *Journal of Food Chemistry and Nanotechnology*. 3(3): 105-110.
- Koshy RR, Mary SK, Thomas S, Pothan LA. 2015. Environment friendly green composites based on soy protein isolate – a review. *Food Hydrocolloids*. 50: 174-192.
- Krochta JM, Johnston MC. 1997. Edible and Biodegradable Polymer Films: Challenges and Opportunities. *Food Technology*. 51(2): 61 – 74.
- Li JH, Hong RY, Li MY, Li HZ, Zheng Y, Ding J. 2009. Effects of ZnO nanoparticles on the mechanical and antibacterial properties of polyurethane coatings. *Progress in Organic Coatings*. 64(4): 504-509.
- Liu F, Tang CH. 2013. Emulsifying of soy protein nanoparticles: influence of the protein concentration and/or emulsification process. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 62: 2544-2654.
- Liu Y, Cai Y, Jiang X, Wu J, Le X. 2016. Molecular interactions, characterization and antimicrobial activity of curcumin-chitosan blend films. *Food Hydrocolloids*. 52: 564-572.
- Manninen H, Paakki M, Hopia A, Franzen R. 2015. Measuring the green color of vegetables from digital images using image analysis. *Food Science and Technology*. 63 (2): 1184-1190.
- Matan N. 2012. Antimicrobial activity of edible film incorporated with essential oils to preserve dried fish (*Decapterus maruadsi*). *International Food Research Journal*. 19(4): 1733-1738.
- Meindrawan B, Suyatna NE, Muchtadi TR, Iriani ES. 2016. preparation and characterization of bionanocomposite film made from carrageenan, beeswax and ZnO nanoparticles. *Materials Science Forum*; 2016 June 02; Ottawa, Canada (USA): *Trans Tech Publication*. 872: 157-161.
- Mostafa AA. 2015. Antibacterial activity of zinc oxide nanoparticles against toxigenic *Bacillus cereus* and *Staphylococcus aureus* isolated from some Egyptian food. *International Journal of Microbiological Research*. 6(2): 145-154.
- Muchtadi D. 2013. *Prinsip Teknologi Pangan Sumber Protein*. Bandung (ID): Penerbit Alfabeta.
- Musso YS, Salgado PR, Mauri AN. 2016. Smart edible films based on gelatin and curcumin. *Food Hydrocolloids*. 66: 8-15.
- Murdia LK, Wadhvani R. 2010. Effect of processing parameters on texture and yield of tofu. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*. 3(2): 232-241.
- Nafchi AM, Alias AK, Mahmud S, Robal M. 2012. Antimicrobial rheological and physicochemical properties of sago starch film filled with nanorods rich zinc oxide. *Journal of Food Engineering*. 113 (4): 511-519.
- Nitha B, Remashree AB, Balachandran I. 2012. Antimicrobial activity of some selected Indian medicinal plants. *International Journal of Pharmaceutical Science and Research*. 3 (7): 2038-2042.
- No HK., Park NY, Lee SH, Hwang HJ, Meyers SP. 2006. Antibacterial activities of chitosans and chitosan oligomers with different molecular weights on spoilage bacteria isolate from tofu. *Journal of Food Science*. 67(4): 1511-1514.

- Ojagh SM, Rezaei M, Razavi SH, Hosseini SMH. 2010. Development and evaluation of a novel biodegradable film made from chitosan and cinnamon essential oil with low affinity toward water. *Food Chemistry*. 122(1): 161-166.
- Panea B, Ripoll G, Gonzalez J, Cuello AF, Alberti P. 2014. Effect of nanocomposite packaging containing different proportions of ZnO and Ag on chicken breast meat quality. *Journal of Food Engineering* 123: 104-112.
- Pasaraeng E, et al. 2013 Pemanfaatan Rimpang Kunyit (*Curcuma domestica* Val) Dalam Upaya Mempertahankan Mutu Ikan Layang (*Decapterus* sp). *Jurnal MIPA Unsrat*. 2(2): 84-87.
- Paulucci VP, Couto RO, Teixeira CCC, Freitas LAP. 2012. Optimization of the extraction of curcumin from *Curcuma longa* rhizomes. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*. 23(1): 94-100.
- Putri GR. 2016. Penambahan kunyit terhadap masa simpan nugget jagung. *Jurnal Ilmiah Teknologi Industri (SAINTI)*. 13(1): 1-9.
- Rahmawati F. 2013. Materi kegiatan teknologi proses pengolahan tahu dan pemanfaatan limbahnya. [Internet]. Universitas Negeri Yogyakarta [diunduh pada 30 Oktober 2016].
- Rhim JW, Wang LF. 2013. Mechanical and water barrier properties of agar/ κ -carrageenan/konjac glucomannan tertiary blend hydrogel film. *Carbohydrat Polymers*. 96:71-81.
- Rohim M, Destiarti L, Zaharah TA. 2015. Uji organoleptis produk tahu tersalut kitosan (tahu-edibel coating kitosan). *Jurnal Kimia dan Kemasan*. 4(3): 54-58.
- Rusli A, Metusalach, Salengke, Tahir MM. 2017. Karakterisasi edibel film karagenan dengan pemlastis gliserol. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 20: 219-229.
- Sabarisman I, Suyatma NE, Ahmad U, Taqi FM. 2015. Application of nanocoating based on pectin and ZnO nanoparticle to maintain the freshness of snake fruits. *Jurnal Mutu Pangan*. 2(1): 50-56.
- Sari A, Asterina, Adrial. 2014. Perbedaan Kadar Formalin pada Tahu yang Dijual di Pasar Pusat Kota dengan Pinggiran Kota Padang. [Internet]. <http://jurnal.fk.unand.ac.id> [diunduh pada 16 November 2016].
- Setyadi D. 2008. Pengaruh pencelupan tahu dalam pengawet asam organik terhadap mutu sensori dan umur simpan. [Skripsi]. Bogor (ID). Institut Pertanian Bogor.
- Shon J, Choi YH. 2011. Effect of edible coatings containing soy protein isolate (SPI) on the browning and moisture content of cut fruit and vegetables. *Journal Applies Biological Chemistry*. 54(3): 190-196.
- Singh P, Nanda A. 2013. Antimicrobial and antifungal potential of zinc oxide nanoparticles in comparison to conventional zinc oxide particles. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 5(11): 457-463.
- Silva MAD, Bierhalz ACK, Kieckbusch TG. 2015. Alginate and pectin composite films crosslinked with Ca^{2+} ions: effect of the plasticizer concentration. *Carbohydrate Polymers*. 77: 736-742.
- Skudlarek JRG. 2012. Antimicrobial efficacy of edibel soy protein isolat films and coating incorporated with hop ethanol extract and the influence on

- shelf-life and sensory attributes of bologna [Dissertation]. Kentucky (USA). University of Kentucky.
- Sya'di YK, Rahayu ES, Cahyanto MN. 2015. Pemanfaatan hasil fermentasi whey tahu menggunakan isolat *Pediococcus acidilactici* F11 sebagai alternatif koagulan pada pembuatan tahu. *Jurnal Ilmiah Teknosains* 1: 7-13.
- Tayel AA, El-tras WF, Moussa S, El-baz AF, Mahrous H, Salem MF, Brimer L. 2010. Antibacterial action of zinc oxide nanoparticles against foodborne pathogens. *Journal of Food Safety*. 31(2): 211-218.
- Tosati JV, Messias VC, Carvalho PIN. 2017. Antimicrobial effect of edible coating blend based on turmeric starch residue and gelatin applied onto fresh frankfurter sausage. *Food Bioprocess Technol*. 10(12): 2165-2175.
- Utami R, Nurhartadi E, Putra AYT. 2013. Pengaruh penambahan minyak atsiri kunyit putih (*Kaempferia rotunda*) pada edible film pati tapioka terhadap aktivitas antimikroba dan sensoris. *Jurnal Teknosains Pangan*. 2(2): 51-56.
- Wan VCH, Kim MS, Lee SY. 2005. Water vapor permeability and mechanical properties of soy protein isolat edibel films composed of different plasticizer combinations. *Journal of Food Science*. 70 (6): 387-391.
- Wardana AA. 2016. Pembuatan pelapis bionanokomposit dari tapioka, nanopartikel zno dan asam stearat serta aplikasinya pada mangga terolah minimal [Tesis]. Bogor (ID). Institut Pertanian Bogor.
- Wardana AA, Suyatma EN, Muchtadi TR, Yuliani S. 2017. Pengaruh pelapis bionanokomposit terhadap mutu buah mangga terolah minimal. *Jurnal Keteknik Pertanian*. 5(1): 81-88.
- Hartati SY. 2013. Khasiat kunyit sebagai obat tradisional dan manfaat lainnya. <http://perkebunan/litbang.pertanian.go.id> [Internet]. Diperbarui 16 Desember 2015; [diunduh pada 1 Desember 2016]; Vol. 19: 2.
- Widyasari LEA. 2000. Aplikasi edibel film dari isolat protein kedelai dan asam lemak untuk pengawet buah salak pondoh (*Sallaca edulis reinw.*) [Skripsi]. Bogor (ID). Institut Pertanian Bogor.
- Xia X, Cheng G, Pan Y, XiaZH, Kong LD. 2007. Behavioral, neurochemical and neuroendocrine effects of the ethanolic extract from *Curcuma longa* L. in the mouse forced swimming test. *Journal of Ethnopharmacology*. 110: 356-363.
- Yousef JM, Danial EN. 2012. In vitro antibacterial activity and minimum inhibitory concentration of zinc oxide and nano-particle zinc oxide against pathogenic strains. *Journal of Health Sciences*. 2 (4): 38 - 42.
- Yousuf B, Srivastava AK. 2016. A novel approach for quality maintenance and shelf life extension of fresh-cut kajari melon: effect of treatments with honey and soy protein isolate. *Food Science and Technology*. 79: 568-578.
- Yue GG, Chan BC, Hon PM, Kennelly EJ, Yeung SK, Cassileth BR, Fung KP, Leung PC, Lau CB. 2010. Immunostimulatory activities of polysaccharide extract isolated from *Curcuma longa*. *International Journal of Biological Micromolecules*. 47: 342 – 347.
- Yulianti T. 2003. Mempelajari pengaruh karakteristik isolat protein kedelai terhadap mutu sosis. [Tesis]. Bogor (ID). Institut Pertanian Bogor.
- Yunita M, Hendrawan Y, Yulianingsih R. 2015. Analisis kuantitatif mikrobiologi pada makanan penerbangan (aerofood ACS) garuda Indonesia berdasarkan

total plate count dengan metode pour plate. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*. 10: 10-22.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Analisis statistik tebal film edibel

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Tebal_Film

| Source | Type III Sum of Squares | Df | Mean Square | F | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|-----------|------|
| Corrected Model | 1968.424 ^a | 5 | 393.685 | 140.560 | .000 |
| Intercept | 82154.201 | 1 | 82154.201 | 29332.056 | .000 |
| ZnO | 912.152 | 2 | 456.076 | 162.836 | .000 |
| CE | 572.701 | 1 | 572.701 | 204.475 | .000 |
| ZnO * CE | 483.572 | 2 | 241.786 | 86.326 | .000 |
| Error | 16.805 | 6 | 2.801 | | |
| Total | 84139.430 | 12 | | | |
| Corrected Total | 1985.229 | 11 | | | |

R Squared = .992 (Adjusted R Squared = .984)

Post Hoc Test**Homogeneous Subsets**

| | | Tebal_Film | | |
|------|---|------------|---------|---------|
| ZnO | N | Subset | | |
| | | 1 | 2 | 3 |
| Z0 | 4 | 71.2750 | | |
| Z1 | 4 | | 84.5500 | |
| Z2 | 4 | | | 92.4000 |
| Sig. | | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

b. Alpha = .05

Lampiran 2 Analisis statistik WVTR film edibel

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: WVTR

| Source | Type III Sum of Squares | Df | Mean Square | F | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|-----------|------|
| Corrected Model | 53.700 ^a | 5 | 10.740 | 139.440 | .000 |
| Intercept | 3890.989 | 1 | 3890.989 | 50517.612 | .000 |
| ZnO | 27.751 | 2 | 13.876 | 180.151 | .000 |
| CE | 2.141 | 1 | 2.141 | 27.800 | .002 |
| ZnO * CE | 23.808 | 2 | 11.904 | 154.550 | .000 |
| Error | .462 | 6 | .077 | | |
| Total | 3945.151 | 12 | | | |
| Corrected Total | 54.162 | 11 | | | |

a. R Squared = .991 (Adjusted R Squared = .984)

**Post Hoc Test
Homogeneous Subsets****WVTR**

| ZnO | N | Subset | | |
|------|---|---------|---------|---------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| Z1 | 4 | 16.1123 | | |
| Z2 | 4 | | 18.0730 | |
| Z0 | 4 | | | 19.8355 |
| Sig. | | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

b. Alpha = .05.

Lampiran 3 Analisis statistik warna film edibel

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Warna Film

| Source | Type III Sum of Squares | Df | Mean Square | F | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|-----------|------|
| Corrected Model | 6585.887 ^a | 5 | 1317.177 | 1715.837 | .000 |
| Intercept | 7816.387 | 1 | 7816.387 | 10182.112 | .000 |
| ZnO | 53.445 | 2 | 26.722 | 34.810 | .000 |
| CE | 6525.281 | 1 | 6525.281 | 8500.237 | .000 |
| ZnO * CE | 7.160 | 2 | 3.580 | 4.664 | .060 |
| Error | 4.606 | 6 | .768 | | |
| Total | 14406.880 | 12 | | | |
| Corrected Total | 6590.493 | 11 | | | |

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .999)

**Post Hoc Test
Homogeneous Subsets****Warna Film**

| ZnO | N | Subset | |
|--------------------------|---|---------|---------|
| | | 1 | 2 |
| Z0 | 4 | 22.6365 | |
| Duncan ^{a,b} Z1 | 4 | | 26.3038 |
| Z2 | 4 | | 27.6253 |
| Sig. | | 1.000 | .077 |

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

b. Alpha = .05.

Lampiran 4 Analisis statistik kuat tarik film edibel

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Nilai_TS

| Source | Type III Sum of Squares | Df | Mean Square | F | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 19.664 ^a | 5 | 3.933 | 52.241 | .000 |
| Intercept | 150.075 | 1 | 150.075 | 1993.475 | .000 |
| ZnO | 10.993 | 2 | 5.497 | 73.011 | .000 |
| CE | 6.042 | 1 | 6.042 | 80.258 | .000 |
| ZnO * CE | 2.629 | 2 | 1.315 | 17.463 | .003 |
| Error | .452 | 6 | .075 | | |
| Total | 170.191 | 12 | | | |
| Corrected Total | 20.116 | 11 | | | |

a. R Squared = .978 (Adjusted R Squared = .959)

**Post Hoc Test
Homogeneous Subsets****Nilai_TS**

| ZnO | N | Subset | | |
|--------------------------|---|---------|---------|---------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| Z0 | 4 | 2.47700 | | |
| Duncan ^{a,b} Z1 | 4 | | 3.33650 | |
| Z2 | 4 | | | 4.79575 |
| Sig. | | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

b. Alpha = .05.

Lampiran 5 Analisis statistik elongasi film edibel

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Nilai_elongasi

| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 7640.632 ^a | 5 | 1528.126 | 454.784 | .000 |
| Intercept | 16710.403 | 1 | 16710.403 | 4973.162 | .000 |
| ZnO | 368.828 | 2 | 184.414 | 54.883 | .000 |
| CE | 6283.763 | 1 | 6283.763 | 1870.103 | .000 |
| ZnO * CE | 988.040 | 2 | 494.020 | 147.025 | .000 |
| Error | 20.161 | 6 | 3.360 | | |
| Total | 24371.196 | 12 | | | |
| Corrected Total | 7660.792 | 11 | | | |

a. R Squared = .997 (Adjusted R Squared = .995)

**Post Hoc Test
Homogeneous Subsets**

| | | Nilai_elongasi | | |
|--------------------------|---|----------------|----------|----------|
| ZnO | N | Subset | | |
| | | 1 | 2 | 3 |
| Z0 | 4 | 30.18250 | | |
| Duncan ^{a,b} Z2 | 4 | | 38.06750 | |
| Z1 | 4 | | | 43.70000 |
| Sig. | | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

b. Alpha = .05.

Lampiran 6 Analisis statistik aktivitas antimikroba film edibel

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: zona_hambat

| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-------------------------|-------------------------|----|-------------|---------|------|
| Corrected Model | 20.520 ^a | 5 | 4.104 | 25.298 | .001 |
| Intercept | 77.979 | 1 | 77.979 | 480.684 | .000 |
| PerlakuanA | 10.039 | 2 | 5.020 | 30.942 | .001 |
| PerlakuanB | .869 | 1 | .869 | 5.359 | .060 |
| PerlakuanA * PerlakuanB | 9.611 | 2 | 4.806 | 29.624 | .001 |
| Error | .973 | 6 | .162 | | |
| Total | 99.473 | 12 | | | |
| Corrected Total | 21.493 | 11 | | | |

a. R Squared = .955 (Adjusted R Squared = .917)

**Post Hoc Test
Homogeneous Subsets**

zona_hambat

| ZnO | N | Subset | | |
|--------------------------|---|--------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| Z0 | 4 | 1.5125 | | |
| Duncan ^{a,b} Z1 | 4 | | 2.3975 | |
| Z2 | 4 | | | 3.7375 |
| Sig. | | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

b. Alpha = .05.

Lampiran 7 Analisis statistik kadar air pada produk tahu

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Kadar_air

| Source | Type III Sum of Squares | Df | Mean Square | F | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|------------|------|
| Corrected Model | 3.459 ^a | 7 | .494 | .910 | .543 |
| Intercept | 105742.032 | 1 | 105742.032 | 194723.260 | .000 |
| Perlakuan | 3.459 | 7 | .494 | .910 | .543 |
| Error | 4.344 | 8 | .543 | | |
| Total | 105749.835 | 16 | | | |
| Corrected Total | 7.803 | 15 | | | |

a. R Squared = .443 (Adjusted R Squared = -.044)

**Post Hoc Test
Homogeneous Subsets**

| Kadar_air | | |
|----------------------------|---|---------|
| Perlakuan | N | Subset |
| | | 1 |
| TF | 2 | 80.3300 |
| Z0C2 | 2 | 81.0300 |
| Z0C0 | 2 | 81.1800 |
| Z1C2 | 2 | 81.1800 |
| Duncan ^{a,b} Z2C2 | 2 | 81.3450 |
| Z1C0 | 2 | 81.6800 |
| K | 2 | 81.6950 |
| Z2C0 | 2 | 81.9200 |
| Sig. | | .083 |

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

b. Alpha = .05

Lampiran 8 Analisis statistik tekstur pada produk tahu

Tests of Between-Subjects Effects

| Source | Dependent Variable | Type III Sum of Squares | Df | Mean Square | F | Sig. |
|-----------------|--------------------|---------------------------|----|---------------|-----------|------|
| Corrected Model | HARDNESS | 20073851.264 ^a | 7 | 2867693.038 | 68.799 | .000 |
| | SPRINGNESS | .022 ^b | 7 | .003 | 8.379 | .004 |
| Intercept | HARDNESS | 423241128.481 | 1 | 423241128.481 | 10153.997 | .000 |
| | SPRINGNESS | 1.000 | 1 | 1.000 | 2697.235 | .000 |
| Perlakuan | HARDNESS | 20073851.264 | 7 | 2867693.038 | 68.799 | .000 |
| | SPRINGNESS | .022 | 7 | .003 | 8.379 | .004 |
| Error | HARDNESS | 333457.765 | 8 | 41682.221 | | |
| | SPRINGNESS | .003 | 8 | .000 | | |
| Total | HARDNESS | 443648437.510 | 16 | | | |
| | SPRINGNESS | 1.025 | 16 | | | |
| Corrected Total | HARDNESS | 20407309.029 | 15 | | | |
| | SPRINGNESS | .025 | 15 | | | |

a. R Squared = .984 (Adjusted R Squared = .969)

b. R Squared = .880 (Adjusted R Squared = .775)

Post Hoc Test
Homogeneous Subsets

HARDNESS

| Perlakuan | N | Subset | | |
|------------------------------|---|-----------|-----------|-----------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| K | 2 | 3451.0500 | | |
| TF | 2 | | 4242.5500 | |
| Z2C2 | 2 | | 4498.4000 | |
| Z2C0 | 2 | | 4719.1500 | |
| Duncan ^{a,b,c} Z1C2 | 2 | | 4728.4000 | |
| Z0C0 | 2 | | | 6399.2000 |
| Z0C2 | 2 | | | 6412.7500 |
| Z1C0 | 2 | | | 6694.1500 |
| Sig. | | 1.000 | .056 | .203 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 41682.221.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

**Post Hoc Test
Homogeneous Subsets**

| SPRINGNESS | | | | |
|------------------------------|---|--------|-------|-------|
| Perlakuan | N | Subset | | |
| | | 1 | 2 | 3 |
| Z0C0 | 2 | .1730 | | |
| K | 2 | | .2230 | |
| Z1C0 | 2 | | .2245 | |
| Z0C2 | 2 | | .2680 | .2680 |
| Duncan ^{a,b,c} Z1C2 | 2 | | .2685 | .2685 |
| Z2C0 | 2 | | | .2780 |
| TF | 2 | | | .2815 |
| Z2C2 | 2 | | | .2835 |
| Sig. | | 1.000 | .057 | .471 |

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used.

Type I error levels are not guaranteed.

c. Alpha = .05.

Lampiran 9 Analisis Statistik Umur Simpan produk tahu

Tests of Between-Subjects Effects

| Source | Dependent Variable | Type III Sum of Squares | Df | Mean Square | F | Sig. |
|-----------------|--------------------|-------------------------|----|-------------|-----------|------|
| Corrected Model | TPC_Hari0 | .000 ^a | 7 | .000 | . | . |
| | TPC_jamke3 | 11.790 ^b | 7 | 1.684 | 96.318 | .000 |
| | TPC_Hari1 | 13.848 ^c | 7 | 1.978 | 14.184 | .001 |
| | TPC_Hari2 | 7.330 ^d | 7 | 1.047 | 24.559 | .000 |
| | TPC_Hari3 | 5.995 ^e | 7 | .856 | 13.768 | .001 |
| Intercept | TPC_Hari0 | 639.078 | 1 | 639.078 | . | . |
| | TPC_jamke3 | 580.087 | 1 | 580.087 | 33171.535 | .000 |
| | TPC_Hari1 | 1240.448 | 1 | 1240.448 | 8893.697 | .000 |
| | TPC_Hari2 | 1277.348 | 1 | 1277.348 | 29958.314 | .000 |
| | TPC_Hari3 | 1348.726 | 1 | 1348.726 | 21683.692 | .000 |
| Perlakuan | TPC_Hari0 | .000 | 7 | .000 | . | . |
| | TPC_jamke3 | 11.790 | 7 | 1.684 | 96.318 | .000 |
| | TPC_Hari1 | 13.848 | 7 | 1.978 | 14.184 | .001 |
| | TPC_Hari2 | 7.330 | 7 | 1.047 | 24.559 | .000 |
| | TPC_Hari3 | 5.995 | 7 | .856 | 13.768 | .001 |
| Error | TPC_Hari0 | .000 | 8 | .000 | | |
| | TPC_jamke3 | .140 | 8 | .017 | | |
| | TPC_Hari1 | 1.116 | 8 | .139 | | |
| | TPC_Hari2 | .341 | 8 | .043 | | |
| | TPC_Hari3 | .498 | 8 | .062 | | |
| Total | TPC_Hari0 | 639.078 | 16 | | | |
| | TPC_jamke3 | 592.018 | 16 | | | |
| | TPC_Hari1 | 1255.412 | 16 | | | |
| | TPC_Hari2 | 1285.019 | 16 | | | |
| | TPC_Hari3 | 1355.218 | 16 | | | |
| Corrected Total | TPC_Hari0 | .000 | 15 | | | |
| | TPC_jamke3 | 11.930 | 15 | | | |
| | TPC_Hari1 | 14.964 | 15 | | | |
| | TPC_Hari2 | 7.671 | 15 | | | |
| | TPC_Hari3 | 6.492 | 15 | | | |

a. R Squared = . (Adjusted R Squared = .)

b. R Squared = .988 (Adjusted R Squared = .978)

c. R Squared = .925 (Adjusted R Squared = .860)

d. R Squared = .956 (Adjusted R Squared = .917)

e. R Squared = .923 (Adjusted R Squared = .856)

**Post Hoc Test
Homogeneous Subsets**

TPC_jamke3

| Perlakuan | N | Subset | | | | |
|-----------|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| F | 2 | 4.15000 | | | | |
| Z2C0 | 2 | | 5.60500 | | | |
| Z1C0 | 2 | | | 5.94000 | | |
| Z1C2 | 2 | | | 6.02000 | 6.02000 | |
| Z2C2 | 2 | | | 6.05000 | 6.05000 | |
| K | 2 | | | | 6.32000 | |
| Z0C2 | 2 | | | | | 6.90500 |
| Z0C0 | 2 | | | | | 7.18000 |
| Sig. | | 1.000 | 1.000 | .448 | .061 | .071 |

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c. Alpha = .05.

TPC_Hari1

| Perlakuan | N | Subset | |
|-----------|---|---------|---------|
| | | 1 | 2 |
| F | 2 | 6.45500 | |
| Z0C2 | 2 | | 8.80500 |
| Z0C0 | 2 | | 8.82500 |
| Z2C0 | 2 | | 9.00000 |
| K | 2 | | 9.03000 |
| Z1C0 | 2 | | 9.19000 |
| Z2C2 | 2 | | 9.54000 |
| Z1C2 | 2 | | 9.59500 |
| Sig. | | 1.000 | .088 |

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

TPC_Hari2

| Perlakuan | N | Subset | | |
|------------------------------|---|---------|---------|----------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| F | 2 | 7.48000 | | |
| Z0C2 | 2 | | 8.90000 | |
| K | 2 | | 8.92500 | |
| Z2C0 | 2 | | 8.95000 | |
| Duncan ^{a,b,c} Z1C2 | 2 | | 9.00500 | |
| Z1C0 | 2 | | 9.02000 | |
| Z2C2 | 2 | | 9.03000 | |
| Z0C0 | 2 | | | 10.17000 |
| Sig. | | 1.000 | .570 | 1.000 |

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used.

Type I error levels are not guaranteed.

c. Alpha = .05.

TPC_Hari3

| Perlakuan | N | Subset | | |
|------------------------------|---|---------|---------|---------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| F | 2 | 7.66500 | | |
| Z0C0 | 2 | | 9.11500 | |
| Z1C0 | 2 | | 9.23000 | 9.23000 |
| Z2C0 | 2 | | 9.25000 | 9.25000 |
| Duncan ^{a,b,c} Z2C2 | 2 | | 9.30500 | 9.30500 |
| Z0C2 | 2 | | 9.42500 | 9.42500 |
| Z1C2 | 2 | | 9.66000 | 9.66000 |
| K | 2 | | | 9.80000 |
| Sig. | | 1.000 | .079 | .069 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .062.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used.

Type I error levels are not guaranteed.

c. Alpha = .05.

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Jakarta pada tanggal 24 Agustus 1991 sebagai anak pertama dari pasangan Sarimun Sunaryo dan Sumaryati. Pendidikan sarjana ditempuh di Program Studi Ilmu Gizi, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Muhammadiyah Prof Dr Hamka Jakarta dan lulus pada tahun 2013. Pada tahun 2015, penulis mendapat kesempatan untuk melanjutkan studi magisternya pada Program Studi Ilmu Pangan, Sekolah Pascasarjana, IPB.

Selama mengikuti program magister, penulis mendapat kesempatan mengikuti gelar seni budaya Aceh yang dilaksanakan pada bulan Mei 2017 sebagai salah satu penari “Ratoeh Duek” Masal. Selain itu Penulis juga aktif mengikuti forum kemahasiswaan dan menjabat sebagai staf Divisi Komunikasi dan Informasi, Forum Mahasiswa Ilmu Pangan (Formasip) tahun 2016-2017. Penelitian ini juga telah di presentasikan pada 1st SEAFAST *International Seminar* 2017 sebagai *poster presentation*.