



**PERKIRAAN UMUR SIMPAN DAGING ANALOG BERBAHAN DASAR  
UMBI KIMPUL (*Xanthosoma sagittifolium*) DAN ISOLAT PROTEIN  
KEDELAI MENGGUNAKAN METODE SORPSI ISOTERMIS**

**SKRIPSI**

Oleh:

**Nur Rahmawati Ramadhani**

**161710101109**

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI HASIL PERTANIAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2020**



**PERKIRAAN UMUR SIMPAN DAGING ANALOG BERBAHAN DASAR  
UMBI KIMPUL (*Xanthosoma sagittifolium*) DAN ISOLAT PROTEIN  
KEDELAI MENGGUNAKAN METODE SORPSI ISOTERMIS**

**SKRIPSI**

diajukan guna memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Program Studi  
Teknologi Hasil Pertanian (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknologi Pertanian

Oleh

**Nur Rahmawati Ramadhani**

**NIM 161710101109**

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI HASIL PERTANIAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2020**

## PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil'alamin, penulis haturkan puji syukur kehadiran Allah SWT yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang serta sholawat kepada Nabi Muhammad SAW. Skripsi ini saya persembahkan sebagai rasa terima kasih yang tidak terkira kepada :

1. Ibu drg. Nurini Widayani, M.Kes dan Ayah Supriyo, S.Sos,M.M yang penulis sangat cintai. Terima kasih ibu dan ayah atas segala dukungan baik moral dan materil, kasih sayang, doa, pengorbanan, semangat, dan nasihat yang selalu diberikan kepada penulis. Terima kasih bu, yah penulis sangat-sangat sayang kepada Ibu dan Ayah.
2. Dr. Triana Lindriati, S.T.,M.P. selaku Dosen Pembimbing Akademik dan Dosen Pembimbing Utama yang telah membimbing, memotivasi, dan menyemangati penulis dari semester awal hingga akhir. Terima kasih banyak bu, atas segala arahanannya selama ini dan kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk selalu mengeksplor pengetahuan penulis.
3. Dr. Ir. Herlina, M.P. selaku Dosen Pembimbing Anggota atas segala masukan, evaluasi, dan arahan kepada penulis.
4. Almamater Pogram Studi Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember
5. Budhe Sri Winarsih dan Keluarga Jember yang telah merawat dan membimbing penulis selama studi di Jember. Terima kasih banyak atas kesabaran, dukungan, dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan studi S1 Teknologi Hasil Pertanian tepat waktu.

**MOTTO**

Belajar itu menyenangkan  
(Penulis)

Jika kau tidak mampu menahan lelahnya belajar, maka kau harus menanggung  
perihnya kebodohan.  
(Imam Syafi'i)

*Man Jadda Wa Jadda*  
Barangsiapa yang bersungguh-sungguh pasti akan mendapatkan hasil  
(sebuah ungkapan Bahasa arab)

*La Haula Wala Quwwata Illa Billah*  
Tidak ada usaha, kekuatan, dan upaya selain dengan kehendak Allah  
(Kalimat Hauqalah)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nur Rahmawati Ramadhani

NIM : 161710101109

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul **“Perkiraan Umur Simpan Daging Analog Berbahan Dasar Umbi Kimpul (*Xanthosoma Sagittifolium*) dan Isolat Protein Kedelai Menggunakan Metode Sorpsi Isothermis”** adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapatkan sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 20 Juni 2020

Yang menyatakan,

Nur Rahmawati Ramadhani  
NIM 161710101109

**SKRIPSI**

**PERKIRAAN UMUR SIMPAN DAGING ANALOG BERBAHAN DASAR  
UMBI KIMPUL (*Xanthosoma sagittifolium*) DAN ISOLAT PROTEIN  
KEDELAI MENGGUNAKAN METODE SORPSI ISOTERMIS**

Oleh:

**Nur Rahmawati Ramadhani**

**NIM 161710101109**

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Anggota

Dr. Triana Lindriati, S.T., MP  
NIP 196808141998032001

Dr. Ir. Herlina, M.P.  
NIP 196605181993022001

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul **“Perkiraan Umur Simpan Daging Analog Berbahan Dasar Ubi Kimpul (*Xanthosoma Sagittifolium*) dan Isolat Protein Kedelai Menggunakan Metode Sorpsi Isotermis”** karya Nur Rahmawati Ramadhani (NIM 161710101109) telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal :

tempat :

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Anggota

Dr. Triana Lindriati, S.T., MP  
NIP 196808141998032001

Dr. Ir. Herlina, M.P.  
NIP 196605181993022001

Tim Penguji :

Penguji Utama

Penguji Anggota

Dr. Ir. Sih Yuwanti, M.P.  
NIP 196507081994032002

Ir. Giyarto M.Sc  
NIP 196607181993031013

Mengesahkan,  
Dekan

Fakultas Teknologi Pertanian

Dr. Siswoyo Soekarno, S.TP., M.Eng.  
NIP 196809231994031009

## RINGKASAN

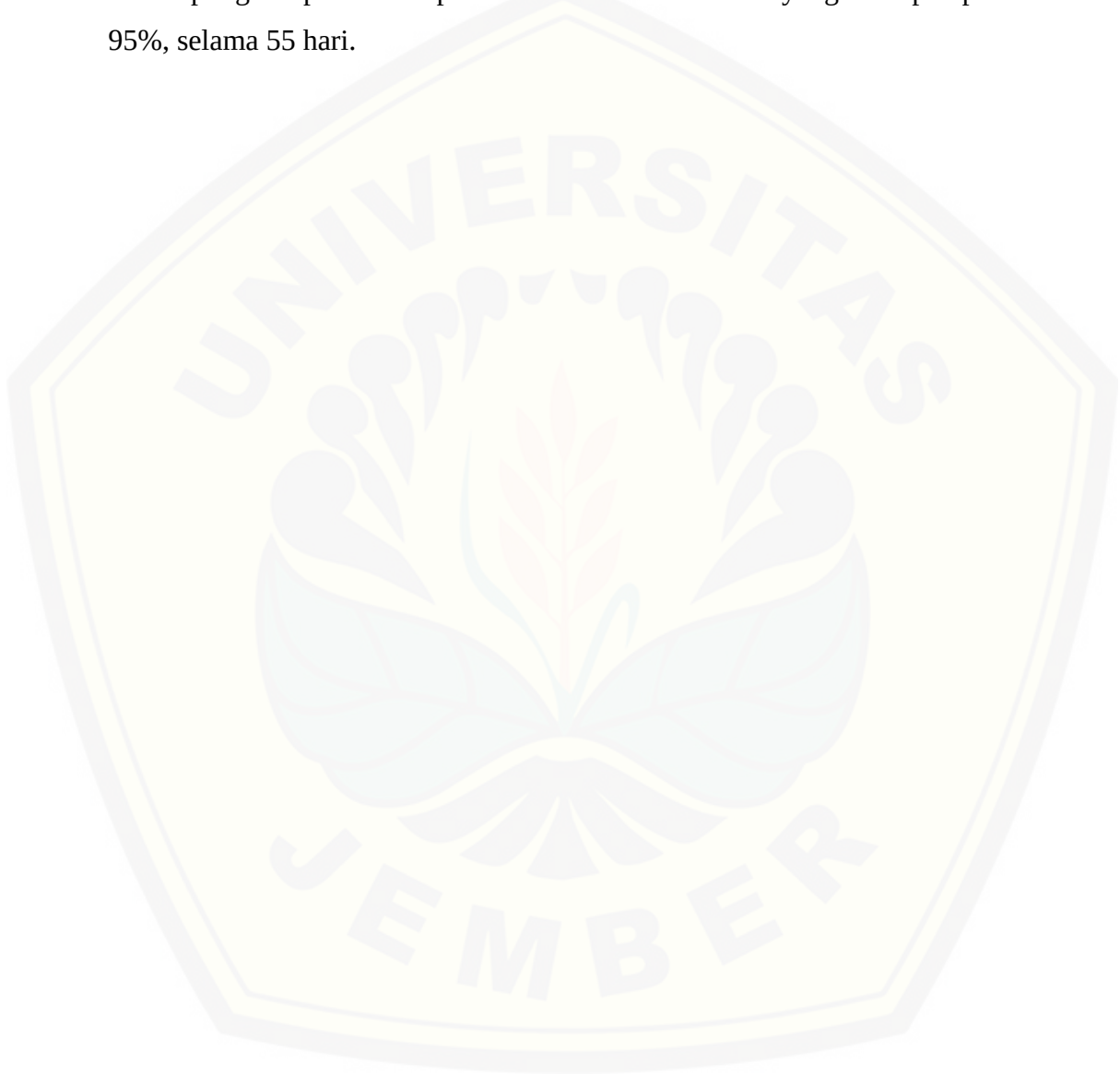
**Perkiraan Umur Simpan Daging Analog Berbahan Dasar Umbi Kimpul (*Xanthosoma sagittifolium*) dan Isolat Protein Kedelai Menggunakan Metode Sorpsi Isotermis ; Nur Rahmawati Ramadhani, 161710101109 ; 63 halaman ; Program Studi Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.**

Daging analog merupakan produk alternatif pengganti sumber protein hewani yang terbuat dari protein nabati dengan memanfaatkan teknologi ekstrusi untuk menghasilkan karakteristik menyerupai daging. Penambahan tepung umbi kimpul dalam pembuatan daging analog memberikan tambahan nilai fungsional bagi daging analog. Perbedaan komposisi daging analog menyebabkan terjadinya perbedaan kemampuan penyerapan air yang dapat mempengaruhi umur simpannya. Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu untuk mengetahui umur simpan daging analog berbahan dasar umbi kimpul dan isolat protein kedelai pada berbagai komposisi bahan menggunakan metode sorpsi isotermis. Pengukuran sifat sorpsi isotermis dilakukan dengan menggunakan garam  $K_2CO_3$ (42%),  $NaNO_2$  (63%),  $NaCl$  (75%),  $KCl$  (84%), dan  $KNO_3$ (92%) untuk mengatur kelembapan (RH) penyimpanan. Kemasan yang digunakan yaitu HDPE, MDPE, LDPE, dan PP. Penentuan persamaan sorpsi isotermis didapat dari hasil perhitungan 4 model persamaan yaitu model persamaan Oswin, Chung-Pfost, Chen-Clayton, dan Henderson, kemudian dilanjutkan dengan perhitungan uji validasi ketepatan model persamaan berdasarkan nilai *Mean Relative Determination*.

Berdasarkan perhitungan matematis didapatkan hasil nilai MRD persamaan Oswin sebesar 6,9; persamaan Chung-Pfost sebesar 7,3; persamaan Chen-Clayton sebesar 7,6; dan persamaan Henderson sebesar 4,4; nilai MRD < 5 (kurang dari 5) dianggap dapat menggambarkan keseluruhan kurva dengan tepat, sehingga dipilih persamaan Henderson yang memiliki nilai MRD < 5. Umur simpan dihitung menggunakan persamaan Heiss dan Eichner pada RH penyimpanan 85% dan 95%. Hasil penelitian menunjukkan daging analog yang



memiliki umur simpan paling panjang yaitu daging analog komposisi 50% IPK, 30% tepung kimpul, 20% gluten dan air dingin dalam kemasan HDPE yang disimpan pada RH 85% , selama 1619 hari. Umur simpan daging analog umbi kimpul terpendek yaitu daging analog umbi kimpul dengan komposisi 70% IPK, 30% tepung kimpul dan air panas dalam kemasan LDPE yang disimpan pada RH 95%, selama 55 hari.



## SUMMARY

**Shelf Life Prediction of Meat Analogue Based on Taro (*Xanthosoma sagittifolium*) and Isolated Soy Protein Using Moisture Sorption Isotherm ;**  
Nur Rahmawati Ramadhani, 161710101109 ; 63 pages ; Departement of Agricultural Product Technology University of Jember.

Meat analogue is an alternative product to substitute animal protein that made from vegetable protein with the extrusion technology to produce meat-like characteristics. The addition of Taro flour in to meat analogue dough can produce an alternative to functional food. The difference in the composition of meat analogue causes a difference in the ability of water absorption which can affect the shelf life. The purpose of this study was to determine the shelf life of meat analogue based on Taro flour and soy protein isolates in various composition using sorption isothermic curve. Construction of sorption isothermic curve was carried out using various saturated salt solution which is result in different relative humidity. Thus salts are  $K_2CO_3$  (42%),  $NaNO_2$  (63%),  $NaCl$  (75%),  $KCl$  (84%), and  $KNO_3$  (92%). The packaging materials use are HDPE, MDPE, LDPE, and PP. Calculation of equilibrium water content is using 4 equation models namely the Oswin, Chung-Pfost, Chen-Clayton, and Henderson equation models, The Mean Relative Determination (MRD) value is used to validated thus mathematical equations.

The results calculation show that MRD value of Oswin equation is 6.9; Chung-Pfost is 7.3; Chen-Clayton is 7.6; and Henderson is 4.4. The Henderson equation was choosen because it has an MRD value  $<5$  which is considered to be able to describe the whole equation correctly. Shelf life is calculated using the Heiss and Eichner equations in storage with relative humidity at 85% and 95% in to varied packaging materials. The results showed that meat analogue that had the longest shelf life was the composition of 50% soy protein isolated, 30% Taro flour, 20% gluten and cold water in HDPE packages stored at 85% of relative humidity for 1619 days. The shortest shelf life of meat analogue was meat

analogue with composition of 70% soy protein isolated, 30% Taro flour, 20% gluten and hot water in LDPE packages stored at 95% of relative humidity.



## PRAKATA

Syukur Alhamdulillah penulis haturkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufiq, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan karya tulis ilmiah berupa skripsi yang berjudul “Perkiraan Umur Simpan Daging Analog berbahan dasar Umbi Kimpul (*Xanthosoma sagittifolium*) dan Isolat Protein Kedelai menggunakan Metode Sorpsi Isotermis”. Karya tulis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Dr. Siswoyo Soekarno, S.TP.,M.Eng. selaku Dekan Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember;
2. Dr. Ir. Jayus selaku Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember yang telah memberikan banyak masukan dan motivasi;
3. Dr. Triana Lindriati, S.T., M.P dan Dr. Ir. Herlina, M.P selaku Dosen pembimbing Utama (DPU) dan Dosen Pembimbing Anggota (DPA) yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian guna memberikan bimbingan, koreksi dan saran pada penyusunan skripsi ini;
4. Dr. Ir. Sih Yuwanti, M.P. dan Ir. Giyarto M.Sc selaku dosen penguji yang telah memberikan pemahaman lebih kepada penulis melalui ujian skripsi serta masukan dan pengarahan demi terselesaikannya karya tulis ilmiah skripsi ini dengan baik;
5. Orang tua yang saya cintai, Ibu drg. Nurini Widayani, M.Kes dan Ayah Supriyo, S.Sos,M.M atas kasih sayang, perhatian, semangat, dan doa yang telah diberikan kepada penulis;
6. Orang tua yang juga saya sayangi, Bapak Zainal Fanani dan Ummi Nita atas kasih sayang dan doa yang telah diberikan kepada penulis;

7. Kakakku Muhammad Riza, Abdul Haris, Anggun, Rahmy, Ema, Lusy, Ludy, Lucky, Heri, Heni, Adikku Annisa Usi, Dena, Azka, dan Ponakan kesayangan Amelia, Altha, Alzam, Faatih, Fayyadh, Rara, dan Kahyla;
8. Seluruh dosen dan staf Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember yang telah membimbing dan memberikan ilmu kepada penulis;
9. Iqbal Tanuwijaya yang selalu mendampingi, menerima segala keluh kesah, memberikan semangat, saran, dan motivasi kepada penulis selama pengerjaan skripsi ini dari awal hingga akhir;
10. Tim daging Analog, Meida Cahyaningtyas, Yoaga Lintang, dan Wiwik Rahayuningtyas yang telah bersama-sama melewati seluruh penelitian dari awal hingga akhir;
11. Annisafitri, Nadia Ika, Wardatussolihah, Adelia Dwi, dan Mulyati Rahmawati selaku sahabat terdekat penulis yang selalu menerima keluh kesah, selalu menyemangati, memberi masukan, dan dukungan kepada penulis sejak awal perkuliahan hingga akhir;
12. Pak Mistar, Mbak Shelvy, Mbak Astrid, dan Dek Fira atas waktu, motivasi, semangat, masukan dan saran yang diberikan kepada penulis selama pengerjaan di laboratorium sampai penyusunan skripsi ini selesai;
13. EXO yang telah datang ke Indonesia dan selalu menyemangati penulis melalui karyanya selama perkuliahan hingga saat ini;
14. Keluarga THP A 2016, THP 2016, FTP 2016, dan KKN 26 yang telah bersama-sama dengan penulis melewati segala hiruk pikuk perkuliahan dan memberikan begitu banyak cerita dan kenangan;
15. Keluarga besar HIMAGIHASTA yang telah menjadi keluarga kedua di kampus dan memberikan banyak pengalaman non akademis kepada penulis;
16. Dan semua pihak yang mengenal penulis yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih atas doa dan dukungannya kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa karya tulis ilmiah dalam bentuk skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menambah wawasan serta pengetahuan bagi semua pembaca.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	ii
HALAMAN MOTTO .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN .....	v
HALAMAN PENGESAHAN .....	vi
RINGKASAN .....	vii
SUMMARY .....	ix
PRAKATA .....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xviii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Tujuan Penelitian .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Manfaat Penelian .....</b>	<b>4</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Daging Analog .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Umbi Kimpul .....</b>	<b>6</b>
<b>2.3 Isolat Protein Kedelai (IPK) .....</b>	<b>8</b>
<b>2.4 Kerusakan Bahan Pangan Selama Penyimpanan .....</b>	<b>9</b>
<b>2.5 Kadar Air Bahan Pangan .....</b>	<b>13</b>
<b>2.6 Aktivitas Air Bahan Pangan .....</b>	<b>14</b>

2.7 Kadar Air Kesetimbangan .....	15
2.8 Penentuan Umur Simpan .....	16
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>18</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	18
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	18
3.2.1 Alat Penelitian .....	18
3.2.2 Bahan Penelitian .....	18
3.3 Pelaksanaan Penelitian.....	18
3.3.1 Tahapan Penelitian .....	19
3.4 Prosedur Analisis .....	24
3.4.1 Kadar air .....	24
3.4.2 Penentuan kadar air kritis .....	24
3.4.3 Penentuan kadar air kesetimbangan .....	25
3.5 Analisa Data .....	25
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>26</b>
4.1 Kadar Air .....	26
4.2 Kadar Air Kritis (Mc) .....	27
4.3 Kurva Sorpsi Isotermis .....	27
4.4 Persamaan Matematis .....	30
4.5 Kurva Sorpsi dan persamaan Henderson .....	32
4.6 Umur Simpan .....	34
<b>BAB 5. PENUTUP .....</b>	<b>35</b>
5.1 Kesimpulan .....	35
5.2 Saran .....	35
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>36</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>40</b>

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
Tabel 2.1 Kandungan gizi umbi kimpul per 100 g berat bahan .....	7
Tabel 2.2. Komposisi Asam Amino dalam Isolat Protein Kedelai (IPK) .....	9
Tabel 2.3 Kelembapan nisbi larutan garam jenuh .....	15
Tabel 3.1 Perbandingan Formulasi Daging Analog .....	19
Tabel 4.1 Persamaan kurva sorpsi termis daging analog umbi kimpul.....	31
Tabel 4.2. Nilai kadar air kesetimbangan berdasarkan model persamaan Henderson .....	34
Tabel 4.3. Data parameter yang digunakan dalam pendugaan umur simpan.....	35
daging analog umbi kimpul pada berbagai sampel .....	35
Tabel 4.4. Hasil perhitungan umur simpan daging analog dengan formulasi 70% isolat protein kedelai dan 30% tepung umbi kimpul menggunakan air dingin .....	35
Tabel 4.5. Hasil perhitungan umur simpan daging analog dengan formulasi 70% isolat protein kedelai dan 30% tepung umbi kimpul menggunakan air panas .....	36
Tabel 4.6. Hasil perhitungan umur simpan daging analog dengan formulasi 50% isolat protein kedelai, 30% tepung umbi kimpul, dan 20% gluten menggunakan air dingin .....	36
Tabel 4.7. Hasil perhitungan umur simpan daging analog dengan formulasi 50% isolat protein kedelai, 30% tepung umbi kimpul, dan 20% gluten menggunakan air panas .....	36



**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
Gambar 2.1. Umbi Kimpul ( <i>Xanthosoma sagittifolium</i> ) .....	6
Gambar 2.2 Kurva Isoterm Sorpsi Air .....	18
Gambar 3.1 Rancangan Percobaan Penentuan Umur Simpan Daging Analog .....	19
Gambar 3.2. Proses pembuatan tepung kimpul .....	20
Gambar 3.4. Proses pembuatan daging analog dengan gluten .....	21
Gambar 3.3. Proses pembuatan daging analog tanpa gluten .....	21
Gambar 4.1 Kurva sorpsi isotermis daging analog komposisi IPK 70% dan tepung kimpul 30% dengan penambahan air dingin .....	28
Gambar 4.2 Kurva sorpsi isotermis daging analog komposisi IPK 70% dan tepung kimpul 30% dengan penambahan air panas .....	28
Gambar 4.3 Kurva sorpsi isotermis daging analog komposisi IPK 50%, tepung kimpul 30%, dan gluten 20% dengan penambahan air dingin .....	29
Gambar 4.4 Kurva sorpsi isotermis daging analog komposisi IPK 50%, tepung kimpul 30%, dan gluten 20% dengan penambahan air panas .....	29
Gambar 4.5. Kurva sorpsi isotermis persamaan Henderson daging analog komposisi IPK 70%, tepung kimpul 30%, dan dengan penambahan air dingin .....	32
Gambar 4.6. Kurva sorpsi isotermis persamaan Henderson daging analog komposisi IPK 70%, tepung kimpul 30%, dan dengan penambahan air panas .....	33
Gambar 4.7. Kurva sorpsi isotermis persamaan Henderson daging analog komposisi IPK 50%, tepung kimpul 30%, gluten 20% dengan penambahan air dingin .....	33

Gambar 4.8. Kurva sorpsi isoteremis persamaan Henderson daging analog  
komposisi IPK 50%, tepung kimpul 30%, gluten 20% dengan  
penambahan air panas ..... 33



**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 3.1 Dokumentasi tahapan pembuatan tepung umbi kimpul <i>Xanthosoma sagittifolium</i> .....	40
Lampiran 3.2 Dokumentasi tahapan pembuatan daging analog umbi kimpul dan isolat protein kedelai dan pendugaan umur simpan .....	41
Lampiran 4.1 Hasil Perhitungan kadar air daging analog .....	42
Lampiran 4.2 Hasil Perhitungan Kadar Air Kritis .....	43
Lampiran 4.3 Hasil Perhitungan Kadar Air Kesetimbangan .....	44
Lampiran 4.4 Penentuan Kadar Air Kesetimbangan Berdasarkan Model Matematika .....	46
Lampiran 4.5 Perhitungan Pendugaan Umur Simpan Daging Analog .....	61

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kesadaran masyarakat akan pentingnya pangan sehat semakin meningkat. Hal ini dibuktikan dengan meningkatnya jumlah vegetarianisme dan veganisme menjadi tren konsumen global. Berdasarkan hasil laporan Euromonitor International, dalam *Euromonitor's latest Global Consumer Trends report*, tren vegetarian tidak terbatas hanya berkembang di negara maju seperti Amerika Serikat, di negara berkembang yang mana konsumsi daging dipandang sebagai tanda kemakmuran, vegetarianisme juga semakin populer. Sepanjang tahun 2016 - 2017 Indonesia menjadi salah satu negara dengan peningkatan jumlah vegetarian terbesar dengan jumlah 270.600 orang, setelah Nigeria dengan 1.426.700 orang, dan Pakistan 1.190.600 orang (Angus dan Westbrook, 2019).

Peningkatan jumlah vegetarian menyebabkan meningkatnya industri pangan alternatif berbasis nabati di Indonesia. Salah satunya yaitu tren konsumsi daging analog yang dibuat dari bahan-bahan nabati sebagai alternatif pengganti daging konvensional. Daging analog merupakan produk nabati yang diolah sedemikian rupa sehingga memiliki karakteristik mirip daging asli, meskipun masih berbeda secara komposisi (Rareunrom *et al.*, 2008). Daging analog dapat diatur komposisinya hingga tidak memiliki kandungan asam lemak jenuh sehingga tidak menyebabkan peningkatan kadar kolesterol dalam darah dan aman untuk dikonsumsi penderita penyakit degeneratif.

Daging analog umumnya dibuat dari isolat protein kedelai dan air dengan memanfaatkan teknologi ekstruksi (Joshi dan Kumar, 2015). Namun, pada beberapa penelitian lain pembuatan daging analog juga ditambahkan gluten, karena gluten memiliki daya kembang yang baik sehingga dapat menghasilkan kenampakan daging analog yang lebih menyerupai daging asli. Berdasarkan penelitian Sheard *et al.* (1984), untuk meningkatkan tekstur daging analog yang dihasilkan perlu dilakukan penambahan karbohidrat. Pembentukan tekstur daging analog terjadi selama proses ekstrusi, adanya panas dan gaya geser selama proses ekstrusi mengakibatkan terjadinya interaksi antara karbohidrat dan protein

membentuk jaringan matriks yang menimbulkan sifat *chewness* pada daging analog (Rareunrom *et al.*,2008).

Tambahan sumber karbohidrat dapat diambil dari umbi-umbi lokal yang banyak dijumpai di Daerah Kabupaten Jember dan sekitarnya, salah satunya yaitu umbi kimpul (*Xanthosoma sagittifolium*). Umbi kimpul mengandung karbohidrat cukup tinggi sekitar 70-80% (*dry basis*). Selain itu, umbi kimpul juga tinggi serat pangan, memiliki indeks glikemik rendah dan kaya oligosakarida yang dapat mencegah timbulnya penyakit degeneratif (Coronell-Tovar *et al.*, 2019).

Daging analog sama halnya dengan daging asli merupakan bahan pangan yang mudah rusak karena kondisi dan komposisi kimia yang dikandungnya merupakan media yang baik bagi pertumbuhan mikroorganisme sehingga dibatasi umur simpannya. Namun, daging analog dapat disimpan dalam bentuk produk kering dengan kadar air rendah sehingga memiliki umur simpan lebih panjang (Al-Muhtaseb *et al.*, 2002). Pendugaan umur simpan mutlak diperlukan sebagai upaya pemberian Informasi seputar keamanan produk ini demi menjaga kualitas bahan pangan sampai di konsumen.

Pendugaan umur simpan dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu metode konvensional (*Extended Storage Studies/ESS*) dan metode percepatan (*Accelerated Shelf-Life Testing/ASLT*) (Herawati,2008). Pendugaan umur simpan dengan metode konvensional atau ESS dilakukan dengan menyimpan produk dalam kondisi normal kemudian diamati perubahan mutunya sampai mengalami kerusakan yang kemudian dihitung sebagai lama umur simpan yang sebenarnya, namun metode ini memerlukan waktu yang lama. Sedangkan pendugaan umur simpan dengan metode percepatan atau ASLT dilakukan dengan mengkondisikan produk pangan dalam lingkungan yang dapat mempercepat proses penurunan mutunya (Herawati,2008). Metode ASLT dapat dilakukan dengan pendekatan model Arrhenius dan kadar air kritis (sorpsi isothermis).

Metode ASLT dengan pendekatan kadar air kritis lebih sesuai digunakan untuk produk dalam bentuk kering seperti daging analog (Asiah *et al.*, 2018). Hal ini didukung oleh penelitian lain yang menyebutkan metode kadar air kritis tidak sesuai digunakan untuk pengukuran umur simpan pada daging analog semi basah

dikarenakan sampel daging analog telah ditumbuhi kapang sebelum mencapai batas perhitungan umur simpannya (Arba'ani, 2018).

Menurut Asiah *et al.* (2018), lama umur simpan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis dan komposisi bahan baku, proses produksi, jenis kemasan dan kondisi penyimpanan. Marlyana (2019) telah melakukan penelitian mengenai pembuatan daging analog dengan perbedaan komposisi daging analog. Perlakuan tersebut telah terbukti memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik daging analog, namun produk ini belum diketahui umur simpannya. Berdasarkan uraian tersebut perlu dilakukan penelitian ini untuk mengetahui komposisi daging analog yang paling sesuai sehingga dapat memberikan umur simpan produk daging analog yang lebih panjang.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Sebelum produk ini siap dipasarkan, produk daging analog harus memiliki umur simpan yang panjang agar dapat menjangkau pemasaran yang luas. Informasi seputar umur simpan produk ini sangat diperlukan demi menjaga kualitas bahan pangan sampai di konsumen. Pada pembuatan daging analog, perbedaan penambahan air panas dan dingin pada proses pembuatan dan komposisi karbohidrat serta protein yang berbeda dimungkinkan dapat menghasilkan umur simpan yang berbeda. Berdasarkan permasalahan tersebut maka diperlukan penelitian mengenai pendugaan umur simpan daging analog menggunakan metode sorpsi isoteremis.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui umur simpan daging analog berbahan dasar umbi kimpul dan isolat protein kedelai dengan perbedaan proses pembuatan dan komposisi bahan menggunakan metode sorpsi isoteremis.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini yaitu:

1. Menjadi sumber informasi mengenai tanggal kadaluwarsa pada produk daging analog tepung kimpul dan produk sejenis
2. Sebagai acuan teknik pendugaan umur simpan bahan dengan kadar air rendah



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Daging Analog

Daging analog adalah makanan yang sengaja dibuat menyerupai daging untuk memenuhi kebutuhan protein para vegetarian yang tidak mengonsumsi protein hewani. Daging analog juga disebut daging tiruan yang dapat diatur memiliki struktur berupa tekstur, *flavour*, dan penampakan yang mirip dengan daging sesungguhnya, meskipun masih berbeda secara komposisi (Joshi dan Kumar, 2015). Secara umum daging analog merupakan produk nabati alternatif pengganti sumber protein hewani yang terbuat dari protein nabati (kacang-kacangan, jamur, minyak sayur, dan sereal) (Astawan, 2009). Umumnya pembuatan daging analog menggunakan isolat protein kedelai atau gluten sebagai bahan utama.

Isolat protein kedelai diolah dengan teknologi ekstruksi sehingga menghasilkan daging analog yang memiliki kenampakan dan sensori yang mirip dengan daging asli. Produk ini dapat diformulasikan sedemikian rupa agar memiliki nilai gizi yang lebih baik, lebih homogen, dan tahan lama daripada daging sapi asli bahkan dapat diatur tidak memiliki kandungan asam lemak jenuh sehingga tidak mengandung kolesterol (Mentari *et al*, 2016).

Tahapan pembuatan daging analog meliputi pembuatan isolat protein, pembuatan protein pinal dan penambahan komponen lain atau bahan pengisi untuk membentuk daging analog (Astawan, 2009). Protein pinal adalah hasil pemintalan isolat protein dalam asam setelah melewati proses ekstruksi. Gaya geser dari ekstruder dapat menghasilkan interaksi protein – protein yang akan membentuk matriks menyerupai serat mirip dengan serat daging asli (Krintiras *et al*, 2015). Setelah itu, protein yang terpinal dipanaskan pada kondisi tertentu sehingga diperoleh tekstur yang mirip dengan daging. Pembuatan daging analog juga memerlukan penambahan bahan pengisi, salah satu bahan pengisi yang digunakan yaitu karbohidrat. Interaksi karbohidrat – protein dengan adanya gaya geser pada proses ekstruksi membentuk jaringan matriks yang dapat meningkatkan *chewness* dan tekstur daging analog (Rareunrom *et al*, 2008).



Daging analog memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan daging asli yaitu, mengandung asam lemak jenuh yang lebih rendah, dapat diformulasi sedemikian rupa sehingga nilai gizinya lebih tinggi dari daging asli, tekstur dan kekerasan atau keempukannya dapat diatur menurut kehendak konsumen (dengan mengatur penambahan air pada pra proses pemasakannya), dan harganya lebih murah (Kanetro dan Dewi, 2009). Daging analog diharapkan dapat menjadi salah satu alternatif pangan fungsional karena penambahan protein dari kedelai di dalamnya.

## 2.2 Umbi Kimpul

Umbi kimpul (*Xanthosoma sagittifolium*) adalah salah satu jenis umbi talas-talasan yang termasuk famili Areacea. Kimpul tergolong tumbuhan berbunga, buahnya berbiji tertutup (*Angiospermae*) dan berkeping satu (*Monocotylae*). Kimpul memiliki umbi batang dan batang palsu yang sebenarnya adalah tangkai daun. Tinggi tanaman dapat mencapai dua meter, tangkai daun tegak, tumbuh dari tunas yang berasal dari umbi batang bawah tanah. Secara anatomi tersusun atas parenkim yang tebal, terbungkus kulit berwarna coklat pada bagian luar dan umbi berpati pada bagian dalamnya (Jatmiko dan Estiasih, 2013). Umbi kimpul dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Umbi Kimpul (*Xanthosoma sagittifolium*)

(Sumber : Bukabi-Deptan, 2009)

Komposisi gizi dan kimia umbi kimpul tergantung dari varietas, iklim, kesuburan tanah, dan umur panen. Umbi kimpul memiliki kandungan karbohidrat yang tinggi sehingga menjadi salah satu sumber karbohidrat. Selain itu, Kimpul

juga mengandung protein, lemak, vitamin, dan mineral. Kandungan gizi Kimpul per 100g berat bahan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kandungan gizi umbi kimpul per 100 g berat bahan

<b>Kandungan gizi</b>	<b>Jumlah</b>
Energi (Kal)	145,0
Protein (g)	1,2
Lemak (g)	0,4
Hidrat arang (g)	34,2
Abu(g)	1,0
Kalsium (mg)	26,0
Fosfor (mg)	54,0
Ferrum (mg)	1,4
Vitamin B1 (mg)	0,1
Vitamin C(mg)	2,0
Air (g)	63,1
Pati (%)	85

Sumber : Ndabikunze *et al.* (2011)

Selain kandungan karbohidratnya yang tinggi, keunggulan lain dari umbi kimpul yaitu tinggi serat pangan, memiliki indeks glikemik rendah dan adanya kandungan senyawa fitokemikal seperti *diosgenin*, *saponin*, *dioscorine*, *alkaloid* dan *flavonoid*. Senyawa diosgenin bermanfaat sebagai anti kanker, sedangkan *dioscorine* dapat menghambat enzim pengubah angiotensin yang dapat meningkatkan aliran darah ginjal dan menurunkan tekanan darah. Keberadaan senyawa flavonoid yang terdapat pada umbi kimpul dapat berfungsi sebagai antioksidan (Senanayake *et al.*, 2012).

Selain itu, umbi kimpul juga mengandung Polisakarida Larut Air (PLA) yang berfungsi untuk melancarkan pencernaan dengan meningkatkan populasi *Bifidobacterium* dalam kolon. Selain mengandung senyawa gizi, kimpul juga mengandung senyawa anti gizi yaitu kalsium oksalat. Kalsium oksalat ini menyebabkan rasa gatal ketika dikonsumsi (Jatmiko dan Estiasih, 2013).

### 2.3 Isolat Protein Kedelai (IPK)

Kedelai merupakan salah satu tanaman biji-bijian (legume) yang memiliki kandungan protein tinggi yaitu berkisar 38-44% sehingga digunakan sebagai sumber protein (Yulianti, 2003). Kedelai umumnya dimanfaatkan dalam berbagai produk, dalam industri kedelai digunakan untuk pembuatan minyak kedelai. Pembuatan minyak kedelai memiliki produk samping yaitu konsentrat dan isolat protein kedelai. Konsentrat protein kedelai mengandung 70% protein sedangkan isolat protein kedelai mengandung minimum 90-95% protein (Yulianti, 2003).

Isolat protein kedelai (IPK) atau yang umum disebut *Isolated Soy Protein* (ISP) merupakan bentuk paling murni dari protein kedelai yang berlemak rendah dengan kandungan protein minimum 90%. Produk ini hampir bebas dari karbohidrat, serat dan lemak sehingga memiliki sifat fungsional yang jauh lebih baik dibandingkan dengan konsentrat kedelai dan tepung kedelai (Yulianti, 2013). Pembuatan isolat protein dilakukan dengan memanfaatkan sifat kelarutan protein. Isolat protein dibuat dengan cara mengendapkan protein pada titik isoelektriknya sehingga protein dapat diisolasi dan dipisahkan dari bagian bahan lainnya yang tidak diinginkan (Ariwulan, 2011).

Isolat protein sangat dibutuhkan dalam industri pangan. Hal ini disebabkan karena sifat fungsional protein yang berperan dalam formulasi berbagai jenis makanan. Sifat fungsional protein yang utama antara lain emulsifikasi, daya serap lemak, dan daya serap air. Hal ini menjadikan prospek penggunaan ISP dalam industri pangan sangat luas, tidak hanya sebagai campuran tetapi juga digunakan sebagai bahan baku utama. Di Amerika Serikat dan Eropa isolat protein kedelai banyak digunakan untuk memproduksi daging analog seperti *meatless ham*, *meatless bacon* dan *meatless hot dog*. Hal ini dikarenakan kemampuan isolat protein kedelai untuk membentuk serat-serat protein yang secara karakteristik menyerupai daging asli, sangat cocok bagi para vegetarian karena memiliki daya cerna yang tinggi, dan memiliki biaya produksi yang rendah tanpa menurunkan kualitas gizinya (Angus dan Westbrook, 2019).

Pembuatan daging analog menggunakan IPK selain karena agar pembentukan tekstur serat menyerupai daging asli, juga bertujuan memenuhi

ketentuan mutu daging berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 3818:2014) yaitu kadar protein minimal 11%. Pada industri olahan daging sifat fungsional ISP yang digunakan yaitu penyerapan dan pengikatan lemak, pengikatan flavor, pembentuk dan penstabil emulsi lemak, dan membuat ikatan disulfida. Sifat ini berkaitan dengan jumlah air yang terikat bersama dengan protein dalam emulsi produk. Jumlah protein yang ditambahkan akan berpengaruh terhadap jumlah air yang terikat dalam matriks protein-air atau matriks emulsi yang ditandai dengan peningkatan nilai kapasitas pengikatan air (*Water Holding Capacity*) (Bahnol dan El-Aleem, 2004). Adapun komposisi asam amino dalam asam amino isolat protein kedelai dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2. Komposisi Asam Amino dalam Isolat Protein Kedelai (IPK)

<b>Jenis Asam Amino Essential</b>	<b>Jumlah (%)</b>	<b>Jenis Asam Amino Non Essential</b>	<b>Jumlah (%)</b>
<i>Lysine</i>	6,1	<i>Arginine</i>	7,8
<i>Methionine</i>	1,1	<i>Histidine</i>	2,5
<i>Cystine</i>	1,0	<i>Tyrosine</i>	3,7
<i>Tryptophan</i>	1,4	<i>Serine</i>	5,5
<i>Threonine</i>	3,7	<i>Glutamic acid</i>	20,5
<i>Isoleucine</i>	4,9	<i>Aspartic acid</i>	11,9
<i>Leucine</i>	7,7	<i>Glycine</i>	4
<i>Phenylalanine</i>	5,4	<i>Alanine</i>	3,9
<i>Valine</i>	4,8	<i>Proline</i>	5,3

Sumber : Soy Protein Council (1987)

Protein kedelai berpotensi sebagai pangan fungsional berkaitan dengan kandungan asam aminonya, khususnya kandungan arginine yang diketahui berperan penting dalam mengontrol level kolesterol. Protein kedelai juga memiliki efek hipoglikemik karena dapat memacu sekresi insulin secara invitro (Kanetro dan Dewi, 2009).

#### 2.4 Kerusakan Bahan Pangan Selama Penyimpanan

Kualitas bahan atau produk pangan akan mengalami penurunan selama masa penyimpanan. Setelah produksi, mutu produk dianggap dalam keadaan 100% dan akan menurun selama penyimpanan atau distribusi. Menurut Asiah *et*

al, (2018), beberapa variabel terkait dapat mempengaruhi umur simpan suatu produk pangan yaitu komposisi bahan pangan, proses pengolahan, jenis pengemas yang digunakan, kondisi penyimpanan, mekanisme pendistribusian, dan penanganan saat diterima retailer dan konsumen. Sedangkan kerusakan atau penurunan kualitas bahan pangan diakibatkan adanya reaksi kimia (reaksi maillard, oksidasi lipid,dll), perubahan biologis yang masih berlanjut selama penyimpanan makanan, maupun proses simultan seperti pertumbuhan mikroorganisme, reaksi enzimatik dan non-enzimatik, dan perubahan fisik (Asiah *et al*, 2018).

## 2.4.1 Perubahan Kimiawi

Perubahan secara kimia atau perubahan yang terjadi diakibatkan oleh reaksi kimia pada bahan pangan umumnya disebabkan oleh faktor internal seperti komponen yang terkandung dalam bahan pangan dan faktor eksternal yang berkaitan dengan kondisi lingkungan penyimpanan. Perubahan secara kimiawi ini dapat menimbulkan kerusakan secara sensoris dan nutrisi bahan pangan (Man dan Jones, 1994). Contoh reaksi kimia yang sering terjadi pada bahan pangan yaitu perubahan pH bahan pangan dapat menyebabkan pigmen bahan pangan tersebut mengalami perubahan warna, reaksi browning atau pencoklatan yang dapat terjadi secara enzimatik maupun non-enzimatik umumnya akibat kontak langsung oksigen dengan senyawa fenol pada bahan, dan ketengikan akibat adanya reaksi oksidasi lipid menjadi aldehida dan keton rantai pendek yang menyebabkan bau dan rasa tidak diinginkan (Budijanto dan Sitanggang, 2016).

## 2.4.2 Perubahan Akibat Mikroorganisme

Pertumbuhan mikroorganisme yang tidak dikehendaki pada makanan merupakan indikator terjadinya kebusukan, menyebabkan pembentukan karakteristik sensoris yang tidak diinginkan seperti berbau dan berlendir serta menjadikan produk pangan tersebut tidak aman dikonsumsi. Mikroorganisme yang sering tumbuh pada bahan pangan yaitu bakteri dan kapang (Asiah *et al*, 2018).

Bakteri merupakan mikroorganisme prokariot yang sangat mudah berkembang biak. Umumnya bakteri yang bersifat merugikan disebut bakteri

patogen, yang jika tumbuh pada bahan pangan dapat menyebabkan berbagai perubahan pada penampakan maupun komposisi kimia dan cita rasa bahan pangan tersebut. Sedangkan kapang merupakan kelompok mikroba multiseluler yang tergolong dalam fungi. Kapang ketika menempel pada bahan pangan akan melakukan proses metabolisme yang menghasilkan mikotoksin, yang tentunya berbahaya apabila dikonsumsi (Asiah *et al*, 2018).

Selama masa penyimpanan, daging analog memiliki kecenderungan mengalami penurunan kadar protein akibat aktivitas bakteri proteolitik. Kontaminasi bakteri proteolitik menyebabkan terjadinya pemecahan protein menjadi molekul-molekul sederhana asam amino, yang menyebabkan sel-sel daging mengalami kerusakan (Syarif dan Halid, 1993). Bakteri proteolitik merupakan bakteri aerobik yang tumbuh optimal dengan adanya oksigen, semakin banyak oksigen semakin optimal pertumbuhannya. Bakteri ini tumbuh optimal pada suhu ruang, tetapi masih dapat tumbuh dan berkembang setelah beradaptasi pada suhu lemari pendingin (*refrigerator*) sehingga bakteri proteolitik masih dapat berkembang dan mendegradasi protein daging analog (Agus *et al.*, 2013)

Suhu, lama penyimpanan, dan karakter bahan merupakan faktor yang sangat berpengaruh terhadap laju pertumbuhan mikroorganisme. Bahan pangan dengan kandungan air lebih tinggi lebih cepat rusak. Penentuan batas akhir umur simpan ditentukan pada batas minimal mikroorganisme dianggap sudah membahayakan untuk konsumen dan secara sensori bahan pangan sudah tidak diterima oleh konsumen (Asiah *et al*,2018).

### 2.4.3 Perubahan Fisik

Perubahan sifat fisik dapat disebabkan adanya kesalahan penanganan saat distribusi. Perubahan sifat fisik yang umum terjadi adalah perubahan warna dan tekstur (Man dan Jones, 1994). Misal terjadinya "*case hardening*" karena penyimpanan dalam gudang basah menyebabkan bahan seperti tepung kering dapat menyerap air kembali sehingga terjadi pengerasan atau membatu. Pada proses pendinginan terjadi *chilling injuries*, *freezing injuries*, dan *freezer burn*. Sel-sel tenunan pada suhu pembekuan akan menjadi kristal es dan menyerap air dari sel sekitarnya. Akibat dehidrasi ini, ikatan sulfhidril (-SH) dari protein akan

berubah menjadi ikatan disulfida (-S-S-), sehingga fungsi protein secara fisiologis hilang, yang menyebabkan fungsi enzim juga hilang dan metabolisme berhenti yang menyebabkan sel rusak kemudian membusuk, kerusakan fisik umumnya terjadi bersama-sama dengan bentuk kerusakan lainnya (Susiwi, 2009).

#### 2.4.4 Kemasan

Pengemas menjadi faktor penting dalam memperpanjang umur simpan karena kemasan dapat melindungi produk dari cemaran dan kerusakan fisik dan mikroorganisme serta dapat menahan perpindahan gas dan uap air sehingga mutu produk terjamin sampai kepada konsumen (Herawati, 2008). Daging analog merupakan salah satu produk pangan sehingga dibutuhkan pengemas jenis *food grade* dan memiliki tingkat permeabilitas rendah untuk mengendalikan jumlah bakteri yang ada pada produk, salah satunya yaitu plastik.

Pengemas plastik memiliki keunggulan dapat melindungi produk dari pengaruh fisik, kimia dan biologis tanpa ada reaksi dengan produk yang dikemas. Penggunaan plastik sebagai bahan pengemas juga didasari karena sifat-sifat plastik seperti lunak, mudah dibentuk, mempunyai daya adaptasi yang tinggi terhadap produk, tidak korosif, dan mudah penanganannya (Syarief dan Halid, 1993). Ada bermacam-macam jenis pengemas plastik jenis plastik yang paling umum digunakan untuk membungkus produk daging dan olahan daging antara lain polietilen dan polipropilen.

Menurut Suradi (2005), bahan pengemas Polipropilen (PP) dan Polietilen (PE) merupakan bahan pengemas plastik yang umum digunakan sebagai pengemas produk daging dan ikan. Plastik polipropilen (PP) mempunyai sifat yang tahan terhadap minyak dan lemak, stabil pada suhu tinggi dan permeabilitas gas rendah. Plastik polietilen (PE) memiliki sifat yang mudah dibentuk dan lemas, memiliki permeabilitas terhadap gas yang rendah, resisten terhadap lemak dan minyak, tidak memiliki reaksi kimia terhadap daging sehingga cocok digunakan untuk pengemas daging tiruan. Plastik polietilen dibagi menjadi empat jenis berdasarkan densitasnya yaitu polietilen densitas rendah (*LDPE*), polietilen densitas menengah (*MDPE*), dan polietilen dengan densitas tinggi (*HDPE*)

(Indraswati, 2017). Tabel 2.3 menunjukkan nilai permeabilitas beberapa jenis kemasan.

Tabel 2.3 Permeabilitas berbagai jenis kemasan

Jenis Kemasan	Permeabilitas Kemasan (Kg/m <sup>2</sup> Pa/hari)
HDPE	$7,5018 \times 10^{-7}$
PP	$1,3878 \times 10^{-6}$
MDPE	$2,2556 \times 10^{-6}$
LDPE	$3,7594 \times 10^{-6}$

## 2.5 Kadar Air Bahan Pangan

Kadar air adalah presentase kandungan air yang terdapat dalam suatu bahan yang dapat dinyatakan berdasarkan berat basah (wet basis) atau berat kering (dry basis). Air merupakan komponen utama bahan pangan, yang berperan penting dalam menentukan berbagai reaksi dan kualitas bahan pangan (Rauf, 2015). Air dalam bahan pangan terdapat dalam tiga bentuk, yaitu air bebas merupakan air yang berada di antara sel-sel di dalam jaringan, air terikat lemah merupakan air yang terserap pada permukaan koloid sedangkan air terikat kuat adalah air yang membentuk hidrat dengan komponen lain sehingga memiliki ikatan kuat yang sulit untuk diuapkan (Rauf, 2015). Air yang terdapat dalam bentuk bebas inilah yang dapat memicu terjadinya proses kerusakan bahan pangan, misalnya proses mikrobiologis, kimiawi, dll.

Penentuan kadar air suatu bahan dapat dilakukan dengan berbagai cara, disesuaikan dengan sifat bahan yang akan diukur. Kadar air suatu bahan dinyatakan dalam persentase berat bahan basah, misalnya dalam gram air untuk setiap 100 gram bahan, yang disebut kadar air berat basah. Berat kering adalah berat bahan setelah mengalami pemanasan beberapa waktu tertentu hingga beratnya konstan. Umumnya pengukuran kadar air bahan pangan dilakukan dengan metode termogravimetri (Sudarmadji dan Bambang, 2003). Jumlah air



bebas dalam bahan pangan yang dapat digunakan oleh mikroorganisme dinyatakan dalam aktivitas air ( $A_w = \text{water activity}$ ).

## 2.6 Aktivitas Air Bahan Pangan

Aktivitas air ( $A_w$ ) adalah rasio dari tekanan uap air dari suatu bahan pangan dengan tekanan uap air murni pada suhu yang sama. Makin tinggi tekanan uap air bahan pangan, semakin tinggi aktivitas airnya. Aktivitas air dapat menjadi petunjuk daya tahan suatu bahan pangan terhadap kerusakan selama penyimpanan. Semakin tinggi  $A_w$  bahan pangan, semakin cepat reaksi kerusakannya, oleh karena itu  $A_w$  juga didefinisikan sebagai jumlah air bebas dalam bahan pangan yang dapat digunakan oleh mikroorganisme untuk menunjang kelangsungan hidupnya (Rauf,2015).

Parameter  $A_w$  dapat diukur dengan menggunakan kelembapan relatif berimbang dari bahan tersebut yang tidak mengalami penurunan atau kenaikan kadar air pada suhu tertentu (Purnomo,1995).  $A_w$  dapat diukur dengan perbandingan antara tekanan uap dari bahan dengan tekanan uap air murni pada suhu yang sama (Purnomo,1995) :

$$A_w = \frac{P}{P_0}$$

Keterangan:

P : tekanan uap air bahan pada suhu T

$P_0$  : tekanan uap air murni pada suhu T

Aktivitas air juga dapat didefinisikan sebagai kelembapan relatif seimbang ( $ERH = w = \text{equilibrium relative humidity}$ ) dibagi 100 (Purnomo,1995).

$$A_w = \frac{w}{w_0}$$

Pengukuran  $A_w$  dapat dilakukan dengan pengkondisian kelembapan lingkungan menggunakan larutan garam jenuh karena mudah mencapai titik kesetimbangan. Penggunaan larutan garam jenuh dipilih karena kemampuannya mempertahankan kelembapan yang konstan selama larutan garam masih diatas tingkat jenuhnya. Pengukuran  $A_w$  semakin efektif jika kemurnian garam, luas

permukaan cairan, dan volume larutan garam jenuh juga di perhatikan (Somala, 2002). Jenis garam yang dapat digunakan dalam pengukuran  $\lambda$  dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Kelembapan nisbi larutan garam jenuh

Garam	Rumus Bangun	Kelembapan Nisbi (%)			
		Suhu (°C)			
		20	25	30	35
Lithium klorida	LiCl	12	11	11	11
Potassium asetat	CH <sub>3</sub> COOK	23	23	23	23
Magnesium klorida	MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	33	33	32	32
Potassium karbonat	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	44	43	42	41
Magnesium nitrat	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	53	52	52	51
Sodium nitrit	NaNO <sub>2</sub>	65	64	63	62
Sodium klorida	NaCl	75	75	75	75
Ammonium sulfat	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	80	80	79	79
Potassium klorida	KCl	85	85	84	84
Barium klorida	BaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	91	90	89	88
Potassium nitrat	KNO <sub>3</sub>	94	93	92	91
Potassium sulfat	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	97	97	97	96

Sumber: Buckle *et al.*, (1987) dalam Somala, (2002)

## 2.7 Kadar Air Kesetimbangan

Kadar air kesetimbangan (*equilibrium moisture content*) adalah kadar air minimum yang dapat dicapai pada kondisi udara pengeringan yang tetap atau pada suhu dan kelembapan relatif yang tetap. Suatu bahan dalam keadaan seimbang apabila laju kehilangan air dari bahan ke udara sekelilingnya sama dengan laju penambahan air ke bahan dari udara sekelilingnya (Manalu, 2001).

Kondisi ini dapat diketahui pada saat penimbangan produk sudah tidak mengalami perubahan (penambahan atau pengurangan) berat. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kadar air keseimbangan antara lain kecepatan aliran udara dalam ruang pengering, suhu, dan kelembapan nisbi dan jenis bahan yang dikeringkan (Manalu, 2001).

## 2.8 Penentuan Umur Simpan

Umur simpan produk pangan adalah selang waktu antara saat produksi hingga konsumsi ketika produk berada dalam kondisi yang memuaskan berdasarkan karakteristik penampakan, rasa, aroma, tekstur, dan nilai gizi. Setelah produksi mutu produk dianggap dalam keadaan 100% dan akan menurun sejalan dengan lamanya penyimpanan dan distribusi (Herawati, 2008).

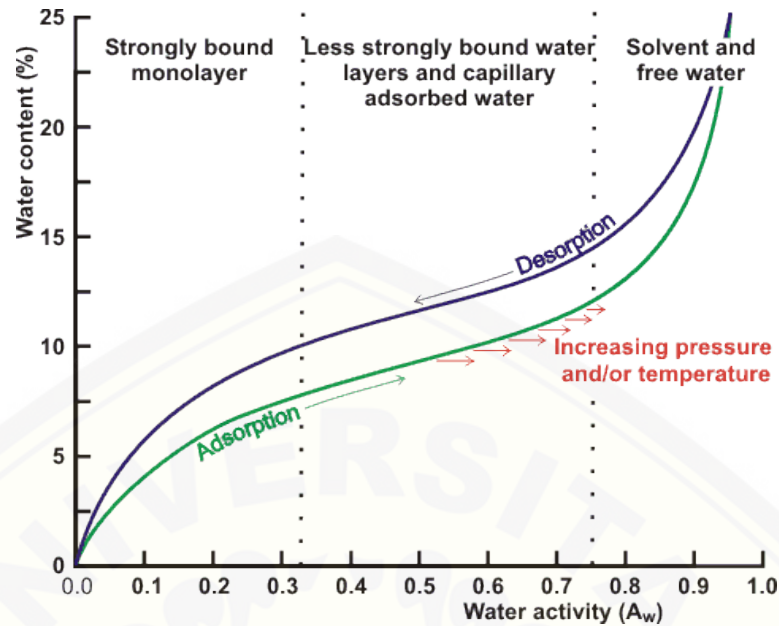
Penetapan umur simpan dan parameter sensori sangat penting pada tahap penelitian dan pengembangan produk pangan baru sebagai usaha untuk menyediakan informasi umur simpan yang dapat diterapkan pada produk. Hal tersebut ditentukan berdasarkan hasil analisis di laboratorium yang didukung hasil evaluasi distribusi di lapang sebelum suatu produk baru diproduksi dan dipasarkan (Herawati, 2008).

Pendugaan umur simpan dapat dilakukan dengan dua metode menurut Syarief (1989) dalam Herawati (2008), yaitu metode konvensional (*Extended Storage Studies/ESS*) dan metode (*Accelerated Shelf-Life Testing/ASLT*). Metode ESS atau disebut juga metode konvensional merupakan penentuan kadaluwarsa suatu bahan pangan dengan cara menyimpan produk dalam kondisi normal kemudian diamati perubahan mutunya sampai mengalami kerusakan dan dihitung sebagai lama umur simpan. Metode ESS umumnya digunakan untuk produk dengan masa kadaluwarsa kurang dari 3 bulan. Metode ASLT merupakan penentuan umur simpan produk pangan dengan cara mengkondisikan produk pangan pada lingkungan yang dapat mempercepat proses penurunan mutunya, terdapat dua model pendekatan yang digunakan dalam metode akselerasi yaitu model kadar air kritis yang digambarkan melalui kurva sorpsi isotermis dan pendekatan semi empiris dengan bantuan persamaan Arrhenius (Singh, 1994).

Model Arrhenius mensimulasi kerusakan produk oleh reaksi kimia yang dipicu oleh suhu penyimpanan, sedangkan model kadar air kritis mensimulasi kerusakan produk yang dipicu oleh penyerapan air produk (Arpah, 2001).

Model pendugaan umur simpan kadar air kritis sangat tepat digunakan pada produk yang mudah mengalami kerusakan akibat penyerapan air pada produk pangan. Parameter penurunan kualitas produk dapat dilihat dari nilai kadar air, tingkat kerenyahan, atau parameter air lainnya (kadar air kritis dan kadar air kesetimbangan) yang menunjukkan adanya penyerapan air pada produk pangan (Asiah *et al*, 2018). Pada model kadar air kritis ini, produk pangan kering disimpan pada kondisi lingkungan penyimpanan yang memiliki kelembapan relatif tinggi sehingga akan mengalami penurunan mutu akibat menyerap air (Bell dan Labuza, 1982).

Pada pendugaan umur simpan model kadar air kritis untuk mengetahui hubungan antara kadar air dengan aktivitas air suatu bahan pada suhu yang sama digambarkan pada suatu kurva yang disebut kurva sorpsi isotermis. Kurva sorpsi isotermis merupakan suatu model yang dapat menggambarkan hubungan antara kadar air bahan pangan dengan kelembapan relatif kesetimbangan (ERH) ruang penyimpanan atau aktifitas air ( $A_w$ ) pada suhu tertentu (Syarif dan Halid, 1993). Kurva sorpsi isotermis dapat menggambarkan aktivitas adsorpsi (menyerap air) dan desorpsi (penguapan air) dari bahan makanan. Pada gambar 2 ditunjukkan hubungan ERH atau  $a_w$  dan kadar air bahan pangan pada suhu konstan, produk dengan kadar air rendah sampai sedang berada di bagian datar kurva sorpsi isotermis dan produk dengan kadar air sedang sampai tinggi mempunyai nilai  $a_w$  yang tinggi (Winarno dan Silowati, 2004).



Gambar 2.2 Kurva Isoterm Sorpsi Air  
 Sumber : (<http://www.lsbu.ac.uk/water/activity.html>)

Secara alami bahan pangan tinggi protein dapat menyerap air dari udara disekelilingnya dan sebaliknya juga dapat melepaskan sebagian air yang terkandung ke udara. Sifat ini umumnya digambarkan dengan kurva sorpsi isotermis ataupun model matematisnya. Pembuatan kurva sorpsi isotermis dilakukan dengan menghubungkan kelembapan dengan kadar air kesetimbangan daging itruan. Kadar air kesetimbangan pangan akan bervariasi tergantung dari kondisi dan karakteristik bahan pangan (Herawati,2008). Oleh karena itu, setiap bahan memiliki tipe kurva sorpsi isotermis yang berbeda, bentuk khas dari kurva sorpsi isotermis mencerminkan bagaimana sistem pangan berinteraksi dengan air (Andrade *et al.*, 2011).

Heiss dan Eichenr (1971) menyatakan bahwa penambahan atau kehilangan kandungan air dari suatu bahan pangan pada suhu dan kelembapan (RH) yang konstan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{dW}{dRH} = \frac{W}{RH} \left( \frac{1}{RH} - \frac{1}{RH^2} \right)$$

Keterangan:

waktu masa simpan (hari)

kadar air kesetimbangan produk (%db)

kadar air awal produk (%db)

kadar air kritis (%db)

$P/X$  = permeabilitas uap air kemasan ( $\text{Kg/m}^2\text{Pa/hari}$ )

$A$  = luas permukaan kemasan ( $\text{m}^2$ )

$W_s$  = berat bahan dalam kemasan

$P_o$  = tekanan jenuh uap air pada suhu penyimpanan (Pa), yang diperoleh berdasarkan tabel *vapor preasure* pada suhu  $28^\circ\text{C}$ .

## BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Rekayasa Pangan dan Hasil Pertanian Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember. Waktu penelitian dilaksanakan mulai bulan Juli - Desember 2019.

### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.2.1 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, ekstruder ulir tunggal (*single screw extruder*), neraca analitik (Sartorius BSA224S-CW), ayakan Tyler 60 mesh *standard Brass S/Steel*, oven (Selecta), cawan *conway*, dan desikator.

#### 3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu umbi kimpul (*Xanthosoma sagittifolium*) yang didapat dari local market Jember, IPK (Isolat Protein Kedelai) komersial, air, aquadest, garam LiCl, garam K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, garam NaCl, garam KCl, dan garam KNO<sub>3</sub>.

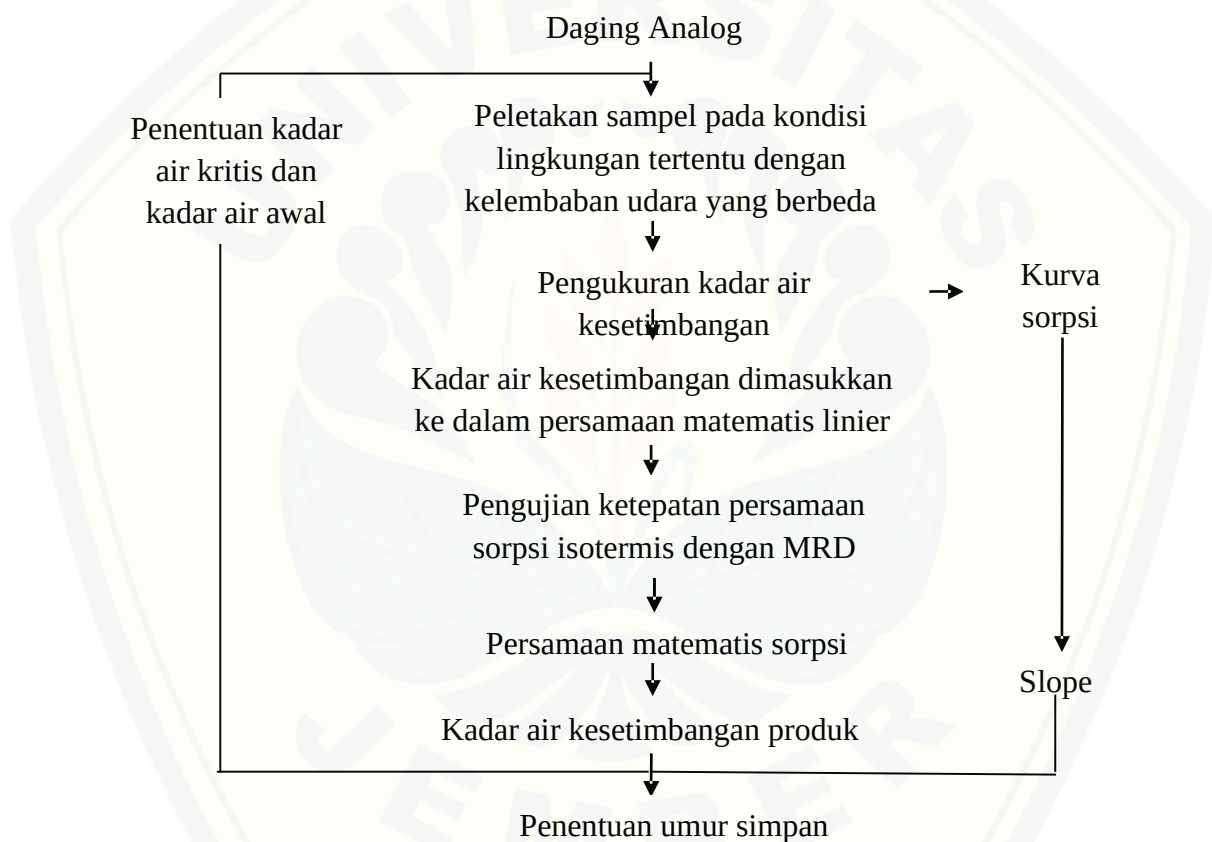
### 3.3 Pelaksanaan Penelitian

#### 3.3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang diawali dengan proses pembuatan sampel, kemudian pengujian daging analog, dan perhitungan umur simpan. Penelitian ini dirancang dengan mengombinasikan komposisi bahan yang tercantum dalam Tabel 3.1 kemudian dilakukan pengukuran umur simpan dengan metode sorpsi isotermis pada Gambar 3.1.

Tabel 3.1 Perbandingan Formulasi Daging Analog

Perlakuan	Isolat Protein Kedelai (%)	Tepung Kimpul (%)	Gluten (%)	Air
A	70	30	-	Dingin
B	70	30	-	Panas
C	50	30	20	Dingin
D	50	30	20	Panas



Gambar 3.1 Rancangan Percobaan Penentuan Umur Simpan Daging Analog

### Tahapan Penelitian

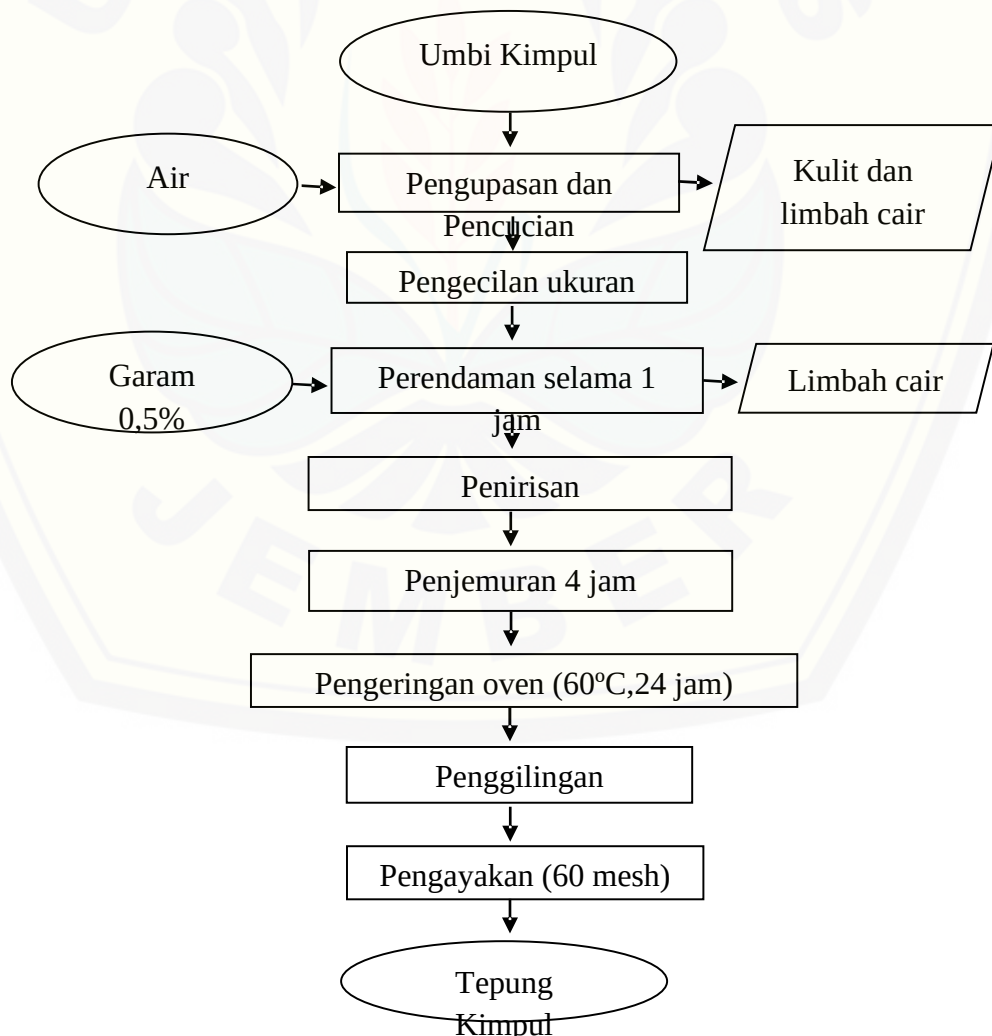
#### 3.3.2.1 Persiapan Sampel

Persiapan sampel dilakukan dengan pembuatan tepung kimpul sebagai bahan baku pembuatan daging analog dilanjutkan dengan pembuatan daging analog.



a) Pembuatan Tepung Kimpul

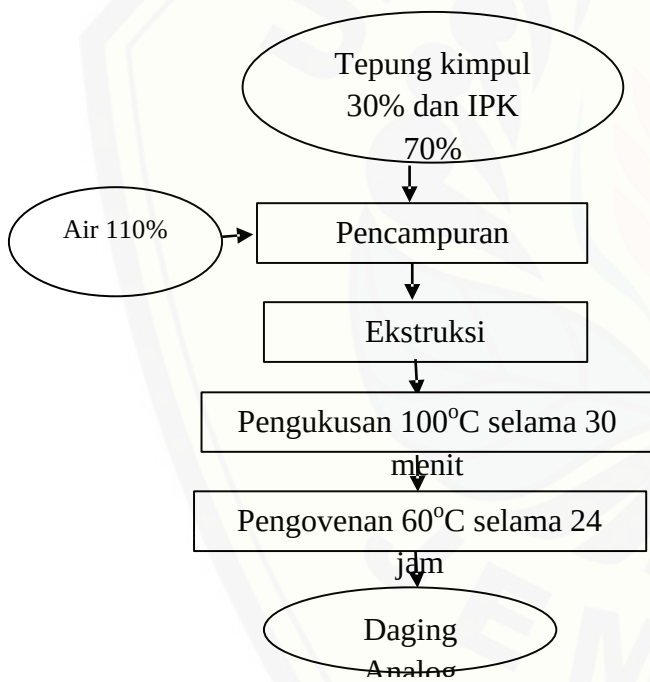
Proses pembuatan tepung kimpul mengacu pada metode Coronell-Tovar *et al*, (2019) yang diawali dengan pengupasan umbi kimpul kemudian dilakukan pembersihan (pencucian) yang bertujuan untuk menghilangkan kotoran yang melekat pada bahan, kemudian dilakukan pengecilan ukuran dengan alat *slicer* dan perendaman dalam larutan garam 5g/Kg selama 1 jam yang bertujuan untuk menghilangkan asam oksalat pada umbi kimpul. *Chips* umbi kimpul kemudian dilakukan penirisan dan dikering anginkan selama 4 jam untuk kemudian dilakukan pengovenan pada suhu 60°C selama 24 jam. Setelah *chips* umbi kimpul kering dilakukan penggilingan dan pengayakan dengan ayakan 60 mesh sehingga dihasilkan tepung kimpul yang akan digunakan dalam pembuatan daging analog. Diagram pembuatan tepung kimpul dapat dilihat pada gambar 2.



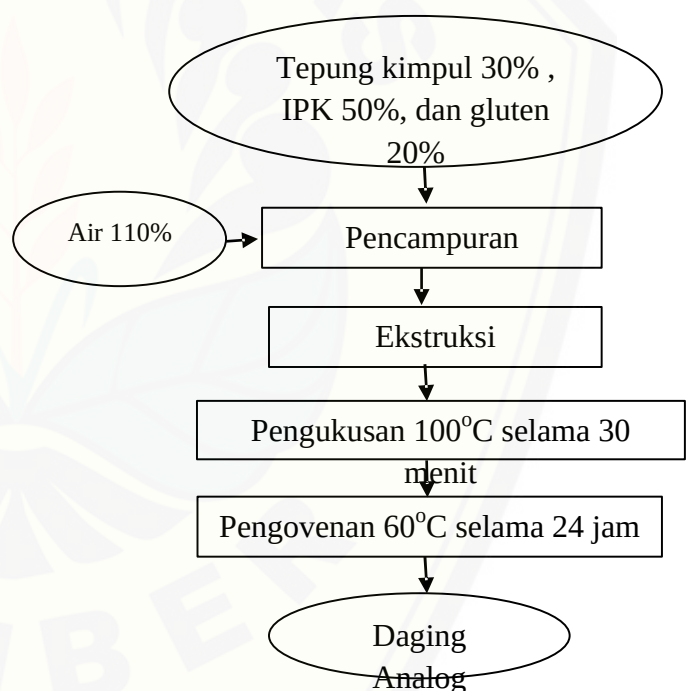
Gambar 3.2. Proses pembuatan tepung kimpul

b) Pembuatan daging analog

Proses awal yang dilakukan dalam pembuatan daging analog yaitu persiapan bahan baku sesuai perlakuan. Selanjutnya dilakukan pencampuran bahan dasar yaitu tepung kimpul, gluten, dan isolat protein kedelai sesuai formulasi. Proses pencampuran dilakukan secara manual dan dilakukan penambahan air sebanyak 110%. Kemudian adonan daging analog tersebut dimasukkan ke dalam ekstruder untuk proses pengadukan dan pencetakan. Adonan yang tercetak dikukus pada suhu 100°C selama 30 menit. Kemudian, dilakukan pengeringan menggunakan oven suhu 60°C selama 24 jam. Proses pembuatan daging analog dapat dilihat pada gambar 3.3 dan gambar 3.4.



Gambar 3.3. Proses pembuatan daging analog tanpa gluten



Gambar 3.4. Proses pembuatan daging analog dengan gluten

3.3.2.2 Perhitungan Umur Simpan

Pendugaan umur simpan dilakukan dengan metode *accelerated Shelf Life Testing* (ASLT) dengan pendekatan kadar air kritis berdasarkan kurva sorpsi isothermis. Pada metode penentuan umur simpan ini diperlukan nilai kadar air

awal, kadar air kritis, dan kadar air kesetimbangan. Hasil pengukuran kadar air kesetimbangan diplotkan dengan RH atau kelembapan relatif lingkungan membentuk kurva sorpsi isotermis untuk mendapatkan nilai slope. Kadar air kesetimbangan juga dimasukkan ke dalam persamaan matematis yang telah dilinearisasi sehingga didapatkan persamaan sorpsi isotermis. Persamaan matematis yang digunakan yaitu persamaan Oswin, Chung-Pfost, Chen-Clayton, dan Henderson (Chen,2019). Persamaan yang dimaksud sebagai berikut :

- a. Persamaan Oswin

$$\left( \frac{d}{d_0} \right)^{1/n}$$

Keterangan :

$d$  = Kadar air kesetimbangan (%db)

$d_0$  = Konstanta dari model persamaan

$n$  = aktivitas air

(Oswin, 1946) dalam Chen (2019).

- b. Persamaan Chung-Pfost

$$- \left( \frac{d}{d_0} \right)^{1/n}$$

Keterangan :

$d$  = Kadar air kesetimbangan (%db)

$b$  = Konstanta dari model persamaan

$T$  = temperature ( $^{\circ}$ K)

RH = Kelembapan relative

(Chung and Pfost, 1967) dalam Chen (2019).

- c. Persamaan Chen-Clayton

$$\frac{d}{d_0} \left( \frac{d}{d_0} \right)^{1/n}$$

Keterangan :

$d$  = Kadar air kesetimbangan (%db)

$a, b, c, d$  = Konstanta dari model persamaan

$T$  = temperature ( $^{\circ}$ K)

RH = Kelembapan relative

(Chen and Clayton, 1971) dalam Chen (2019).

d. Persamaan Henderson

))

Keterangan :

= Kadar air kesetimbangan (%db)

$a$ , = Konstanta dari model persamaan

$a_w$  = Water activity

(Henderson, 1952) dalam Chen (2019).

Selanjutnya untuk menguji ketepatan persamaan sorpsi isotermis tersebut, dilakukan perhitungan *Mean Relative Determination* (MRD).

$$MRD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N | \frac{m_i - m_{pi}}{m_i} |$$

Keterangan:

$m_i$  = Kadar air kesetimbangan hasil percobaan (%)

$m_{pi}$  = kadar air kesetimbangan hasil perhitungan

$N$  = jumlah data

Jika nilai MRD <5, maka model sorpsi isotermis tersebut dapat menggambarkan keadaan yang sebenarnya. Jika  $5 < MRD < 10$ , maka model tersebut agak tepat dan jika  $MRD > 10$ , maka model tersebut tidak tepat (Chen,2019).

Penentuan umur simpan dapat dilakukan dengan perhitungan menggunakan persamaan Heiss dan Eichenr (1971) sebagai berikut :

$$\frac{W_s}{A} \ln \frac{w - w_c}{w_0 - w_c} = \frac{P}{X}$$

Keterangan:

waktu masa simpan (hari)

kadar air kesetimbangan produk (%db)

kadar air awal produk (%db)

kadar air kritis (%db)

$P/X$  = permeabilitas uap air kemasan (g.mm/m<sup>2</sup>mmHg/24 jam)

$A$  = luas permukaan kemasan (m<sup>2</sup>)

$W_s$  = berat bahan dalam kemasan

Po = tekanan jenuh uap air pada suhu penyimpanan (mmHg), yang diperoleh berdasarkan tabel *vapor pressure* pada suhu 28°C.

### 3.4 Prosedur Analisis

#### 3.4.1 Kadar air

Analisis kadar air awal dilakukan dengan mengacu pada AOAC (2005). Kadar air awal adalah kadar air daging analog sebelum perlakuan penyimpanan. Prinsip pengukuran kadar air diawali dengan cara memasukkan botol timbang ke dalam oven suhu 105°C selama 30 menit. Setelah dilakukan pengovenan maka botol dimasukkan ke dalam eksikator selama 15 menit untuk didapatkan suhu yang konstan, dan ditimbang sebagai (a) gram. Botol timbang yang sudah diketahui beratnya, selanjutnya diisi dengan sampel daging analog sebanyak 2 gram dan ditimbang sebagai (b) gram. Setelah itu di oven dengan suhu 105°C selama 4-6 jam. Selanjutnya sampel+botol timbang didinginkan dalam eksikator selama 15 menit dan ditimbang kembali sebagai (c) gram, perlakuan ini diulang sampai didapatkan berat konstan, atau selisih penimbangan sebesar 0,2 mg. Kemudian dilakukan perhitungan dengan rumus:

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{b - c}{a} \times 100$$

Keterangan :

a= berat botol timbang (a)

b= berat botol timbang + sampel sebelum dioven (g)

c= berat botol timbang + sampel setelah dioven (g)

Hasil analisis kadar air awal akan digunakan sebagai faktor koreksi dalam penentuan berat solid (Ws) yang diperlukan dalam perhitungan umur simpan.

#### 3.4.2 Penentuan kadar air kritis

Kadar air kritis (Mc) adalah nilai kadar air ketika sampel daging analog menunjukkan bahwa secara organoleptik produk sudah tidak dapat diterima. Pada daging analog umbi kimpul, perhitungan kadar air kritis dilakukan ketika sampel pertama kali ditumbuhi kapang. Penentuan kadar air kritis dilakukan dengan meletakkan sampel pada suhu ruang secara terbuka tanpa kemasan pada RH 75-

80% hingga mengalami kerusakan. Pengukuran kadar air dilakukan dengan metode oven AOAC (2005) sesuai dengan pengukuran kadar air awal.

### 3.4.3 Penentuan kadar air kesetimbangan

Kadar air kesetimbangan diukur dengan menggunakan larutan garam jenuh. Garam yang digunakan yaitu,  $K_2CO_3$ ,  $NaNO_2$ ,  $NaCl$ ,  $KCl$ ,  $KNO_3$  sebagai pengatur kelembapan relatif (RH). Larutan garam jenuh sebanyak 7 ml dimasukkan ke dalam cawan conway. Setiap cawan dimasukkan 2 gram daging analog yang diletakkan di bagian tengah cawan conway kemudian diamati pada suhu ruang rata-rata  $30^\circ C$ . Pengamatan dilakukan terhadap bobot daging analog secara periodik setiap hari hingga didapatkan bobot konstan yang berarti kadar air kesetimbangan telah tercapai (Al-Muhtaseb *et al*, 2002).

### 3.5 Analisa Data

Data yang didapatkan disusun dalam tabel yang diolah menggunakan Microsoft Excel dan dimuat dalam grafik kemudian dianalisa secara deskriptif.

## **BAB 5. PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa perbedaan komposisi dalam pembuatan daging analog umbi kimpul dan penggunaan kemasan dan kelembapan ruang penyimpanan yang berbeda memberikan lama umur simpan yang berbeda pula. Umur simpan terpanjang daging analog umbi kimpul yang diduga dengan pendekatan sorpsi isotermis yaitu daging analog umbi kimpul dengan komposisi 50% IPK, 30% tepung kimpul, 20% gluten dan air dingin dalam kemasan HDPE yang disimpan pada RH 85% selama 1619 hari. Umur simpan daging analog umbi kimpul terpendek yaitu daging analog umbi kimpul dengan komposisi 70% IPK, 30% tepung kimpul dan air panas dalam kemasan LDPE yang disimpan pada RH 95% selama 55 hari.

### **5.2 Saran**

Saran untuk penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai perlakuan pengemasan dan kondisi penyimpanan terbaik yang dapat memberikan umur simpan lebih panjang selain itu juga dapat dilakukan penentuan umur simpan dari produk turunan daging analog.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Agus D S; S. Kumalaningsih; A. Febrianto Mulyadi. 2013. Studi Stabilitas Pengangkutan Susu Segar Pada Suhu Rendah Yang Layak Secara Teknis Dan Finansial (Kajian Suhu Dan Lama Waktu Pendinginan). *Jurnal penelitian*. Jurusan Teknologi Industri Pertanian Universitas Brawijaya
- Al-Muhtaseb, A.H., McMinn W. A. M., Magee T. R. A. 2002. Moisture Sorption Isotherm Characteristics of Food Products : A review Food and Bioproducts Processing, 80(2), 118-128
- Andrade, R. D. P., R. Lemus, & C. E. Perez. 2011. Models of sorption isotherms for food: uses and limitations. *Vitae*. 18 (3): 325-334.
- Angus, A. dan Westbrook G. 2019. *Top 10 Global Consumer Trends 2019*. Euromonitor International Euromonitor. London
- AOAC. 2005. Official Methods of Analysis of The Association of Official Analytical Chemist. AOAC Inc., Washington.
- Arba'ani, M. S. 2018. Penerapan Metode Sorpsi Isotermis Untuk Pendugaan Umur Simpan Daging Analog Semi Basah. *Skripsi*. Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember. Jember
- Ariwulan, R.R.D.R. 2011. *Uji Reaksi Protein*. Sulawesi Selatan: Institut Pertanian Padang Padempuan
- Arpah. 2001. *Penentuan Kedaluwarsa Produk Pangan. Program Studi Ilmu Pangan*. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Asiah, N., Laras C., dan Wahyudi D. 2018. *Panduan Praktis Pendugaan Umur Simpan Produk Pangan*. Malang. UBPress.
- Astawan, M. 2009. Sehat dengan hidangan kacang dan biji-bijian. Penerbit Swadaya. Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. *Mutu karkas dan daging sapi*. BSN Jakarta.
- Bahnol dan El-Aleem. 2004. *Beef Sausage By Adding Treated Mung Been*. Annals Of Agric Moshtohor, Zagazig. University (Benha Branch) Vol: 42 (4): 1791-1807
- Bell, L. N., dan Labuza T. P. 2000. *Moisture Sorption : Pratical Aspects of Isotherm Measurement and Use*



- Budijanto, S. dan Sitanggang, A.B., 2016. Kajian Keamanan Pangan Dan Kesehatan Minyak Goreng. *Jurnal Pangan*, 19(4), pp.361-372.
- Bukabi-Deptan.2009. *Umbi-umbian*. Direktorat Budidaya Kcang-kacangan dan Umbi-umbian. Departemen Pertanian
- Chen, C. 2019. Validation of The Component Model for Prediction of Moisture Sorption Isotherms of Two Herbs and Other Products. *Foods*, 8(6),191
- Chiang, J. H., Loveday S. M., Hardacre, A. K. Parker M. E. 2019. Effects of Soy Protein to Wheat Gluten Ratio on The Physicochemical Properties of Extruded Meat Analogues. *Food Structure*, 19, 100102.
- Coronell-Tovar, D.C., Chavez-Jauregui R. N., Bosques-Vega A., Lopez-Moreno M.L. 2019. Characterization of Cocoyam (*Xanthosoma spp*) Corm Flour From the Nazareno Cultivar. *Food Science and Technology*, 39 (2), 349-357.
- Gichau, A. W., Okoth J. K., Makokha A. 2019. Moisture Sorption Isotherm and Shelf Life Prediction of Complementary Food Based on Amaranth-Sorghum Grains. *Journal of Food Science and Technology*, 1-9
- Heiss, R. Dan Echner E. 1971. Moisture Content and Shelf Life. *Food Manufacture*, June, 37-42
- Herawati, H. 2008. Penentuan Umur Simpan pada Produk Pangan. *Jurnal Litbang Pertanian*, 27(4), pp.124-130.
- Indraswati, D., 2017. Pengemasan makanan. In *Forum Ilmiah Kesehatan: Jakarta*.
- Jatmiko, G.P. dan Estiasih T. 2013. Mie Dari Umbi Kimpul (*Xanthosoma Sagittifolium*): Kajian Pustaka. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 2(2), pp.127-134
- Joshi,V.K. dan Kumar S. 2015. Meat Analogues : Plant Based Alternatives to Meat Products- A review. *International Journal of Food and Fermentation Technology*, 5(2), 107
- Kanetro, B. dan Dewi, S. H. C. 2009. *Pengembangan Protein Kecamba Kacang-kacangan Lokal Sebagai Bahan Dasar Meat Analog dan Potensinya dalam Memberikan Efek Hipokolesterolemik dan Hipoglisemik. Laporan Penelitian Hibah Besaing Dirjen Dikti, Universitas Mercu Buana, Yogyakarta*

- Karathanos, V.T., 1999. Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. *Journal of Food Engineering*, 39(4), pp.337-344.
- Krintiras, G.A., Gobel, J., Goot, A.J., Stefanidis, G.D., 2015. Production of structured soy-based meat analogues using simple shear and heat. *Journal of Food Engineering* 160
- Man, C. D., dan Jones, A. A. (Eds.). 1994. *Shelf life evaluation of foods*. Glasgow: Blackie Academic & Professional.
- Manalu, L.P., 2001. Desorption Equilibrium Moisture Content Isotherm of Corn. *Jurnal Keteknik Pertanian*, 15(1).
- Marlyana, Y.V. 2019. Karakteristik Fisik Daging Analog dengan Perlakuan metode pembuatan dan Komposisi Bahan Baku. *Skripsi*. Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember.
- Mentari, R., Anandito, R. B. K., & Basito, B. (2016). Formulasi Daging Analog Berbentuk Bakso Berbahan Kacang Merah (*Phaseolus Vulgaris*) Dan Kacang Kedelai (*Glycine max*). *Jurnal Teknosains Pangan*, 5(3)
- Mosquera, L. H., Moraga G., dan Martinez-Navarrete N. 2012. Critical Water Activity and Critical Water Content of Freeze-dried Strawberry Powder as Affected by Maltodextrin and Arabic Gum. *Food Research International*, 47(2), 201-206.
- Ndabikunze, B. K., Talwana, H. A., Issa-Zacharia, A., & Palapala, V. (2011). Proximate and mineral composition of cocoyam (*Colocasia esculenta* L. and *Xanthosoma sagittifolium* L.) grown along the Lake Victoria Basin in Tanzania and Uganda. *African Journal of Food Science*, 5(4), 248-254.
- Purnomo, H. 1995. *Aktivitas Air dan Perannya dalam Pengawetan Pangan*. Jakarta:Universitas Indonesia
- Rareunrom, K., Tongta S., & Yongsawatdigul J. (2008). Effects of soy protein isolate on chemical and physical characteristics of meat analog. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, 1(2), 99-106
- Rauf, Rusdin. 2015. *Kimia Pangan*. Yogyakarta. C.V Andi Offset
- Senanayake, S. A., Ranaweera, K. K. D. S., Bamunuarachchi, A., & Gunaratne, A. (2012). Proximate analysis and phytochemical and mineral constituents in four cultivars of yams and tuber crops in Sri Lanka. *Trop Agric Res Ext*, 15(1), 32-36.

- Sheard, P. R., Ledward D. A., & Mitchell J. R. (1984). Role of carbohydrates in soya extrusion. *International Journal of Food Science & Technology*, 19(4), 475-483.
- Singh, R.P., 1994. Scientific principles of shelf life evaluation. In *Shelf life evaluation of foods* (pp. 3-26). Springer, Boston, MA.
- Somala, W. 2002. Pengaruh Kelembaban Udara terhadap Mutu Rumput Laut Kering Tawar Jenis *Eucheuma cottonii* selama Penyimpanan. *Skripsi*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB. Bogor.
- Soy Protein Council. 1987. Characteristics, nutritional aspects and utilization. *Soy protein products*, 26.
- Sudarmadji, S. dan Bambang, H. 2003. *Prosedur Analisa Bahan Makanan dan Pertanian*. Liberty. Yogyakarta
- Suradi, K., 2005. Pengemasan Bahan Pangan Hasil Ternak Dan Penentuan Waktu Kadaluarsa. *Jurnal Fasilitas Penanganan Pengemasan*, 1(2), pp.58-60.
- Susiwi, S., 2009. *Kerusakan pangan*. Jakarta: FMIPA UPI.
- Syarief, R. dan Halid, H. 1993. *Teknologi Penyimpanan Pangan*. PAU Rekayasa Proses Pangan, IPB, Bogor.
- Winarno, F.G. dan Silowati S.Z. 2004. *Keamanan Pangan*. M-Brio Press. Bogor
- Yulianti, T. 2003. Mempelajari Pengaruh Karakteristik Isolat Protein Kedelai Terhadap Mutu Sosis (*Doctoral Dissertation*, IPB (Bogor Agricultural University)).

LAMPIRAN

Lampiran 3.1 Dokumentasi tahapan pembuatan tepung umbi kimpul *Xanthosoma sagittifolium*



Umbi Kimpul (*Xanthosoma sagittifolium*)



Pengupasan umbi kimpul



Pengecilan ukuran menjadi chip



Pencucian Umbi Kimpul



Penjemuran umbi kimpul di bawah sinar matahari



Pengeringan pada oven (60°C, 24 jam)



Penggilingan



Tepung umbi kimpul

**Lampiran 3.2** Dokumentasi tahapan pembuatan daging analog umbi kimpul dan isolat protein kedelai dan pendugaan umur simpan



Persiapan bahan baku, isolat protein kedelai dan tepung kimpul



Adonan daging analog setelah pencampuran dengan air



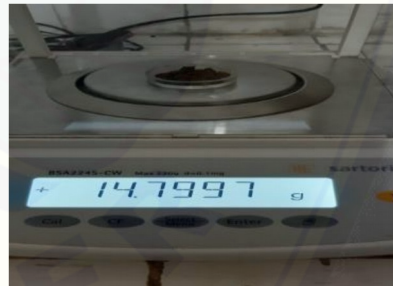
Proses Ekstrusi



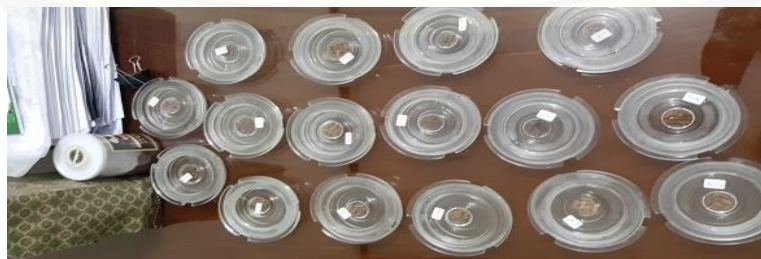
Proses Ekstrusi



Daging analog yang dihasilkan



Penimbangan sampel daging analog



Pengujian kadar air kesetimbangan

Lampiran 4.1 Hasil Perhitungan kadar air daging analog

No	Sampel	Ulangan	Kadar Air	Rata-rata
		1	5,818943	
1.	A: Umbi Kimpul 30%, IPK 70%, dan air dingin	2	5,96482	6,013624
		3	6,25711	
		1	8,550347	
2.	B : Umbi Kimpul 30%, IPK 70%, dan air panas	2	8,61591	8,503134
		3	8,343145	
		1	4,94517	
3.	C : Umbi Kimpul 30%, IPK 50%, gluten 20% dan air dingin	2	5,044693	5,064976
		3	5,205064	
		1	5,707912	
4.	D : Umbi Kimpul 30%, IPK 50%, gluten 20% dan air panas	2	5,985128	5,684995
		3	5,361944	

**Lampiran 4.2** Hasil Perhitungan Kadar Air Kritis

No	Sampel	Kadar Air Kritis
1.	A: Umbi Kimpul 30%, IPK 70%, dan air dingin	15,08109
2.	B : Umbi Kimpul 30%, IPK 70%, dan air panas	18,59012
3.	C : Umbi Kimpul 30%, IPK 50%, gluten 20% dan air dingin	15,07039
4.	D : Umbi Kimpul 30%, IPK 50%, gluten 20% dan air panas	14,20987

**Lampiran 4.3** Hasil Perhitungan Kadar Air Keseimbangan

1. Kadar air keseimbangan daging analog dengan formulasi umbi kimpul 30%, IPK 70%, dan air dingin

No	Aw Lingkungan	Ulangan			Rata-rata
		1	2	3	
1.	0,42	6,0428	6,3865	6,0460	6,1584
2.	0,63	9,2181	9,3603	9,7610	9,4465
3.	0,75	11,9873	13,5097	11,4476	12,3148
4.	0,84	17,0635	17,0034	17,5649	17,2106
5.	0,92	20,2373	19,4254	20,1413	19,9346

2. Kadar air keseimbangan daging analog dengan formulasi umbi kimpul 30%, IPK 70%, dan air panas

No	Aw Lingkungan	Ulangan			Rata-rata
		1	2	3	
1.	0,42	10,2765	10,3070	10,2215	10,2683
2.	0,63	13,0030	13,6386	13,5615	13,4011
3.	0,75	16,5465	16,4011	16,3219	16,4232
4.	0,84	19,2396	20,5542	20,4933	20,0957
5.	0,92	24,3315	24,3482	24,3052	24,3283



3. Kadar air kesetimbangan daging analog dengan formulasi umbi kimpul 30%, IPK 50%, gluten 20% dan air dingin

No	Aw Lingkungan	Ulangan			Rata-rata
		1	2	3	
1.	0,42	4,7244	5,3841	4,9000	5,0029
2.	0,63	9,4564	10,4529	9,8438	9,9177
3.	0,75	12,4499	13,1127	13,1049	12,8892
4.	0,84	17,0361	17,0544	17,2581	17,1162
5.	0,92	18,5869	17,9385	17,9960	18,1738

4. Kadar air kesetimbangan daging analog dengan formulasi umbi kimpul 30%, IPK 50%, gluten 20% dan air panas

No	Aw Lingkungan	Ulangan			Rata-rata
		1	2	3	
1.	0,42	6,0931	6,0872	5,3147	5,8317
2.	0,63	10,4065	8,8366	8,8175	9,3536
3.	0,75	11,8426	11,5223	12,2007	11,8552
4.	0,84	15,7017	16,2936	15,9412	15,9788
5.	0,92	18,8881	18,4616	18,3599	18,5699

**Lampiran 4.4** Penentuan Kadar Air Keseimbangan Berdasarkan Model Matematika

**1. Persamaan Oswin**

$$\left( \frac{M_t}{M_\infty} \right)$$

Keterangan :

= Kadar air kesetimbangan (%db)

$d$  = Konstanta dari model persamaan

= aktivitas air

(Oswin, 1946) dalam Chen (2019)

Berdasarkan persamaan oswin di dapat,

$$\left( \frac{M_t}{M_\infty} \right)$$

$$\left( \frac{M_t}{M_\infty} \right)^d$$

$$\left( \frac{M_t}{M_\infty} \right)^d$$

$$\left( \frac{M_t}{M_\infty} \right)^d$$

$$\left( \frac{M_t}{M_\infty} \right)^d$$

- Kadar air kesetimbangan daging analog dengan formulasi umbi kimpul 30%, IPK 70%, dan air dingin

<b>Aw Lingkungan</b>	<b>Kadar Air Kesetimbangan (me)</b>	<b>ln me percobaan</b>	<b>—————)</b>
0,42	6,1584	1,81782	-0,32277
0,63	9,4465	2,24564	0,53222
0,75	12,3148	2,51080	1,09861
0,84	17,2106	2,84553	1,65823
0,92	19,9346	2,99246	2,44235

Didapatkan persamaan linier ;  $y = 0,4413x + 2,0051$ ;  
dimana  $a = 0,4413$  dan  $b = 2,0051$

Contoh perhitungan kadar air kesetimbangan (me) hitung untuk  $Aw = 0,42$

$$y = 0,4413x + 2,0051$$

$$\ln m = 0,4413(\ln(0,42/(1-0,42)) + 2,0051$$

$$\ln m = 1,8627$$

$$m = 6,4396$$

<b>Aw Lingkungan</b>	<b>(grafik)</b>	<b>m hitung</b>
0,42	1,86266	6,43960
0,63	2,23997	9,39084
0,75	2,48992	12,05717
0,84	2,73688	15,43430
0,92	3,08291	21,81479

Contoh perhitungan MRD

$$MRD = \frac{\sum |mi - mpi|}{N}$$

$mi$  = Kadar air kesetimbangan hasil percobaan (%)

$mpi$  = kadar air kesetimbangan hasil perhitungan

$N$  = jumlah data

$$MRD = \frac{1}{\ln \left( \frac{a}{a-x} \right) \left( \frac{b}{b-x} \right) \left( \frac{c}{c-x} \right)} \left( \frac{a}{a-x} \right) \left( \frac{b}{b-x} \right) \left( \frac{c}{c-x} \right)$$

MRD = 5,3998

- Kadar air kesetimbangan daging analog dengan formulasi umbi kimpul 30%, IPK 70%, dan panas

Aw	Kadar Air	ln me		(grafik)	m hitung
Lingkungan	Kesetimbangan (me)				
0,42	10,2683	2,32906	-0,32277	2,33504	10,32732
0,63	13,4011	2,59533	0,53222	2,60778	13,56519
0,75	16,4232	2,79869	1,09861	2,78846	16,25122
0,84	20,0957	3,00051	1,65823	2,96697	19,42706
0,92	24,3283	3,19164	2,44235	3,21711	24,94754

$$MRD = \frac{1}{\ln \left( \frac{a}{a-x} \right) \left( \frac{b}{b-x} \right) \left( \frac{c}{c-x} \right)} \left( \frac{a}{a-x} \right) \left( \frac{b}{b-x} \right) \left( \frac{c}{c-x} \right)$$

MRD = 1,7438

- Kadar air kesetimbangan daging analog dengan formulasi umbi kimpul 30%, IPK 50%, gluten 20% dan air dingin

Aw	Kadar Air	ln me		(grafik)	m hitung
Lingkungan	Kesetimbangan (me)				
0,42	5,0029	1,61001	-0,32277	1,77725	5,91249
0,63	9,9177	2,29432	0,53222	2,18081	8,85144
0,75	12,8892	2,55639	1,09861	2,44815	11,56393
0,84	17,1162	2,84002	1,65823	2,71228	15,05940
0,92	18,1738	2,89998	2,44235	3,08239	21,80345

$$MRD = \frac{m - m_e}{m - m_i} \left( \frac{a}{b + m} \right)^n$$

$$MRD = 14,24072$$

- Kadar air kesetimbangan daging analog dengan formulasi umbi kimpul 30%, IPK 50%, gluten 20% dan air panas

Aw Lingkungan	Kadar Air Kesetimbangan (me)	ln me	( )	(grafik)	m hitung
0,42	5,831672	1,76330	-0,32277	1,83146	6,24179
0,63	9,353552	2,23576	0,53222	2,19765	9,00176
0,75	11,8552	2,47277	1,09861	2,44024	11,47284
0,84	15,97884	2,77127	1,65823	2,67992	14,57986
0,92	18,56986	2,92154	2,44235	3,01576	20,39816

$$MRD = \frac{m - m_e}{m - m_i} \left( \frac{a}{b + m} \right)^n$$

$$MRD = 6,5239$$

$$\text{Rata rata nilai MRD} = \frac{6,5239 + 14,24072}{2} = 6,97706$$

## 2. Persamaan Chung-Pfost

$$m - m_e = (m_i - m_e) \exp\left(-kT^n\right)$$

Keterangan :

m = Kadar air kesetimbangan (%db)

b = Konstanta dari model persamaan

T = temperature (°K)

RH = Kelembapan relative

(Chung and Pfost, 1967) dalam Chen (2019).

Berdasarkan persamaan Chung-Pfost didapatkan persamaan,

$$b = \frac{\sum (m_i \cdot \ln m_i) - \frac{(\sum m_i)^2}{n}}{\sum m_i - \frac{(\sum m_i)^2}{n}}$$

□ Kadar air kesetimbangan daging analog dengan formulasi umbi kimpul 30%, IPK 70%, dan air dingin

Aw Lingkungan	Kadar Air Kesetimbangan (me)	ln me percobaan	
0,42	6,1584	1,81782	1,94813
0,63	9,4465	2,24564	1,96270
0,75	12,3148	2,51080	1,96848
0,84	17,2106	2,84553	1,97209
0,92	19,9346	2,99246	1,97491

Didapatkan persamaan linier ;  $y = 43,283x + 82,581$ ;  
dimana  $a = 43,283$  dan  $b = 82,581$

Contoh perhitungan kadar air kesetimbangan (me) hitung untuk  $A_w = 0,42$

$$y = 43,283x + 82,581$$

$$\ln m = 43,283(1,9481) + 82,581$$

$$\ln m = 1,7399$$

$$m = 5,6958$$

Aw Lingkungan	(grafik)	m hitung
0,42	1,73991	5,69579
0,63	2,37070	10,70221
0,75	2,62061	13,74038
0,84	2,77696	16,06551
0,92	2,89921	18,15433

Contoh perhitungan MRD

$$MRD = \frac{1}{N} \sum |mi - mpi|$$

$mi$  = Kadar air kesetimbangan hasil percobaan (%)

$mpi$  = kadar air kesetimbangan hasil perhitungan

$N$  = jumlah data

$$MRD = \frac{1}{5} \left( \left| \frac{10,2683}{100} - \frac{1,94813}{100} \right| + \left| \frac{13,4011}{100} - \frac{1,96270}{100} \right| + \left| \frac{16,4232}{100} - \frac{1,96848}{100} \right| + \left| \frac{20,0957}{100} - \frac{1,97209}{100} \right| + \left| \frac{24,3283}{100} - \frac{1,97491}{100} \right| \right)$$

$$MRD = 9,5931$$

- Kadar air kesetimbangan daging analog dengan formulasi umbi kimpul 30%, IPK 70%, dan panas

Aw Lingkungan	Kadar Air Kesetimbangan (me)	ln me	(grafik)	m hitung	
0,42	10,2683	2,32906	1,94813	2,25924	9,57354
0,63	13,4011	2,59533	1,96270	2,70394	14,93421
0,75	16,4232	2,79869	1,96848	2,88012	17,81112
0,84	20,0957	3,00051	1,97209	2,99035	19,88644
0,92	24,3283	3,19164	1,97491	3,07653	21,67613

$$MRD = \frac{\ln \left( \frac{1 - A_w}{1 - A_{w,0}} \right) \left( \frac{1 - A_{w,0}}{1 - A_{w,0} - A_{w,1}} \right) \left( \frac{1 - A_{w,1}}{1 - A_{w,1} - A_{w,2}} \right)}{\left( \frac{1 - A_{w,0}}{1 - A_{w,0} - A_{w,1}} \right) \left( \frac{1 - A_{w,1}}{1 - A_{w,1} - A_{w,2}} \right)}$$

$$MRD = 7,7202$$

- Kadar air kesetimbangan daging analog dengan formulasi umbi kimpul 30%, IPK 50%, gluten 20% dan air dingin

<b>Aw</b>	Kadar Air		m hitung		
<b>Lingkungan</b>	Kesetimbangan	ln me	(grafik)		
<b>an</b>	(me)				
0,42	5,0029	1,61001	1,94813	1,59729	4,93881
0,63	9,9177	2,29432	1,96270	2,31395	10,11182
0,75	12,8892	2,55639	1,96848	2,59788	13,43160
0,84	17,1162	2,84002	1,97209	2,77552	16,04229
0,92	18,1738	2,89998	1,97491	2,91440	18,43225

$$MRD = \frac{\ln \left( \frac{1 - A_w}{1 - A_{w,0}} \right) \left( \frac{1 - A_{w,0}}{1 - A_{w,0} - A_{w,1}} \right) \left( \frac{1 - A_{w,1}}{1 - A_{w,1} - A_{w,2}} \right)}{\left( \frac{1 - A_{w,0}}{1 - A_{w,0} - A_{w,1}} \right) \left( \frac{1 - A_{w,1}}{1 - A_{w,1} - A_{w,2}} \right)}$$

$$MRD = 3,0285$$

- Kadar air kesetimbangan daging analog dengan formulasi umbi kimpul 30%, IPK 50%, gluten 20% dan air panas

<b>Aw</b>	Kadar Air		m hitung		
<b>Lingkungan</b>	Kesetimbangan	ln me	(grafik)		
<b>an</b>	(me)				
0,42	5,831672	1,76330	1,94813	1,70373	5,49343
0,63	9,353552	2,23576	1,96270	2,32305	10,20428
0,75	11,8552	2,47277	1,96848	2,56842	13,04171
0,84	15,97884	2,77127	1,97209	2,72193	15,20533
0,92	18,56986	2,92154	1,97491	2,84195	17,14416



$$MRD = \frac{1 - \left( \frac{a}{b} \right) \left( \frac{c}{d} \right) \left( \frac{e}{f} \right)}{\left( \frac{g}{h} \right) \left( \frac{i}{j} \right)}$$

MRD = 7,4844

Rata rata nilai MRD = \_\_\_\_\_  
=

**3. Persamaan Chen-Clayton**

$$\frac{a}{b} \left( \frac{c}{d} \right)$$

Keterangan :

= Kadar air kesetimbangan (%db)

*a,b,c,d* = Konstanta dari model persamaan

T = temperature (°K)

RH = Kelembapan relative

(Chen and Clayton, 1971) dalam Chen (2019).

Berdasarkan persamaan Chen-Clayton didapatkan persamaan,

$$\frac{a}{b} \left( \frac{c}{d} \right)$$

$$\frac{e}{f} \left( \frac{g}{h} \right) \left( \frac{i}{j} \right)$$

$$\left( \frac{k}{l} \right) \left( \frac{m}{n} \right) \left( \frac{o}{p} \right)$$

$$\left( \frac{q}{r} \right) \left( \frac{s}{t} \right) \left( \frac{u}{v} \right)$$

))

- Kadar air kesetimbangan daging analog dengan formulasi umbi kimpul 30%, IPK 70%, dan air dingin

<b>Aw Lingkungan</b>	<b>Kadar Air Kesetimbangan (me)</b>	<b>ln me percobaan</b>	<b>)</b>
0,42	6,1584	1,81782	0,27647
0,63	9,4465	2,24564	0,35168
0,75	12,3148	2,51080	0,38027
0,84	17,2106	2,84553	0,39783
0,92	19,9346	2,99246	0,41139

Didapatkan persamaan linier ;  $y = 8,5467x - 0,6245$ ;  
dimana  $a = 8,5467$  dan  $b = 0,6245$

Contoh perhitungan kadar air kesetimbangan (me) hitung untuk  $Aw = 0,42$

$$y = 8,5467x - 0,6245$$

$$\ln m = 8,5467(0,2765) - 0,6245$$

$$\ln m = 1,73837$$

$$m = 5,68706$$

<b>Aw Lingkungan</b>	<b>(grafik)</b>	<b>m hitung</b>
0,42	1,73837	5,68706
0,63	2,38120	10,81518
0,75	2,62552	13,80800
0,84	2,77559	16,04353
0,92	2,89149	18,01478

Contoh perhitungan MRD

$$MRD = \frac{1}{N} \sum |m_i - m_{pi}|$$

$m_i$  = Kadar air kesetimbangan hasil percobaan (%)

$m_{pi}$  = kadar air kesetimbangan hasil perhitungan

$N$  = jumlah data

$$MRD = \frac{1}{\left( \frac{0,42}{10,2683} \right)^{2,32906} \left( \frac{0,63}{13,4011} \right)^{2,59533} \left( \frac{0,75}{16,4232} \right)^{2,79869} \left( \frac{0,84}{20,0957} \right)^{3,00051} \left( \frac{0,92}{24,3283} \right)^{3,19164}}$$

MRD = 10,1361

- Kadar air kesetimbangan daging analog dengan formulasi umbi kimpul 30%, IPK 70%, dan panas

Aw Lingkungan	Kadar Air Kesetimbangan (me)	ln me	)	(grafik)	m hitung
0,42	10,2683	2,32906	0,27647	2,25903	9,57158
0,63	13,4011	2,59533	0,35168	2,71176	15,05157
0,75	16,4232	2,79869	0,38027	2,88384	17,87739
0,84	20,0957	3,00051	0,39783	2,98953	19,87017
0,92	24,3283	3,19164	0,41139	3,07116	21,55994

$$MRD = \frac{1}{\left( \frac{0,42}{5,0029} \right)^{1,61001} \left( \frac{0,63}{9,9177} \right)^{2,29432} \left( \frac{0,75}{12,8892} \right)^{2,55639} \left( \frac{0,84}{17,1162} \right)^{2,84002} \left( \frac{0,92}{18,1738} \right)^{2,89998}}$$

MRD = 8,09158

- Kadar air kesetimbangan daging analog dengan formulasi umbi kimpul 30%, IPK 50%, gluten 20% dan air dingin

Aw Lingkungan	Kadar Air Kesetimbangan (me)	ln me	)	(grafik)	m hitung
0,42	5,0029	1,61001	0,27647	1,59238	4,91464
0,63	9,9177	2,29432	0,35168	2,32482	10,22242
0,75	12,8892	2,55639	0,38027	2,60321	13,50335
0,84	17,1162	2,84002	0,39783	2,77420	16,02123
0,92	18,1738	2,89998	0,41139	2,90626	18,28274

$$MRD = \frac{1 - \left( \frac{a}{a + m} \right)^n}{\left( \frac{a}{a + m} \right)^n - 1}$$

$$MRD = 3,31956$$

- Kadar air kesetimbangan daging analog dengan formulasi umbi kimpul 30%, IPK 50%, gluten 20% dan air panas

Aw	Kadar Air	ln me	)	m hitung	
Lingkung	Kesetimbangan		(grafik)		
an	(me)				
0,42	5,831672	1,76330	0,27647	1,70191	5,48347
0,63	9,353552	2,23576	0,35168	2,33349	10,31135
0,75	11,8552	2,47277	0,38027	2,57353	13,10856
0,84	15,97884	2,77127	0,39783	2,72098	15,19090
0,92	18,56986	2,92154	0,41139	2,83485	17,02283

$$MRD = \frac{1 - \left( \frac{a}{a + m} \right)^n}{\left( \frac{a}{a + m} \right)^n - 1}$$

$$MRD = 8,00903$$

$$\text{Rata rata nilai MRD} = \frac{\dots}{\dots}$$

#### 4. Persamaan Henderson

))

Keterangan :

= Kadar air kesetimbangan (%db)

$a,$  = Konstanta dari model persamaan

$a_w$  = Water activity

(Henderson, 1952) dalam Chen (2019).

Berdasarkan persamaan Chung-Pfost didapatkan persamaan,

))

))

))

)))

)))

- Kadar air kesetimbangan daging analog dengan formulasi umbi kimpul 30%, IPK 70%, dan air dingin

Aw Lingkungan	Kadar Air		
	Kesetimbangan (me)	ln me percobaan	))
0,42	6,1584	1,81782	-0,60747
0,63	9,4465	2,24564	-0,00576
0,75	12,3148	2,51080	0,326634
0,84	17,2106	2,84553	0,605726
0,92	19,9346	2,99246	0,92653

Didapatkan persamaan linier ;  $y = 0,7958x + 2,2842$ ;

dimana  $a = 0,7958$  dan  $b = 2,2842$

Contoh perhitungan kadar air kesetimbangan (me) hitung untuk  $A_w = 0,42$

$$y = 0,7958x + 2,2842$$

$$\ln m = 0,7958(-0,60747) + 2,2842$$

$$\ln m = 1,800775$$

$$m = 6,0532$$

<b>Aw Lingkungan</b>	(grafik)	m hitung
0,42	1,80078	6,05321
0,63	2,27961	9,77059
0,75	2,54414	12,72886
0,84	2,76624	15,89413
0,92	3,02153	20,51629

Contoh perhitungan MRD

$$MRD = \frac{\sum |mi - mpi|}{N}$$

*mi* = Kadar air kesetimbangan hasil percobaan (%)

*mpi* = kadar air kesetimbangan hasil perhitungan

*N* = jumlah data

$$MRD = \frac{|(0,42 - 1,80078) + (0,63 - 2,27961) + (0,75 - 2,54414) + (0,84 - 2,76624) + (0,92 - 3,02153)|}{5}$$

$$MRD = 3,81376$$

- Kadar air kesetimbangan daging analog dengan formulasi umbi kimpul 30%, IPK 70%, dan panas

<b>Aw Lingkungan</b>	Kadar Air Kesetimbangan (me)	ln me	)))	(grafik)	m hitung
0,42	10,2683	2,32906	-0,60747	2,29502	9,92232
0,63	13,4011	2,59533	-0,00576	2,63782	13,97881
0,75	16,4232	2,79869	0,326634	2,82718	16,89285
0,84	20,0957	3,00051	0,605726	2,98618	19,80377
0,92	24,3283	3,19164	0,92653	3,16894	23,77454

$$MRD = \frac{\ln \left( \frac{m_{\infty} - m}{m_{\infty} - m_0} \right)}{\ln \left( \frac{m_{\infty} - m_0}{m_{\infty} - m_0} \right)}$$

$$MRD = 2,85396$$

- Kadar air kesetimbangan daging analog dengan formulasi umbi kimpul 30%, IPK 50%, gluten 20% dan air dingin

Aw Lingkungan	Kadar Air Kesetimbangan (me)	ln me	)))	(grafik)	m hitung
0,42	5,0029	1,61001	-0,60747	1,69409	5,44075
0,63	9,9177	2,29432	-0,00576	2,21818	9,18847
0,75	12,8892	2,55639	0,326634	2,50770	12,27345
0,84	17,1162	2,84002	0,605726	2,75079	15,65048
0,92	18,1738	2,89998	0,92653	3,03021	20,69502

$$MRD = \frac{\ln \left( \frac{m_{\infty} - m}{m_{\infty} - m_0} \right)}{\ln \left( \frac{m_{\infty} - m_0}{m_{\infty} - m_0} \right)}$$

$$MRD = 8,6638$$

- Kadar air kesetimbangan daging analog dengan formulasi umbi kimpul 30%, IPK 50%, gluten 20% dan air panas

Aw Lingkungan	Kadar Air Kesetimbangan (me)	ln me	)))	(grafik)	m hitung
0,42	5,831672	1,76330	-0,60747	1,76861	5,86161
0,63	9,353552	2,23576	-0,00576	2,23523	9,34646
0,75	11,8552	2,47277	0,326634	2,49300	12,09445
0,84	15,97884	2,77127	0,605726	2,70944	15,01665
0,92	18,56986	2,92154	0,92653	2,95822	19,25782

$$MRD = \frac{1}{n} \left| \frac{\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{i+1}}}{\sum_{i=1}^n \frac{C_{i+1}}{C_i}} - 1 \right|$$

$$MRD = 2,4667$$

$$\text{Rata rata nilai MRD} = \frac{2,4667}{1} = 2,4667$$

Karena rata-rata nilai MRD <5 maka persamaan Henderson dinilai dapat menggambarkan kondisi yang sebenarnya. Selanjutnya, dilakukan penentuan kadar air kesetimbangan menggunakan persamaan Henderson dengan nilai MRD terendah yang regresinya diubah menjadi persamaan eksponensial.



**Lampiran 4.5** Perhitungan Pendugaan Umur Simpan Daging Analog

Penentuan umur simpan dapat dilakukan dengan perhitungan menggunakan persamaan Heiss dan Eichenr (1971) sebagai berikut :

$$t = \frac{W_s}{P/X} \left[ \frac{M_i - M_c}{M_c - M_0} \right] \left[ \frac{A}{W_s} \right] \left[ \frac{P_0}{P} \right]$$

Keterangan:

$t$  = waktu masa simpan (hari)

$M_i$  = kadar air kesetimbangan produk (%db)

$M_c$  = kadar air awal produk (%db)

$M_0$  = kadar air kritis (%db)

$P/X$  = permeabilitas uap air kemasan (g.mm/m<sup>2</sup>mmHg/24 jam)

$A$  = luas permukaan kemasan (m<sup>2</sup>)

$W_s$  = berat bahan dalam kemasan

$P_0$  = tekanan jenuh uap air pada suhu penyimpanan (mmHg), yang diperoleh berdasarkan tabel *vapor pressure* pada suhu 30°C.

Data yang dibutuhkan dalam perhitungan umur simpan daging analog umbi kimpul

Parameter	Perbandingan IPK, Tepung kimpul, dan Gluten			
	70:30:20 Air dingin	70:30:0 Air panas	50:30:20 Air dingin	50:30:20 Air panas
Kadar Air Awal ( $M_i$ , %db)	6,0136	8,5031	5,0649	5,685
Kadar Air Kritis ( $M_c$ , %db)	15,0811	18,5901	15,0704	14,2099
Kemiringan Kurva (b)	0,7958	0,5697	0,871	0,7755
Berat Bahan ( $W_s$ , kg)	0,275	0,275	0,275	0,275
Luas Kemasan ( $A$ , m <sup>2</sup> )	0,0945	0,0945	0,0945	0,0945
Tekanan Uap Jenuh suhu 30 °C ( $P_0$ , PA)	4,24 x 10 <sup>3</sup>	4,24 x 10 <sup>3</sup>	4,24 x 10 <sup>3</sup>	4,24 x 10 <sup>3</sup>

Jenis Kemasan	Permeabilitas Kemasan (Kg/m <sup>2</sup> Pa/hari)	Permeabilitas Kemasan (Kg/ m <sup>2</sup> Pa/hari)
HDPE	0,1	7,5018 x 10 <sup>-7</sup>
PP	0,185	1,3878 x 10 <sup>-6</sup>
MDPE	0,3	2,2556 x 10 <sup>-6</sup>
LDPE	0,5	3,7594 x 10 <sup>-6</sup>

Contoh Perhitungan umur simpan daging analog dengan formulasi umbi kimpul 30%, IPK 70%, dan air dingin

- Pada RH 85% dan kemasan LDPE

$$\frac{W_0 - W_t}{W_0 - W_e} = \frac{K_p \cdot A \cdot (p_1 - p_2) \cdot t}{M \cdot L}$$

- Pada RH 85% dan kemasan MDPE

$$\frac{W_0 - W_t}{W_0 - W_e} = \frac{K_p \cdot A \cdot (p_1 - p_2) \cdot t}{M \cdot L}$$

- Pada RH 85% dan kemasan HDPE

$$\frac{W_0 - W_t}{W_0 - W_e} = \frac{K_p \cdot A \cdot (p_1 - p_2) \cdot t}{M \cdot L}$$

- Pada RH 85% dan kemasan PP

- Pada RH 95% dan kemasan LDPE

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
- - -

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

- Pada RH 85% dan kemasan MDPE

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

- Pada RH 85% dan kemasan HDPE

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

- Pada RH 85% dan kemasan PP

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_