

**PENGARUH TEMPERATUR DAN TEBAL IRISAN
TAHU CaCl_2 DAN GLUKONO-DELTA-LAKTON
DALAM PENDINGINAN TRAY TERHADAP
NILAI k_g DAN h_c TEPUNG TAHU**

CHE 183650 Penelitian

Disusun untuk memenuhi tugas akhir guna mencapai gelar
sarjana di bidang ilmu Teknik Kimia

oleh:

Bayu Krisna Hartono

(6141801019)

Pembimbing:

Prof. Dr. Ir. Ign. Suharto, A. P. U.

Susiana Prasetyo S., S.T., M. T.



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

2022

***EFFECT OF TEMPERATURE AND SLICE
THICKNESS OF CaCl_2 AND GLUCONO-DELTA-
LACTONE TOFU IN TRAY DRYING PROCESS
TOWARDS k_g AND h_c VALUE OF TOFU FLOUR***

CHE 183650 Research

*Compiled to fulfill the final project required to earn
Chemical Engineering Bachelor's Degree*

by:

Bayu Krisna Hartono

(6141801019)

Supervisor:

Prof. Dr. Ir. Ign. Suharto, A. P. U.

Susiana Prasetyo S., S.T., M. T.



CHEMICAL ENGINEERING GRADUATE STUDY PROGRAM

FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY

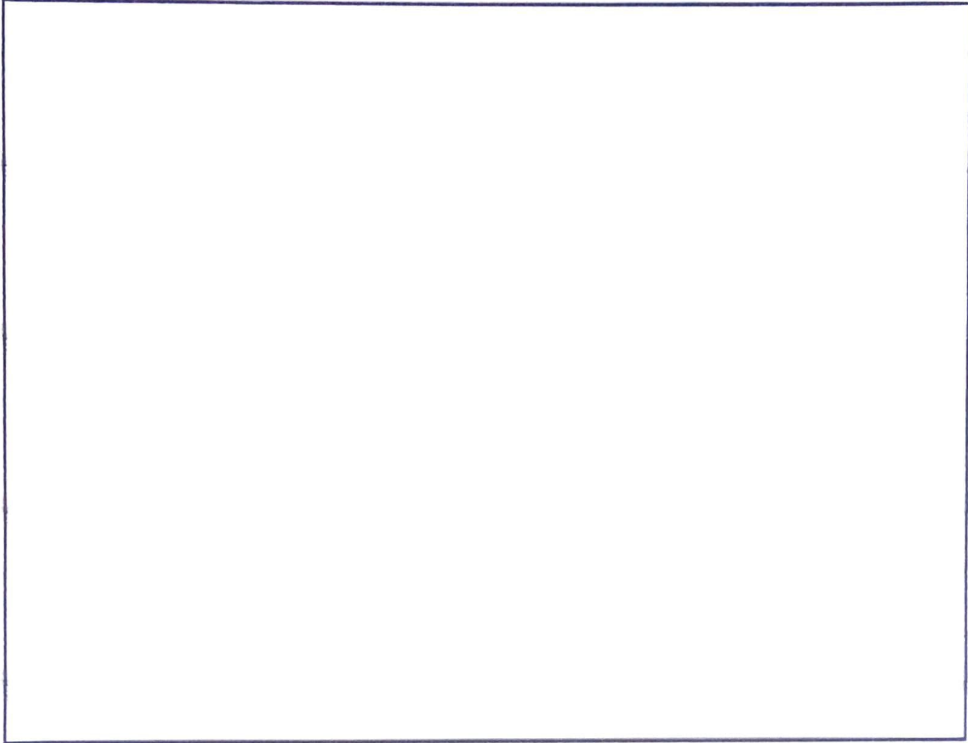
PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY

2022

LEMBAR PENGESAHAN

**JUDUL : PENGARUH TEMPERATUR DAN TEBAL IRISAN TAHU CaCl_2 DAN
GLUKONO-DELTA-LAKTON DALAM PENDINGINAN TRAY
TERHADAP NILAI k_g DAN h_c TEPUNG TAHU**

CATATAN :



Telah diperiksa dan disetujui,
Bandung, 24 Januari 2022

Pembimbing 1



Prof. Dr. Ir. Ign. Suharto, A. P. U.

Pembimbing 2



Susiana Prasetyo S., S.T., M. T.



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Bayu Krisna Hartono

NPM : 6141801019

dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul:

**Pengaruh Temperatur dan Tebal Irisan Tahu CaCl_2 dan Glukono-Delta-Lakton
dalam Pengeringan *Tray* terhadap Nilai k_g dan h_c Tepung Tahu**

adalah hasil pekerjaan saya dan seluruh ide, pendapat atau materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan, maka saya bersedia menanggung sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Bandung, 11 Februari 2022



Bayu Krisna Hartono
(6141801019)

LEMBAR REVISI

**JUDUL : PENGARUH TEMPERATUR DAN TEBAL IRISAN TAHU CaCl_2 DAN
GLUKONO-DELTA-LAKTON DALAM PENDINGINAN
TRAY TERHADAP NILAI k_g DAN h_c TEPUNG TAHU**

CATATAN :

Telah diperiksa dan disetujui,
Bandung, 14 Februari 2022

Penguji 1



Dr. Henky Muljana, S.T., M.Eng.

Penguji 2



Dra. H. Maria Ingrid, M.Sc.

INTISARI

Tahu merupakan produk olahan kedelai yang sangat diminati karena nutrisinya yang tinggi; terutama kandungan proteinnya mencapai 56-60% basis kering. Konsumsi tahu perorangan, rata-rata tiap minggunya mencapai 0,152 kg. Harga tahu juga relatif terjangkau. Namun; kandungan air dan aktivitas air (a_w) yang tinggi di dalam tahu menyebabkan umur simpannya relatif singkat, akibat aktivitas mikrobial yang terjadi. Pengolahan tahu menjadi tepung melalui pengeringan merupakan salah satu upaya untuk menekan aktivitas mikrobial ini sehingga dapat memperpanjang umur simpan tahu. Kajian difusi massa dan panas dalam pengeringan tahu menjadi tepung penting dilakukan untuk optimasi proses agar pengeringan berlangsung dengan efisien dan ekonomis serta kebutuhan energi dapat diminimalisir.

Penelitian mencakup dua tahapan proses utama, yaitu pembuatan tahu dan pengeringan tahu menjadi tepung. Kedelai yang digunakan adalah kedelai hitam varietas cikuray atau kedelai kuning varietas stine 2220 menggunakan 2 jenis koagulan, yaitu CaCl_2 dan Glukono-Delta-Lakton (GDL). Kedelai awalnya dicuci dan kemudian direndam selama 8 jam pada temperatur ruang, kemudian dilakukan pemisahan kulit ari kedelai. Pemasakan dilakukan pada temperatur 95°C selama 10 menit hingga diperoleh sari kedelai. Koagulasi dilakukan pada temperatur 80°C selama 10 menit menggunakan konsentrasi koagulan sebesar 0,3% w/w *soymilk*. *Curd* tahu yang diperoleh kemudian dicetak menggunakan cetakan berukuran 7cm x 7cm dan ditekan dengan menggunakan beban 1 kg selama 30 menit dan kemudian diperoleh tahu. Pengeringan dilakukan menggunakan *tray dryer* dengan memvariasikan kondisi pengeringan menggunakan rancangan percobaan faktorial 2 faktor. Temperatur udara pengering divariasikan sebanyak 4 level (50°C , 60°C , 70°C , 80°C) dan tebal irisan tahu sebanyak 2 level (2 mm, 4 mm) dengan 2 kali replikasi. Respon yang diamati berupa koefisien difusi massa (k_g) dan koefisien difusi panas (h_c) serta kadar protein (*kjeldhal*), kadar air (*moisture analyzer*), kadar kalsium (*atomic absorption spectrophotometric*), kadar lemak (*soxhlet*), dan kadar abu (pemijaran).

Hasil penelitian menunjukkan kedelai kuning memiliki kadar protein 1,15% lebih tinggi dari kedelai hitam dan koagulan CaCl_2 menghasilkan tahu dengan kadar kalsium 0,0596% lebih tinggi dari tepung tahu GDL, sehingga kedelai kuning dan koagulan CaCl_2 kemudian digunakan sebagai bahan baku. Peningkatan temperatur udara meningkatkan nilai k_g dan h_c , sedangkan peningkatan tebal irisan tahu meningkatkan nilai k_g namun tidak berpengaruh terhadap nilai h_c . Kondisi pengeringan terbaik didapatkan pada kondisi operasi temperatur 70°C dan tebal irisan 4 mm, dengan nilai k_g $1,2273 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{jam}}$ dan nilai h_c $1588,65 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \text{jam K}}$. Tepung tahu yang diperoleh memiliki kadar protein 45,08%, kadar kalsium 0,0712%, kadar air 3,16%, kadar lemak 33,50% dan kadar abu 2,65%

Kata kunci: tahu, koagulasi, pengeringan, koefisien difusi massa, koefisien difusi panas

ABSTRACT

Tofu is a popular soy-based food product due to its nutritional value, particularly its high average protein content which ranges from 56% to 60% on a dry basis. In addition, the consumption rate of tofu by general public in Indonesia is relatively high, reaching up to 0,152 kg of tofu consumed weekly by the average person. Even so, one of the most commonly faced problems for tofu is its short shelf life. It was found that short shelf life is mainly attributed to its high moisture content and water activity (a_w) which encourages microbial activity. Processing tofu into tofu flour through dehydration is one viable method to increase its shelf life by reducing moisture and water activity (a_w) within the tofu, leading to suppressed microbial activity. Optimisation of the dehydration process would be a crucial aspect in order to obtain an efficient, and low-energy process. Optimisation could be done by observing the mass diffusion coefficient and heat diffusion coefficient which emphasises the importance of analysing these two parameters for the tofu dehydration process.

The scope of this research covers the tofu production process and the dehydration process which ultimately yields tofu flour. Tofu production is done using soybeans with highest protein content between cikuray variety black soybeans and stine 2220 variety yellow soybeans. The coagulants used in the experiment are CaCl_2 and Glucono-Delta-Lactone (GDL). The soybeans were washed and soaked at ambient temperature for 8 hours, then boiled at a temperature of 95°C for 10 minutes. Meanwhile, the coagulation process was done using a coagulation concentration of 0,3% w/w soymilk at a temperature of 80°C for 10 minutes. Tofu curd then were mold using cloth-lined mold (7 cm x 7 cm) and pressed with 1 kg weights for 30 minutes. A tray dryer is used for the dehydration process along with 2 variables that were set for the experiment. The first variable is the dry air temperature with 4 levels of configurations (50°C , 60°C , 70°C , 80°C) followed by the second variable, which is the thickness of the tofu used in the dehydration process with 2 levels of configuration (2 mm, 4 mm). To further validate the result, the experiment was conducted twice. In total, there were 7 responses recorded for the research which include mass diffusion coefficient (k_g), heat diffusion coefficient (h_c), protein content (Kjeldahl), moisture content (moisture analyser), calcium content (atomic absorption spectrophotometric), fat content (Soxhlet), and ash content (incineration).

Results of the experiments indicate that yellow soybeans contain 1,15% higher protein content than black soybeans and CaCl_2 coagulant produces tofu flour with a 0,0596% higher calcium content than tofu flour with GDL as coagulant. Hence, imported yellow soybeans with CaCl_2 as the coagulant are used as the main ingredients for the following experimentation. It was also found that higher air temperature result in higher value of k_g and h_c . Meanwhile, that higher tofu thickness result in higher value of k_g , yet had no effect in h_c . Based on the obtained value of mass diffusion coefficient, heat diffusion coefficient, and dehydration rate curve, it was concluded that the best condition for dehydration occurs at a temperature of 70°C with a thickness of 4 mm, resulting in mass diffusion coefficient of $1,2273 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{hr}}$ and heat diffusion coefficient of $1588,65 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2\text{hr K}}$. The obtained tofu flour has protein content of 45,08%, calcium content of 0,0712%, moisture content of 3,16%, fat content of 33,50%, and ash content of 2,65%.

Keywords: *tofu, coagulation, dehydration, mass diffusion coefficient, heat diffusion coefficient*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa oleh karena rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian berjudul “Pengaruh Temperatur dan Tebal Irisan Tahu CaCl_2 dan Glukono-Delta-Lakton dalam Pengeringan *Tray* Terhadap Nilai k_g dan h_c Tepung Tahu” dengan baik dan sesuai dengan waktu yang telah ditentukan. Dalam penyusunan laporan; penulis tentunya tidak akan dapat menyelesaikannya dengan baik tanpa adanya dukungan, bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak yang turut berperan dalam penyusunan laporan penelitian ini, khususnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Ign. Suharto, A. P. U. dan Ibu Susiana Prasetyo S., S.T., M. T. selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan, pengarahan, ilmu pengetahuan, informasi, saran dan waktu selama proses penyusunan laporan penelitian ini.
2. Orang tua dan keluarga penulis atas doa, dukungan serta motivasi selama proses penyusunan laporan penelitian ini.
3. Teman-teman penulis dan rekan-rekan mahasiswa Program Studi Teknik Kimia Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan dukungan, saran, dan masukan untuk penulis selama proses penyusunan laporan penelitian ini.
4. Semua pihak yang baik secara langsung maupun tidak langsung turut memberikan saran, kritik, masukan dan dukungan selama proses penyusunan laporan penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam laporan penelitian ini. Oleh karena itu, penulis ingin meminta maaf kepada pembaca apabila terdapat kata-kata yang kurang berkenan. Selain itu, penulis juga mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun agar dapat menjadi bekal bagi penulis untuk memperbaiki kesalahan dan menjadi lebih baik lagi. Akhir kata, penulis mengucapkan terimakasih atas perhatian pembaca dan penulis juga berharap agar laporan penelitian ini kemudian dapat berguna dan bermanfaat bagi pembaca dan berbagai pihak lainnya.

Bandung, 11 Februari 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
INTISARI	xii
ABSTRACT	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tema Sentral Masalah	3
1.3 Identifikasi Masalah.....	3
1.4 Premis	3
1.5 Hipotesis	4
1.6 Tujuan Penelitian.....	4
1.7 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1 Tahu	10
2.2 Kedelai dan Komposisi Kimia Kedelai	11
2.3 Protein Kedelai	18
2.4 Koagulasi Protein Kedelai	21
2.4.1 Koagulan Protein Kedelai	23
2.4.1.1 Glukono-Delta-Lakton (GDL).....	25
2.4.1.2 CaCl ₂	26
2.5 Proses Pembuatan Tahu	27
2.5.1 Pecncucian dan Perendaman Kedelai	28
2.5.2 Penggilingan Kedelai dengan Air	29
2.5.3 Pemasakan <i>Soy Slurry</i>	30
2.5.4 Ekstraksi <i>Soy milk</i> dan Pemisahan <i>Okara</i>	32

2.5.5 Koagulasi <i>Soymilk</i>	32
2.5.6 Pemisahan <i>Whey</i> dan Pencetakan Tahu	33
2.6 Pengeringan	33
2.6.1 Kadar Air dan Aktivitas Air (a_w)	34
2.6.2 Mekanisme Pengeringan	37
2.6.3 Prinsip dan Laju Pengeringan	38
2.6.4 Faktor yang Mempengaruhi Laju Pengeringan.....	43
2.6.5 <i>Tray dryer</i>	44
BAB 3 METODE PENELITIAN	46
3.1 Metoda Penelitian	46
3.2 Alat dan Bahan.....	48
3.3 Prosedur Penelitian	50
3.3.1 Pembuatan Tahu.....	51
3.3.2 Penentuan Tepung Tahu dengan Kadar Kalsium dan Protein Tertinggi	53
3.3.3 Kajian Difusi Massa dan Difusi Panas.....	53
3.4 Penentuan Nilai Koefisien Difusi Massa dan Difusi Panas Pengeringan....	54
3.5 Rancangan Percobaan	57
3.6 Analisis	58
3.7 Lokasi dan Rencana Penelitian	59
BAB 4 PEMBAHASAN	60
4.1 Penentuan Varietas Kedelai dan Jenis Koagulan.....	60
4.2 Pengaruh Variasi Temperatur dan Tebal Irisan Terhadap Koefisien Difusi Massa	62
4.3 Pengaruh Variasi Temperatur dan Tebal Irisan Terhadap Koefisien Difusi Panas	65
4.4 Pengaruh Variasi Temperatur dan Tebal Irisan Terhadap Kadar Protein.....	67
4.5 Penentuan Kondisi Pengeringan Terbaik.....	69
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA.....	72
LAMPIRAN A METODE ANALISA	77
LAMPIRAN B <i>MATERIAL SAFETY DATA SHEET</i>	88

LAMPIRAN C DATA PENELITIAN DAN HASIL ANTARA	108
LAMPIRAN D GRAFIK.....	132
LAMPIRAN E CONTOH PERHITUNGAN.....	140

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Nilai impor kedelai Indonesia tahun 2010-2019.....	1
Gambar 1.2	Konsumsi rata-rata tahu perorangan tiap minggu di Indonesia	2
Gambar 2.1	Struktur bagian kedelai	11
Gambar 2.2	Struktur molekul rantai polipeptida	17
Gambar 2.3	Struktur molekul asam amino	17
Gambar 2.4	Struktur protein glisinin (11S)	19
Gambar 2.5	Struktur protein β -konglisinin.....	20
Gambar 2.6	Proses denaturasi atau <i>unfolding</i> protein	21
Gambar 2.7	Mekanisme pembentukan gel tahu.....	22
Gambar 2.8	Skema hidrolisis GDL menjadi asam glukonat.....	25
Gambar 2.9	Proses protonasi gugus karboksil protein oleh ion H^+ asam glukonat....	26
Gambar 2.10	Struktur molekul ikatan gugus karboksil protein dengan ion logam	27
Gambar 2.11	Diagram proses pembuatan tahu	28
Gambar 2.12	Profil pengaruh temperatur air rendaman terhadap lama perendaman kedelai dan rasio hidrasi kedelai.....	29
Gambar 2.13	Kurva stabilitas bahan pangan terhadap nilai aktivitas air.....	34
Gambar 2.14	Kurva <i>moisture sorption isotherm</i> bahan pangan	35
Gambar 2.15	Kurva pengeringan.....	36
Gambar 2.16	Kurva karakteristik pengeringan.....	37
Gambar 2.17	Proses difusi massa dan difusi panas pada proses pengeringan.....	39
Gambar 2.18	Alat pengering <i>tray dryer</i>	44
Gambar 3.1	Diagram alir singkat metoda penelitian	46
Gambar 3.2	Sketsa alat pemasakan dan koagulasi <i>soymilk (water-bath)</i>	49
Gambar 3.3	Sketsa alat pengering <i>tray dryer</i>	49
Gambar 3.4	Diagram alir pembuatan tepung kedelai	51
Gambar 3.5	Diagram alir pembuatan tahu	52
Gambar 3.6	Diagram alir pengeringan tahu.....	54
Gambar 4.1	Tepung kedelai, tepung tahu $CaCl_2$ dan tepung tahu GDL hasil pengeringan.....	61
Gambar 4.2	Penentuan nilai X_c dan N_c dari kurva karakteristik pengeringan.....	62
Gambar 4.3	Kadar air kritis (X_c) dan fluks difusi massa (N_c) setiap variasi	

pengeringan.....	63
Gambar 4.4 Nilai koefisien difusi massa (kg) setiap variasi run pengeringan	64
Gambar 4.5 Nilai fluks panas konveksi (qc) setiap variasi run pengeringan.....	66
Gambar 4.6 Nilai koefisien difusi panas (hc) setiap variasi run pengeringan	66
Gambar 4.7 Nilai kadar protein (%) setiap variasi run pengeringan	68
Gambar 4.8 Kurva karakteristik pengeringan setiap variasi temperatur.....	69
Gambar 4.9 Kurva karakteristik pengeringan setiap variasi tebal irisan pada 70°C ..	70

DAFTAR TABEL

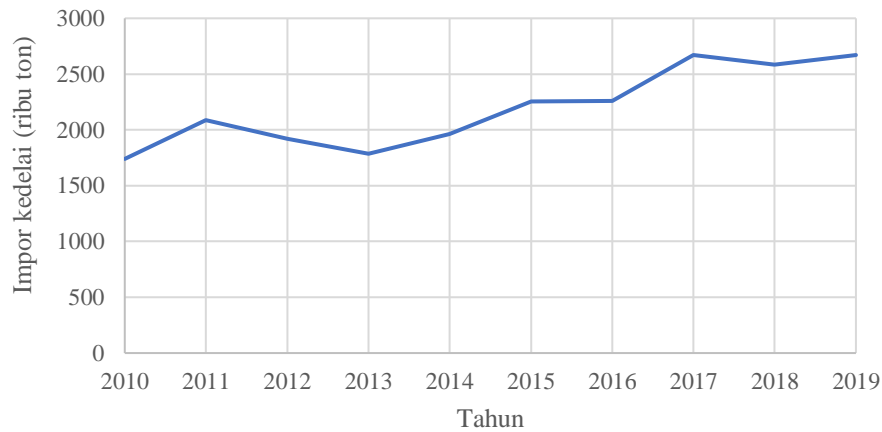
Tabel 1.1	Premis penelitian terkait proses pembuatan tahu.....	5
Tabel 1.2	Premis penelitian terkait proses pengeringan	8
Tabel 2.1	Komposisi kimia bagian-bagian kedelai dalam basis kering.....	12
Tabel 2.2	Kandungan karbohidrat dalam kedelai	13
Tabel 2.3	Kandungan asam lemak dan vitamin dalam kedelai.....	14
Tabel 2.4	Komponen fitokimia dan komponen lain-lain dalam kedelai.....	15
Tabel 2.5	Kandungan protein dan asam amino dalam kedelai	16
Tabel 2.6	Tipe koagulan beserta contohnya	24
Tabel 2.7	Perbandingan rasio air:kedelai terhadap nilai nutrisi <i>soymilk</i>	31
Tabel 3.1	Bahan untuk keperluan analisis	48
Tabel 3.2	Spesifikasi laju alir udara kering alat <i>tray dryer</i>	56
Tabel 3.3	Rancangan percobaan penelitian	57
Tabel 3.4	Analisis varian percobaan dengan 2 variabel	58
Tabel 3.5	Rencana pelaksanaan kerja penelitian	59
Tabel 4.1	Hasil analisa kedelai serta tepung tahu CaCl_2 dan GDL	60
Tabel 4.2	Analisa proksimat tepung kedelai, tepung tahu CaCl_2 dan tepung tahu GDL	61
Tabel 4.3	Analisa varian (ANOVA) temperatur dan tebal irisan terhadap nilai kg	64
Tabel 4.4	Analisa varian (ANOVA) temperatur dan tebal irisan terhadap nilai hc.....	67
Tabel 4.5	Analisa varian (ANOVA) temperatur dan tebal irisan terhadap kadar Protein.....	68

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kedelai memiliki nutrisi yang tinggi; kandungan proteinnya mencapai 40% berat basis kering. Hal ini menjadikan kedelai sebagai salah satu bahan baku pangan yang sangat diminati (Liu dkk, 2004). Berdasarkan data Badan Pusat Statistika (2020), selama tahun 2010-2019; impor kedelai yang dilakukan Indonesia cenderung meningkat, tersaji pada **Gambar 1.1** berikut:



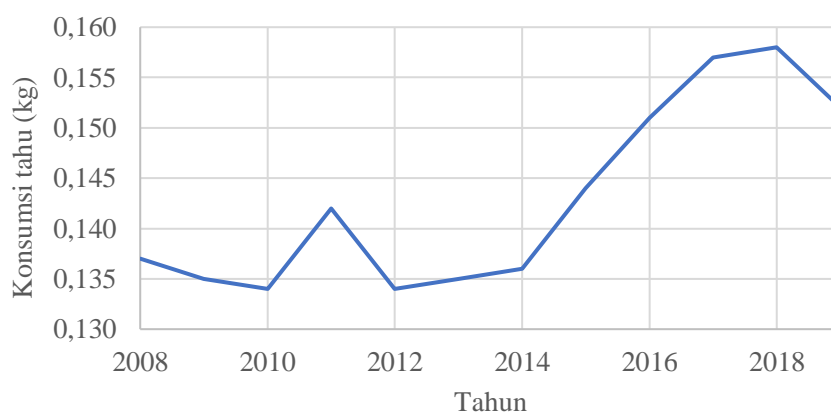
Gambar 1.1 Impor kedelai Indonesia tahun 2010-2019 (Badan Pusat Statistik, 2020)

Pada tahun 2019, tercatat impor kedelai Indonesia sebesar 2,67 juta ton. Impor kedelai yang tinggi ini menunjukkan tingginya nilai kebutuhan, konsumsi dan minat masyarakat Indonesia terhadap produk pangan berbahan baku kedelai; melebihi kapasitas produksi kedelai lokal di Indonesia.

Optimasi dalam inovasi produk pangan olahan berbahan baku kedelai ini perlu dilakukan mengingat tingginya nilai konsumsi kedelai di Indonesia setiap tahunnya. Hingga tahun 2018, masih terdapat 15,2% Balita (0-23 bulan) dan 17,7% Balita (0-59 bulan) yang kekurangan gizi (Badan Pusat Statistik, 2019). Produk olahan kedelai menjadi salah satu alternatif untuk pemenuhan kebutuhan nutrisi harian masyarakat mengingat tingginya kandungan nutrisinya menjadi solusi pemenuhan kebutuhan nutrisi harian bagi masyarakat Indonesia, terutama untuk anak di bawah umur lima tahun (Suharto, 2015).

Salah satu produk pangan olahan berbahan baku kedelai yang diminati oleh masyarakat Indonesia adalah tahu. Selain nilai nutrisinya yang tinggi; tahu diminati karena memiliki tekstur yang lembut dan halus, rasa yang enak, dan harga yang terjangkau (Suharto, 2015). Pengolahan kedelai menjadi tahu dilakukan untuk meningkatkan *digestibility* protein kedelai; menonaktifkan senyawa-senyawa anti-nutrisi dalam kedelai; serta memberikan tekstur, rasa, dan palabilitas yang lebih baik (Johnson dkk., 2010). Tahu pada umumnya dapat dibedakan menjadi 3 jenis berdasarkan kadar air dan properti teksturalnya, yaitu *firm tofu*, *silken tofu*, dan *extra firm tofu*. Tahu yang dikenal secara umum termasuk dalam jenis *firm tofu*, sedangkan yang umum dikenal sebagai *tofu*, termasuk dalam jenis *silken tofu* atau tahu sutera.

Konsumsi tahu di Indonesia cenderung mengalami kenaikan dari tahun 2008-2019; dapat dilihat pada **Gambar 1.2**. Pada tahun 2019, nilai konsumsi rata-rata tahu perorangan tiap minggunya sebesar 0,152 kg (Badan Pusat Statistik, 2020).



Gambar 1.2 Konsumsi rata-rata tahu perorangan tiap minggu di Indonesia
(Badan Pusat Statistik, 2020)

Permasalahan umur simpan bahan pangan telah menjadi salah satu masalah yang seringkali dihadapi, baik oleh industri pangan maupun masyarakat umum. Umur simpan tahu pada temperatur ruang (27°C) pada umumnya hanya 1 hari (Manoe, dkk., 2019). Nilai aktivitas air (a_w) dan kadungan air dalam bahan pangan merupakan salah satu faktor utama yang paling mempengaruhi umur simpan bahan pangan. Semakin tinggi nilai aktivitas air (a_w) dan kadar air dalam bahan pangan akan mempersingkat umur simpan bahan pangan akibat meningkatnya aktivitas mikrobia (Fellow, 2000). Pengeringan menjadi salah satu

alternatif solusi pengawetan dengan cara menurunkan nilai aktivitas air (a_w) dan kadar air dalam bahan pangan tersebut dan tepung tahu merupakan salah satu inovasi pengawetan tahu menggunakan metode pengeringan dan potensial untuk dikembangkan. Tepung tahu dapat menjadi solusi dalam pemenuhan kebutuhan nutrisi harian bagi masyarakat Indonesia; selain memiliki kandungan nutrisi yang tinggi, tepung tahu memiliki lama umur simpan yang cenderung panjang.

1.2 Tema Sentral Masalah

Lama umur simpan tahu yang cukup singkat merupakan salah satu masalah utama dalam industri tahu. Di sisi lain, pengembangan dan eksplorasi produk pangan dari tahu dinilai belum banyak dilakukan. Eksplorasi solusi untuk meningkatkan umur simpan tahu dengan cara mengolah tahu menjadi tepung tahu melalui proses pengeringan menjadi fokus penelitian ini. Kajian difusi massa dan difusi panas dalam proses pengeringan tahu penting dilakukan untuk efisiensi proses dan menjaga kualitas produk, di mana hasilnya dapat digunakan untuk *scale-up* alat pengering *tray* yang masih belum banyak dilakukan oleh industri skala kecil dan menengah di Indonesia.

1.3 Identifikasi Masalah

Beberapa masalah yang dapat diidentifikasi dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh temperatur udara kering terhadap nilai koefisien difusi massa air (k_g) dan koefisien difusi panas (h_c) dalam pengeringan tahu dengan alat pengering *tray* pada tahap laju pengeringan konstan?
2. Bagaimana pengaruh tebal irisan tahu terhadap nilai koefisien difusi massa air (k_g) dan koefisien difusi panas (h_c) dalam pengeringan tahu dengan alat pengering *tray* pada tahap laju pengeringan konstan?
3. Apakah terjadi interaksi antara temperatur udara kering dan tebal irisan tahu terhadap nilai koefisien difusi massa air (k_g) dan koefisien difusi panas (h_c) dalam pengeringan tahu dengan alat pengering *tray* pada tahap laju pengeringan konstan?

1.4 Premis

Beberapa premis yang dapat disusun berdasarkan studi pustaka yang telah dilakukan, terkait proses pembuatan tahu dan pengeringan dengan *tray dryer* tersaji pada **Tabel 1.1** dan **Tabel 1.2**.

1.5 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka yang telah dilakukan, dirumuskan beberapa hipotesis sebagai berikut:

1. Semakin tinggi temperatur udara kering meningkatkan gradien temperatur antara udara kering dan bahan pangan sehingga laju pengeringan, nilai koefisien difusi massa dan koefisien difusi panas pengeringan meningkat (Fellow,2000).
2. Semakin tebal irisan tahu meningkatkan resistansi difusi massa dan difusi panas sehingga koefisien difusi massa dan koefisien difusi panas pengeringan menurun (Fellow,2000).

1.6 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk:

1. Mempelajari pengaruh temperatur udara kering terhadap nilai koefisien difusi massa air (k_g) dan koefisien difusi panas (h_c) dalam pengeringan tahu dengan alat pengering *tray* pada tahap laju pengeringan konstan
2. Mempelajari pengaruh tebal irisan tahu terhadap nilai koefisien difusi massa air (k_g) dan koefisien difusi panas (h_c) dalam pengeringan tahu dengan alat pengering *tray* pada tahap laju pengeringan konstan
3. Mempelajari pengaruh interaksi antara temperatur udara kering dan tebal irisan tahu terhadap nilai koefisien difusi massa air (k_g) dan koefisien difusi panas (h_c) dalam pengeringan tahu dengan alat pengering *tray* pada tahap laju pengeringan konstan

1.7 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak, antara lain:

1. Bagi industri, penelitian ini diharapkan dapat diterapkan dan dikembangkan lebih lanjut sebagai salah satu inovasi dalam industri pangan.
2. Bagi masyarakat, tepung tahu ini diharapkan dapat menjadi salah satu produk pangan untuk pemenuhan kebutuhan nutrisi harian dengan umur simpan yang panjang dan harga yang relatif terjangkau. Tepung tahu ini juga diharapkan dapat memberikan peluang dan juga ide bagi masyarakat untuk memulai usaha mandiri.
3. Bagi mahasiswa, untuk menambah wawasan mengenai proses pembuatan tahu dengan koagulan CaCl_2 dan GDL dan proses pengeringan tahu menjadi tepung tahu menggunakan pengering *tray dryer*.

Tabel 1.1 Premis penelitian pembuatan tahu

Peneliti	Bahan Baku	Perendaman		Kondisi Pemasakan	Koagulasi			Penekanan	Hasil
		Temperatur dan waktu	Rasio air:kedelai		Jenis Koagulan	Konsentrasi Koagulan	Temperatur dan waktu		
Prabhakaran dkk., 2006	Kedelai Harovinton	T _{ruang} , 5 jam	Grinding (4:1)	100°C, 15 min (500g soymilk) pengadukan konstan	CaCl ₂	0,4% w/w soymilk	80°C, 20 min	Lined mold (9x9x8 cm) Penekanan: 28,0 g/cm ² , 60 min	Yield tertinggi sebesar 42,036% w/w soymilk menggunakan koagulan CaCl ₂ 0,5% w/w soymilk
						0,5% w/w soymilk			
Leiva dkk., 2011	Soymilk	-	-	70°C, 20 min (pasteurisasi)	CaCl ₂	0,3% w/w soymilk	Thermo-regulated oven (37°C, 30 min)	Damp cloth mold 20°C, 120 min	Kandungan nutrisi tertinggi: koagulan 0,5% • Total padatan: 21,79% • Kadar minyak: 7,00%
						0,5% w/w soymilk			
Lu dkk., 1980	Kedelai Tracy	T _{ruang} , 8 jam	Grinding (2,5:1)	95-100°C, 20 min	CaCl ₂	0,1% w/w soymilk	70°C	Kotak plastik (3x4x6 in) Penekanan: 200 g, 120-180 min	Koagulan CaCl ₂ : • Yield : 24,9% w/v soymilk • Protein:7,5 g/100g basis basah Koagulan GDL: • Yield : 21% w/v soymilk • Protein : 7,8 g/100g basis basah
					GDL	0,2% w/w soymilk			
Ciabotti, 2004	Kedelai BRS 213	T _{ruang} , 12 jam	Total (10:1)	98°C, 5 min	GDL	2% w/w dry soybeans	10 min		Yield : 287,44% w/w dry soybeans

Tabel 1.1 Premis penelitian pembuatan tahu (*lanjutan*)

Peneliti	Bahan Baku	Perendaman		Kondisi Pemasakan	Koagulasi			Penekanan	Hasil
		Temperatur dan waktu	Rasio air:kedelai		Jenis Koagulan	Konsentrasi Koagulan	Temperatur dan waktu		
Cao dkk., 2017	Kedelai Zhonghuang 13	4°C, 18 jam (3:1)	Grinding (7:1)	T _{didih} , 5 min (100 mL soymilk), pengadukan konstan	GDL	0,3% w/w soymilk	Water-bath (80°C, 30 min)	Lined mold (7x7x7 cm) Penekanan: 8 g/cm ² , 30 min	Karakteristik tahu dengan koagulan GDL: <ul style="list-style-type: none"> • Hardness : 189 g • Springiness : 0,94 • Gumminess : 96,76 g • pH : 5,42 • Cohesiveness : 0,51
Chang dkk., 2009	Kedelai Hitam (100 g)	T = 4°C, 18 jam (5:1)	Total (8:1)	Defoaming agent (2 drops) T _{didih} , (10 min)	GDL	0,01 N	60-80°C, 10 min		Konsentrasi GDL semakin tinggi, laju koagulasi meningkat dan pH tahu semakin rendah.
						0,02 N			
						0,03 N			
						0,04 N			
						0,05 N			
Cai dkk., 1997	13 Varietas Kedelai: <ul style="list-style-type: none"> • Proto, T5, Corsoy-79, Vinton, Kato, Hardin, Sturdy, SBB100ND, SBB100SD, Stine 2220, Stine 0380, Stine 1570 (139 g) 	20-22°C, 9 jam (6:1)	Total (8:1)	Defoaming agent (0,2% w/w dry soybeans) 94-96°C, 5 min manual stirring	CaSO ₄ . 2H ₂ O	2% w/w dry soybeans	87°C, stirring 150 rpm 14 s, didiamkan 8 min	Lined mold (12,5x12,5x12,5 cm) Penekanan: <ul style="list-style-type: none"> - 21,8g/cm², 10 min - 43,6g/cm², 10 min - 65,4 g/cm², 10 min 	<ul style="list-style-type: none"> • Kedelai varietas <i>proto</i> menghasilkan hasil tahu paling optimum diantara 13 varietas lain • Yield paling tinggi: 551,5% w/w dry soybeans • Solid recovery paling tinggi: 79,4% • Kadar protein dalam tahu yang paling tinggi: 57,8% basis kering

Tabel 1.1 Premis penelitian pembuatan tahu (*lanjutan*)

Peneliti	Bahan Baku	Perendaman		Kondisi Pemasakan	Koagulasi			Penekanan	Hasil
		Temperatur dan waktu	Rasio air:kedelai		Jenis Koagulan	Konsentrasi Koagulan	Temperatur dan waktu		
Hou dkk., 1997	Kedelai Proto (900 g)	20-22°C, 8 jam	Grinding (5:1)	95°C, 20 min pengadukan konstan + 5 min tanpa pengadukan (<i>impeller: paddle</i>)	CaSO ₄ .2H ₂ O	0,3% w <i>soymilk</i> – Ca ²⁺ 14,73g/100g <i>dry basis</i>	75-80°C, 10 min <i>Stirring</i> – 137 rpm – 207 rpm – 285 rpm 5;10;15;20;25;30 s)	<i>Lined mold</i> Penekanan (21,8g/cm ² , 10 min; 43,6g/cm ² , 10 min; 65,4 g/cm ² , 30 min)	<ul style="list-style-type: none"> Kodisi optimum: koagulan <i>modified nigari</i> dengan <i>stirring rate</i> 207 rpm selama 20s dengan <i>yield</i> sebesar 541% w/w <i>dry soybeans</i>
					<i>Modified Nigari</i>	– Mg ²⁺ 0,22g/100g <i>drybasis</i>			
Cai dan Chang, 1997	Kedelai Proto	T = 21-22°C, 8 jam (6:1)	Total (9:1)	<i>Defoaming agent</i> (1 g) 96°C (20 min <i>stirring</i> + 3 min <i>non-stirring</i>)	<i>Nigari alami</i>	(3% w/w <i>dry soybean</i>)	90°C, 10 min <i>stirred</i> ; +5,10,15 min	<i>Cloth-lined mold</i> (25x25x7 cm) Penekanan (11,6g/cm ² , 10 min; 23,2 g/cm ² , 10 min, 34,8 g/cm ² , 30 min)	<ul style="list-style-type: none"> %protein paling tinggi pada variasi 11:1 + 5 min koagulasi (57,7%) <i>yield</i> paling tinggi variasi 12:1 + 15 min koagulasi (225,6%)
			Total (10:1)						
			Total (11:1)						
			Total (12:1)						

Tabel 1.2 Premis proses pengeringan

Peneliti	Bahan Baku	Alat Pengering	Pre-Treatment	Pengeringan				Hasil
				Temperatur (°C)	Waktu (min)	Laju alir udara pengering (m/s)	Tebal bahan	
Abbasi dkk., 2009	White onion	Tray dryer (3 perforated trays)	Penyusunan Pemotongan (potongan melingkar d = 3 cm)	60	30-360	1,5	Potongan melingkar (d = 3 cm)	Temperatur 90°C menghasilkan laju pengeringan paling cepat dan kadar air paling rendah (1,148% w/w basis kering), tetapi <i>shrinkage</i> paling besar. Pengeringan efisien selama 90-120 min
				70				
				80				
				90				
Diamante dkk., 2010	Green dan gold kiwi (570 %kadar air basis kering)	Modified Oven dryer (hot air dryer)	Pengupasan kulit Pemotongan menyilang (tebal 5 mm)	60	Green (250)	0,2	Potongan dengan tebal 5 mm	Xe = 26% (Dry-Base)
				80	Gold (333)			
					Green (144)			
				100	Gold (147)			
					Green (96)			
				Gold (108)				
Hariyadi, 2018	Tomat	Tray dryer	Pencucian Pemplenderan Pengayakan	40	30-360	2	2 mm	Pengeringan optimum: <ul style="list-style-type: none"> • Ketebalan bubuk 2 mm (70°C; $t_c = 0,92$ jam; %air_c = 1,40%) dengan Rc = 897,12 kg/m².jam • Ketebalan bubuk 4 mm (50°C; $t_c = 1,92$ jam; %air_c = 2,56%) dengan Rc = 175,52 kg/m².jam
				50			4 mm	
				60				
				70				

Tabel 1.2 Premis proses pengeringan (*lanjutan*)

Peneliti	Bahan Baku	Alat Pengering	Pre-Treatment	Proses Pengeringan				Hasil
				Temperatur (°C)	Waktu (min)	Laju alir udara pengering (m/s)	Tebal bahan (mm)	
Velic dkk., 2004	Apel	<i>Pilot-plant Tray dryer (UOP 8 Tray dryer)</i>	Pengupasan Pengecilan ukuran	60	CP1 (29,4) CP2 (122,5)	0,64	20x20x5 (mm)	<ul style="list-style-type: none"> • Nilai h_c tertinggi: 44,30 w/m²K dengan laju alir udara pengering 2,75 m/s • Nilai koefisien efektif difusi ($D_{eff} = 3,02 \times 10^{-9}$ m²/s)
					CP1 (21,7) CP2 (99,3)	1		
					CP1 (20,2) CP2 (91,9)	1,5		
					CP1 (8,7) CP2 (72,1)	2		
					CP1 (8,0) CP2 (69,9)	2,5		
					CP1 (5,7) CP2 (58,6)	2,75		
Limpaiboon, 2011	Labu (kadar air 90% w/w)	<i>Lab-scale Tray dryer</i>	Pemotongan Pencucian	55	230-360	1,5	2 mm	<ul style="list-style-type: none"> • Kadar air labu pada akhir pengeringan 10% w/w • Temperatur 65°C memiliki waktu pengeringan paling cepat (2 mm; 170 min, 3 mm; 200 min, 4 mm; 240 min) • Tebal bahan 4 mm memerlukan waktu pengeringan paling lama (55°C; 360 min, 60°C; 290 min, 240°C; 240 min). • D_{eff} paling besar pada T=65°C;4mm (5,3011 x 10⁻¹⁰ m²/s) • D_{eff} paling kecil pada T=55°C;2mm (1.3591 x 10⁻¹⁰ m²/s)
				60	210-290		3 mm	
				65	170-240		4 mm	