



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**EVALUASI LAJU DIFUSIVITAS AIR PADA PROSES PENGERINGAN  
EKSTRAK BUNGA ROSELA DENGAN METODE GELEMBUNG**

**TESIS**

**MEILYA SUZAN TRIYASTUTI  
21030114420010**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA**

**SEMARANG  
AGUSTUS 2016**

## HALAMAN PENGESAHAN

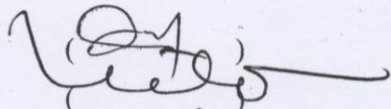
Tesis ini diajukan oleh

Nama : Meilya Suzan Triyastuti  
NIM : 21030114420010  
Jurusan/Program studi : Magister Teknik Kimia  
Judul Tesis : Evaluasi Laju Difusivitas Air Pada Proses Pengeringan Ekstrak Bunga Rosela Dengan Metode Gelembung

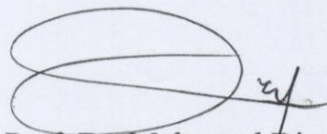
**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagaian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar magister pada Jurusan/Program Studi Magister Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro**

### TIM PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Mohamad Djaeni, S.T., M.Eng  
Penguji : Dr. Hadiyanto, ST, MT  
Penguji : Dr. nat. Techn. Siswo Sumardiono, S.T., M.T  
Penguji : Dr. Ir. Didi Dwi Anggoro, M.Eng

  
(Sumardiono)  
(Didi Dwi Anggoro)

Semarang, Juni 2016  
Jurusan/Program Studi  
Ketua



Prof. Dr. Mohamad Djaeni, S.T., M.Eng  
NIP. 19710702199512001

## **HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

**Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**NAMA : Meilya Suzan Triyastuti**

**NIM : 21030114420010**

**Tanda Tangan :**



**Tanggal : 02 September 2016**

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Meilya Suzan Triyastuti  
NIM : 21030114420010  
Jurusan/Program Studi : Magister Teknik Kimia  
Departemen : Teknik Kimia  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Tesis

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Evaluasi Laju Difusivitas Air Pada Proses Pengeringan Ekstrak Bunga Rosela Dengan  
Metode Gelembung

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang  
Pada Tanggal :

Yang menyatakan



(Meilya Suzan Triyastuti)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan usulan penelitian dengan judul “**Evaluasi Laju Difusivitas Air Pada Proses Pengeringan Ekstrak Bunga Rosela Dengan Metode Gelembung**”.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Mohamad Djaeni, S.T, M.Eng, selaku ketua program studi Magister Teknik Kimia Universitas Diponegoro dan pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penulisan proposal penelitian;
2. Kedua orang tua, kakak-kakaku dan saudaraku yang saya cintai, yang tiada hentinya memberikan doa dan dukungan selama masa studi hingga sekarang ini;
3. Semua teman – teman, kerabat, serta pihak – pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah banyak membantu hingga terselesaikannya proposal penelitian ini.

Penulis menyadari terdapat kekurangan dalam penyusunan proposal tesis ini. Untuk itu kritik dan saran sangat penulis harapkan demi kesempurnaan penelitian tesis ini.

Akhir kata penulis sampaikan dengan rasa syukur, semoga tesis ini memberi manfaat kepada yang membacanya, dan ikut memperkaya khazanah ilmu pengetahuan dan semoga Tuhan Yang Maha Esa senantiasa memberikan Rahmat dan Karunia-Nya kepada semua pihak yang telah memberikan bantuannya.

Semarang, Juli 2016

Penulis

## Abstrak

Pengeringan ekstrak roselle dengan *foaming agent* seperti putih telur mempunyai potensi untuk meningkatkan kualitasnya. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh putih telur pada difusivitas kadar air pengeringan ekstrak rosela. Dalam hal ini, ekstrak rosela dicampur dengan putih telur untuk membentuk busa dan gliserol mono-stearat sebagai penstabil busa. Campuran itu kemudian dikeringkan dengan berbagai suhu berkisar 40 sampai 60<sup>0</sup>C di pengering tray. Sebagai indikator, kadar air dalam ekstrak rosela diamati setiap 10 menit selama 2 jam. Pada penelitian ini dilakukan 2 tahap yaitu mengembangkan model matematika dan memprediksi serta estimasi waktu pengeringan. Parameter proses divalidasi dengan data eksperimen. Sebagai perbandingan, melakukan prosedur yang sama untuk pengeringan ekstrak rosela tanpa *foaming agent* (putih telur). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengeringan ekstrak rosela dengan busa dapat meningkatkan difusivitas kadar air secara signifikan. Difusi kadar air meningkat dengan meningkatnya suhu pengeringan. Berdasarkan estimasi waktu pengeringan, pengeringan ekstrak rosella dengan busa itu sampai 3 kali lebih cepat dibandingkan dengan pengeringan konvensional tanpa busa

**Kata Kunci:** *Foam, gelembung, koefisien, perpindahan massa*

## Abstract

Roselle extract drying with foaming agent such as egg white is a potential option to improve its quality. This research aimed to study the effect of egg white on moisture diffusivity in roselle extract drying. In this case, the roselle extract was mixed with egg to form foam and glycerol mono-stearate as foam stabilizer. The mixture was then dried under various temperatures ranging 40 to 60<sup>0</sup>C in tray dryer. As a response, the moisture in roselle extract was observed every 10 minutes for 2 hours. To support the study, the mathematical model was also developed and used for moisture diffusivity prediction as well as constant of drying time estimation. The process parameters were validated with experimental data. As a comparison, the procedure was also repeated for roselle extract drying without foaming agent (egg white). Results showed that the roselle extract drying with foam can enhance the moisture diffusivity significantly. The moisture diffusion improved with the increase of temperature linearly. Based on drying time estimation, the roselle extract drying with foam was up to 3 times faster than that of conventional drying without foam.

**Keywords:** Bubble, Coefficients, Foam, Mass Transfer

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Identifikasi Masalah.....	2
I.2 Rumusan Masalah .....	5
I.3 Tujuan Penelitian .....	5
I.4 Manfaat Penelitian .....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Proses Pengeringan.....	7
2.1.1 Prinsip Dasar Pengeringan .....	7
2.1.2 Prinsip <i>Foam Mat Drying</i> .....	7
2.1.3 Pembentukan <i>Foam</i> .....	8
2.1.4 <i>Foam Agent</i> .....	12

2.2 Model Matematika Proses Pengeringan .....	14
2.2.1 Perkembangan Model Matematika Pengeringan.....	14
2.2.2 Model Matematika Kurva Pengeringan .....	15
2.2.3 Transfer Massa.....	16
2.3 Rosella .....	17
2.3.1 Potensi Rosella .....	17
2.3.2 Perkembangan Penelitian Pengeringan Rosella .....	19
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Rancangan Percobaan.....	24
3.2 Bahan dan Alat .....	25
3.2.1 Bahan yang Digunakan .....	25
3.2.2 Alat yang Digunakan.....	26
3.3 Prosedur Percobaan .....	26
3.4 Pengembangan Model Matematis .....	26
3.5 Pengolahan Data.....	30
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Pengaruh Suhu Pada Karakteristik Pengeringan Rosela <i>Foam</i> Dan Tanpa <i>Foam</i> .....	31
4.2 Model Pengeringan dan Validasi Model .....	34
4.3 Profil distribusi massa pada <i>foam</i> dan non <i>foam</i> .....	37
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan.....	39
5.2 Saran .....	39
<b>BAB VI RINGKASAN</b> .....	40
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	41
<b>LAMPIRAN</b> .....	47

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	<i>Egg white</i> protein.....	13
Tabel 2.2	<i>Nutrient Composition of egg</i> .....	13
Tabel 2.3	Tatanama .....	15
Tabel 2.4	Model <i>Thin Layer</i> .....	16
Tabel 2.5	Syarat Baku Mutu Tepung Tapioka Menurut SNI .....	13
Tabel 2.6	Kandungan Nutrisi tiap 100 g Kelopak Bunga Rosella.....	19
Tabel 2.7	Beberapa Penelitian Perkembangan Pengeringan Rosella .....	20
Tabel 3.1	Rancangan Variabel Percobaan .....	25
Tabel 3.2	Bahan Percobaan Pengeringan .....	25
Tabel 3.3	Peralatan Percobaan pengeringan .....	26
Tabel 3.4	Tatanama .....	30
Tabel 4.1	Koefisien Perpindahan dan bilangan berdimensi pada perpindahan massa .....	35
Tabel 4.2	R-Square ( $R^2$ ) dari simulasi kadar air rata-rata .....	36

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pembentukan Lapisan <i>Foam</i> .....	10
Gambar 2.2	Struktur <i>Foam</i> .....	11
Gambar 2.3	Struktur <i>foam</i> dari makroskopik hingga nanometric.....	11
Gambar 2.4	Transfer Massa antar fasa dua film .....	16
Gambar 2.5	Film gabungan di fasa 1 .....	17
Gambar 2.6	Struktur kimia utama antosianin .....	18
Gambar 3.1	Diagram Alir Tahapan Proses .....	24
Gambar 3.2	Mekanisme transport massa satu arah lapisan Rosella <i>foam</i> .....	26
Gambar 4.1	Perbandingan kadar air terhadap waktu untuk pengeringan <i>foam</i> dan tanpa <i>foam</i> Struktur .....	33
Gambar 4.2	Struktur Rosella <i>Foam</i> .....	33
Gambar 4.3	Perbandingan antara data percobaan dan simulasi kadar air rata-rata pada berbagai suhu 50°C (a) dan 60°C(b) .....	35
Gambar 4.4	Profil distribusi air dengan metode pengeringan gelembung pada suhu 50 (a) dan 60°C (b) dengan tebal 1mm, waktu 2 jam .....	37
Gambar 4.5	Profil distribusi air dengan metode pengeringan tanpa gelembung pada suhu 50 (a) dan 60°C (b) dengan tebal 1mm, waktu 2 jam .....	38
Gambar 4.6	Rosella <i>fresh</i> dan kering.....	57
Gambar 4.7	Proses <i>Screening</i> Rosella Kering .....	57

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran A – Data Pengukuran dan Perhitungan .....	47
Lampiran B – Dokumentasi Kegiatan Penelitian.....	57

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Roselle (*Hibiscus sabdariffa L.*) merupakan tanaman dari famili *Malvaceae* yang sering digunakan sebagai pewarna minuman herbal, anggur, puding dan kue. Tanaman ini memiliki aktivitas antioksidan bagi kesehatan yang berfungsi memberikan perlindungan dari antiinflamasi, *antidiabetic*, *anticancer*, *cardio protective*, *antihypertensive* (Gonzalez, 2011; Wong et al., 2002; Lin et al., 2011; Nnam and Onyeke, 2003). Komposisi antioksidan tersebut meliputi *anthocyanin*, *polifenol*, *flavonoid*, dan *proanthocyanidins* (Chen et al., 2004). Pigmen antosianin menciptakan warna merah alami dan rasa unik (Wong et al., 2002). Kandungan antosianin rosella mencapai 1,5 g/100 g berat kering. Jumlah ini berpotensi sebagai sumber antosianin (Tsai et al., 2002). Di Amerika Serikat, antosianin telah digunakan sebagai pewarna makanan pada buah (kode 21 CFR 73,250) dan sayuran (kode 21 CFR 73,260) (Lipman, 1996). Sedangkan Uni Eropa mengklasifikasikan antosianin sebagai 'pewarna alami' dengan kode E163 (Wrolstad, 2000). Antioksidan bermanfaat untuk mengatasi kerusakan oksidatif akibat radikal bebas (Mohd-Esa et al., 2010). Rosella memiliki nilai komersial tinggi karena kandungan antioksidan dan antosianin yang besar. Oleh karena itu tanaman ini berpotensi sebagai sumber antioksidan yang baik dan menggantikan pewarna sintetis *Carmoisine*.

Di Indonesia rosella biasa dikeringkan dengan menggunakan sinar matahari. Pengeringan ini dinilai tidak efisien karena bergantung dengan cuaca dan membutuhkan waktu lama sekitar 3-4 hari. Proses pengeringan relatif lama menyebabkan terjadinya pertumbuhan mikroorganisme sehingga menghasilkan produk kurang higienis (Mardiah et al, 2015., vijayavenkataraman et al, 2012).

Penurunan kualitas warna merah (*browning*) menjadi masalah utama produksi rosella. Hal ini disebabkan degradasi antosianin mencapai suhu

pengeringan yang tinggi (100°C) (Domínguez-López *et al.*, 2008). Sehingga perlu pemilihan metode pengeringan tepat agar senyawa antosianin tidak mudah terdegradasi.

*Foam-mat drying* merupakan metode pengeringan sederhana yang dapat dilakukan pada suhu rendah dengan pembuatan busa dari bahan cair. Metode ini dapat membentuk material struktur berpori sehingga peningkatan luas permukaan dan laju pengeringan lebih cepat. Selain itu kandungan nutrisi lebih terjaga kualitasnya daripada non *foam* (Kudra and Ratti 2006; Djaeni *et al.*, 2013; Rajkumar *et al.*, 2007). Suhu udara, kecepatan pengeringan, kelembaban relatif, ketebalan dan komposisi *foam* menentukan kualitas produk meliputi warna, kadar air, dan nutrisi (Talita *et al.*, 2015).

Pada penelitian ini akan dikembangkan model matematis dengan metode *foam mat drying* menggunakan *foam agent* putih telur dan *foam stabilizer* gliserol mono stearat. Selain itu, belum banyak penelitian yang mempelajari perbandingan analisis percobaan dan simulasi dengan metode *foam mat drying* dan tanpa *foam* pada rosella. Penelitian ini difokuskan pada pengeringan pada suhu udara rendah dan pengaruh kondisi operasi pengeringan yang tepat terhadap kualitas produk akhir.

## **1.2 Identifikasi Masalah**

Perkembangan metode pengeringan saat ini mengalami peningkatan signifikan, untuk memperoleh teknologi pengeringan yang efisien dengan kualitas baik. Berbagai metode pengeringan telah dilakukan untuk mendapatkan antosianin pada rosella (Leyva *et al.*, 2013., Leyva *et al.*, 2012., Gonzalez *et al.*, 2009).

Penggunaan antosianin memiliki manfaat baik sebagai pewarna alami. Namun, penggunaan pewarna ini dalam produk makanan menghadapi masalah stabilitas warna dan degradasi antosianin. Antosianin dapat terdegradasi selama ekstraksi, pemurnian, pengolahan dan penyimpanan (Mardiah *et al.*, 2015).

Sandopu *et al* (2014) mempelajari pengaruh metode pengeringan (matahari, oven, microwave, *freeze drying*, *spray drying*) rosella untuk mendapatkan kualitas warna merah antosianin terbaik dan potensi aktivitas antioksidan. Hasil menunjukkan bahwa *Freeze drying* merupakan metode pengeringan yang baik untuk mendapatkan antosianin, *flavonoid*, *phenolic*, *chlorophyll* dan *ascorbic acid*. Hal ini dibuktikan dengan nilai \*L, menunjukkan dengan metode *freeze drying* tidak ada degradasi antosianin. Jumlah senyawa fenolik rosella sebesar 18,91 g kg<sup>-1</sup>. Daniel *et al* (2015) mempelajari pengaruh *carrier agent* (maltodextrin, pektin, gelatin, karboksimetil selulosa, *whhey protein*, karagenan dan gum arabic) terhadap senyawa fenolik rosella. Hasil menunjukkan jumlah senyawa fenolik tertinggi (79.48 mg GAE/100 mg GAE) dengan menggunakan *carrier agent* pektin. Karim dan Wai (1999) mempelajari bahwa *foam mat drying* pada suhu operasi 90°C menghasilkan produk yang lebih gelap daripada produk yang dikeringkan pada suhu 70°C.

Kandasamy *et al* (2012) juga membahas efek *foam mat drying* pada suhu tinggi dalam degradasi warna sari pepaya. Hasil menunjukkan penurunan senyawa antioksidan ( asam askorbat,  $\beta$ -karoten) akibat suhu pengeringan tinggi (65 dan 70°C), ketebalan busa tinggi (4, 6 dan 8 mm) dan waktu pengeringan yang lama. Selain itu kualitas *sensory* menunjukkan penurunan signifikan dalam aroma, rasa, warna akibat suhu pengeringan yang tinggi (65 dan 70°C). Namun diperoleh kondisi optimum pada ketebalan busa 2 mm dan suhu pengeringan 60°C untuk menghasilkan pepaya bubuk *foam mat drying*. Talita *et al* (2015) mempelajari metode *foam mat drying* pada yacon juice untuk memprediksi kondisi pengeringan yang optimal. Hasil menunjukkan bahwa suhu pengeringan dan ketebalan lapisan busa dipengaruhi oleh waktu pengeringan, kadar air dan aktivitas air. Untuk mencapai *water activity* 0,13 dibutuhkan waktu pengeringan 59 menit, ketebalan busa rendah 0,5 cm dan suhu pengeringan tinggi 70°C. Proses tersebut dimodelkan dalam transfer massa dan panas kemudian disimulasikan dengan software COMSOL Multiphysics. Model ini mampu memprediksi profil kelembaban dan suhu pengeringan untuk

mendapatkan yacon bubuk berkualitas baik. Ratiya *et al* (2008) mempelajari pemodelan difusi dengan *shrinkage* dan kualitas produk banana *foam mat drying*. Ada 2 metode yang digunakan *moving boundary* dan *immobilizing boundary*. Metode *moving boundary* lebih akurat untuk memprediksi kadar air dalam kasus busa *low-density*. Penentuan kualitas menunjukkan bahwa *foam density* awal sangat dipengaruhi kekerasan, kerapuhan, dan morfologi produk pisang *foam mat drying*, sedangkan suhu pengeringan tidak berpengaruh signifikan terhadap kualitas produk.

Ratiya *et al* (2012) mempelajari *image* mikrostruktur *foam* pada pengeringan pisang dengan *foam agent* yang berbeda yaitu *egg albumen (EA)*, *soy protein isolate (SPI)* and *whey protein concentrate (WPC)*. Hasil menunjukkan morfologi *foam agent* yang berbeda. Pengeringan dengan *foam agent* EA dan SPI bentuk pori-pori lebih memanjang daripada WPC. Ini disebabkan bahwa kurangnya stabilitas gelembung gas yang dihasilkan dari EA dan SPI, yang menyebabkan runtuhnya gelembung dan penyusutan busa sehingga terjadi perubahan mikrostruktur seperti pemanjangan pori-pori.

Robin *et al* (2012) mempelajari berbagai model *thin layer drying*. Model Wang dan Singh merupakan model terbaik untuk pengeringan *thin layer* pada mangga dengan kondisi optimum *foam mat drying* suhu 65°C dan konsentrasi putih telur 3%. Ambekar *et al* (2013) mempelajari berbagai model *thin layer* dengan menggunakan parameter statistik. Model Henderson dan Pabis merupakan model terbaik untuk pengeringan lapis tipis pada mangga dengan suhu optimum pengeringan 60°C.

Bahan pangan yang sensitif terhadap panas akan mudah terdegradasi sehingga direkomendasikan menggunakan suhu rendah, sekitar kurang dari 70°C hal ini dilakukan untuk menjaga kualitas *sensory* dan nutrisi produk (Djaeni *et al.*, 2014).

Metode pengeringan dengan *foam mat drying* mempunyai berbagai keuntungan seperti suhu pengeringan bisa dilakukan pada suhu rendah, mempercepat waktu pengeringan, mencegah hilangnya *flavor* dan komponen

volatil. Dalam *Foam mat drying* membutuhkan *foam agent* (putih telur, *glyceryl monostearate* dan *soyprotein*) dan *foam stabilizer* (xanthan gum). *Foaming agent* berfungsi membantu pembentukan pori sehingga luas permukaan meningkat (Falade *et al*, 2003., Ratti *et al*, 2006., Kadam *et al*, 2010).

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan model matematis pengeringan rosella *foam* dan tanpa *foam* berdasarkan neraca massa. Pengembangan mekanisme *foam mat drying* diharapkan mampu menggambarkan mikrostruktur fenomena *foam* tiap satuan waktu pada rosella.

### **1.3 Perumusan Masalah**

Metode *foam mat drying* dengan kelembaban rendah merupakan gagasan baru dalam pengeringan rosella yang efisien dan tetap mempertahankan kualitas produk. Namun demikian, dalam aplikasinya ada beberapa masalah (*research question*) yang harus dijawab dalam penelitian ini. Permasalahan tersebut antara lain : Bagaimana model matematis pengeringan *foam mat drying* rosella dan rosella tanpa *foam*. Bagaimana profil distribusi massa pada setiap waktu pengeringan rosella. Bagaimana pengaruh suhu metode pengeringan *foam* dan tanpa *foam* terhadap waktu pengeringan. Dari pertanyaan tersebut maka diperlukan pengembangan model matematis pengeringan *foam* dan tanpa *foam* agar mendapatkan prediksi kurva pengeringan dan profil distribusi massa.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

1. Menentukan model matematis pengeringan *foam mat drying* rosella dan rosella tanpa *foam* berdasarkan neraca massa.
2. Mempelajari profil distribusi massa pada setiap waktu pengeringan rosella.
3. Membandingkan metode pengeringan *foam* dan tanpa *foam* untuk menentukan waktu pengeringan efektif.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan khasanah ke ilmuwan mengenai metode *foam mat drying* dengan zeolite yang memiliki kelembaban udara yang rendah. Memberikan wawasan kondisi operasi pengeringan agar kualitas warna dan kandungan antosianin hasil pengeringan tetap terjaga dan terjamin kualitasnya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### 2.1. Proses Pengeringan

##### 2.1.1. Prinsip Dasar Pengeringan

Pengeringan merupakan penghilangan kadar air dalam makanan dan industri kimia farmasi hingga kadar air tentu. Pengeringan berfungsi untuk meningkatkan kualitas produk pertanian dan produk farmasi, untuk mengurangi biaya transportasi, dan untuk meningkatkan kenyamanan pelanggan dari produk makanan (Birchal *et al*, 2005; Defraeye, 2014). Selain itu, pengeringan dimanfaatkan sebagai pengawetan makanan dan memperpanjang umur simpan makanan (Doymaz, 2007). Kondisi operasi pengeringan melibatkan transfer panas transien dan massa secara simultan. Transformasi fisik atau kimia yang dapat menyebabkan pengaruh kualitas produk serta mekanisme perpindahan panas dan massa (Mujumdar, 2008). Transformasi fisik meliputi : penyusutan (*shrinkage*), pengembangan (*puffing*), kristalisasi, transisi kaca (*glass transitions*). Transformasi kimia meliputi : warna, tekstur, bau atau sifat lain dari produk yang padat.

##### 2.1.2. Prinsip *Foam Mat Drying*

*Foam mat drying* merupakan metode pengeringan yang digunakan dalam bidang makanan. Metode ini dapat diaplikasikan di bidang industri buah dan sayur karena memungkinkan dehidrasi makanan sensitif panas atau yang sulit kering, lengket tanpa merubah kualitas bahan. Teknologi ini dapat meningkatkan aplikasi dalam skala komersial pada bahan cair yang konsentrasinya lembut seperti susu , buah, jus , larutan kopi , dll (Mujumdar et al, 2010).

*Foam mat drying* adalah proses di mana cairan diubah menjadi busa yang stabil oleh penggabungan udara (biasanya dengan *whipping*) setelah penambahan *foaming agent*, dengan pengeringan udara bersuhu rendah untuk

membentuk pori tipis menghasilkan produk bubuk. Produk kering dari *foam mat drying* berbentuk berpori dan dapat mudah dilarutkan yang mempunyai kualitas baik. Proses ini berpotensi untuk dikembangkan karena waktu pengeringan cepat pada suhu yang lebih rendah, cocok untuk semua jenis sari buah, retensi kualitas gizi dan biaya yang efektif (Raharitsifa et al., 2006; Rajkumar et al., 2007; Mujumdar et al., 2010).

Langkah-langkah penting dalam *foam mat drying* adalah sebagai berikut (Mujumdar, 2010):

- (a) *Pre-treatment* dari bahan baku dan persiapan konsentrat cair.
- (b) Konversi dari konsentrat menjadi busa yang stabil dengan *foaming agent* yang cocok.
- (c) Mengekspos busa dalam bentuk lembaran tipis untuk dehidrasi atau dengan metode konduksi air panas.
- (d) *Conditioning* dan *grinding* pada bahan pori yang kering.

### 2.1.3. Pembentukan *Foam*

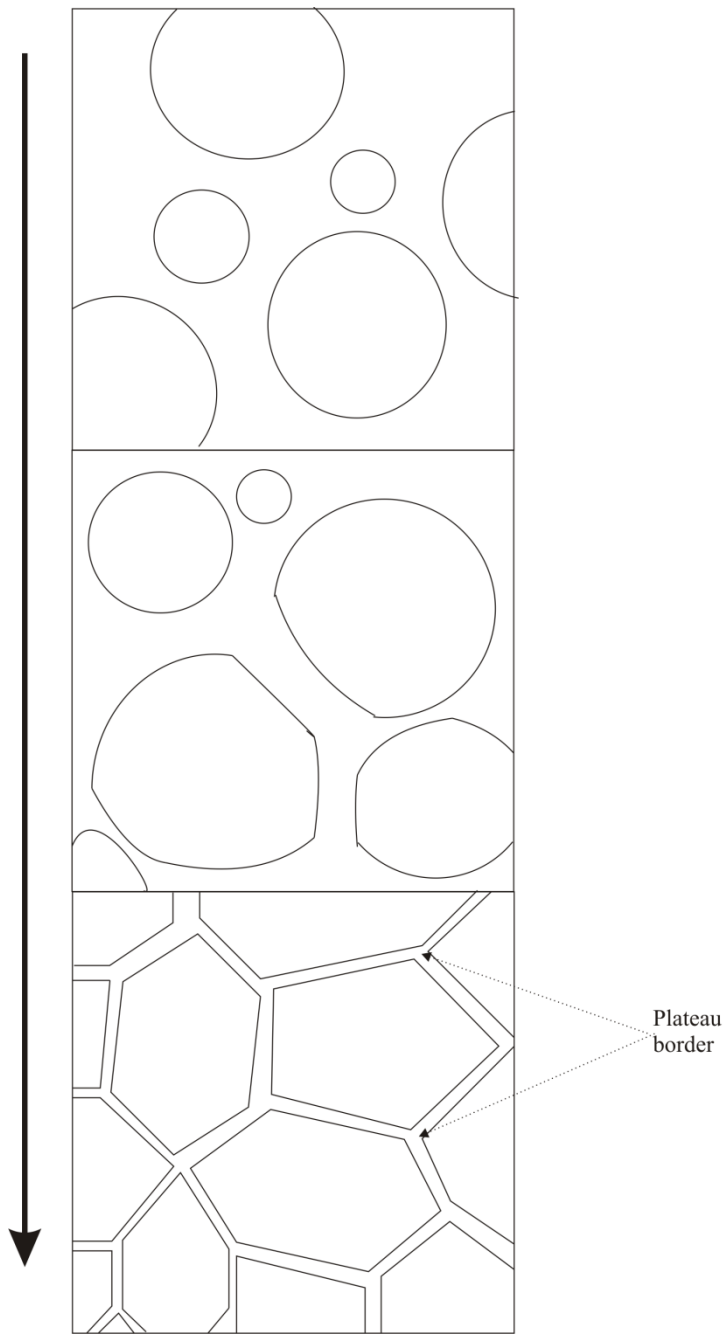
*Foam* merupakan dispersi gelembung gas dalam cairan (Walstra, 1989). Pembentukan busa tergantung pada banyak parameter seperti sifat cairan yang berbuisa, metode berbuisa dan kondisi berbuisa (Pugh, 2001). Dalam pembentukan busa tiga tahap yang terlibat (Kinsella, 1981). Pertama, protein larut berdifusi ke antarmuka air atau udara, untuk mengurangi tegangan permukaan. Kedua, protein pada antarmuka dengan orientasi gugus polar terhadap air, ada orientasi kelompok hidrofilik dan hidrofobik pada fase berair dan tidak berair. Ketiga, polipeptida berinteraksi untuk membentuk lapisan dengan kemungkinan denaturasi parsial dan koagulasi. Protein cepat menyerap di antarmuka dan membentuk sebuah lapisan untuk menstabilkan sekitar gelembung yang menaikkan pembentukan busa. Fungsi dasar protein dalam busa adalah untuk menurunkan tegangan antar muka, untuk meningkatkan sifat kental dan elastis dari fase cair dan membentuk lapisan yang kuat.

Protein memiliki kemampuan untuk menyerap di antarmuka dan mengurangi tegangan permukaan. Tegangan permukaan pada antarmuka gas-cair dipengaruhi oleh suhu; semakin tinggi suhu, semakin rendah tegangan permukaan akibat perubahan bentuk protein (Purdon, 1980).

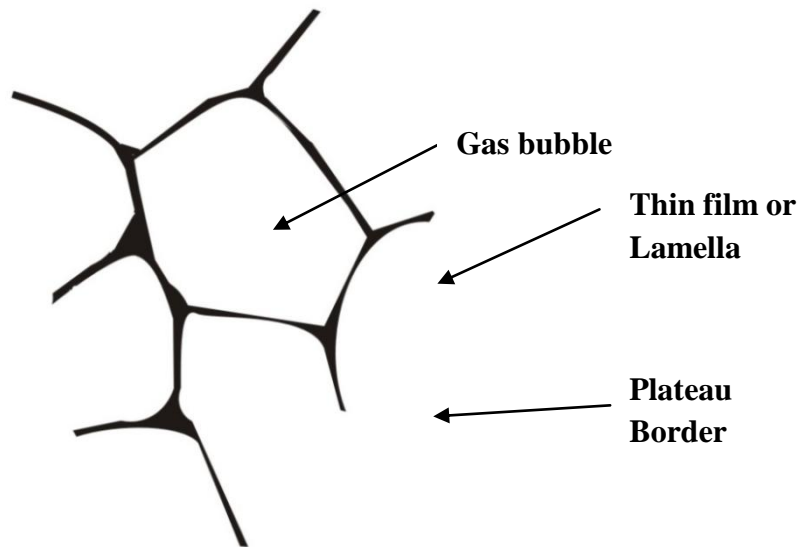
Perubahan mulai terjadi ketika terbentuk gelembung udara (Walstra, 1989) :

1. Gelembung kecil akan larut, sementara yang lebih besar dapat membentuk gelembung yang lebih besar pula, dengan difusi gas melalui fase kontinyu. Ini disebut disproporsionasi. Disproporsionasi terjadi sebagai akibat dari perpindahan gas dari kecil ke gelembung yang lebih besar. Ini hasil dari tekanan gas yang lebih tinggi dalam gelembung kecil karena perbedaan tekanan Laplace yang lebih tinggi ( $Dp$ ) di atas permukaan gelembung. Sebagai akibat dari peningkatan tekanan di dalam gelembung kecil, kelarutan gas juga meningkat (Walstra, 2003).
2. Pembentukan gelembung secara cepat, sehingga menyebabkan pemisahan menjadi lapisan busa di atas *bulk liquid*.
3. Gelembung bertumbukan satu sama lain, yang mengarah ke busa polyhedral.
4. Pengeringan cairan dari busa ke *bulk*.
5. Dinding gelembung antara busa gelembung pecah, menyebabkan perpaduan gelembung antara satu dengan yang lain.

Peristiwa ini digambarkan pada Gambar. 2.1.

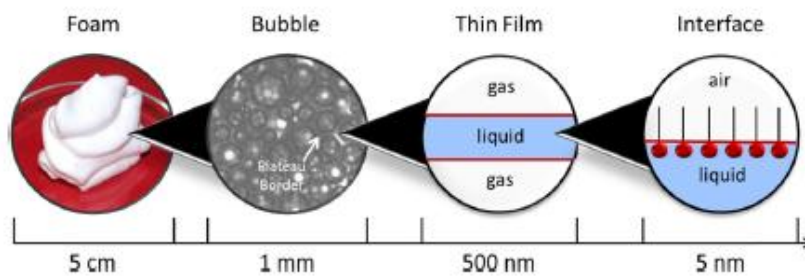


Gambar 2.1 Pembentukan lapisan *foam* (Walstra, 1989)



Gambar 2.2 Struktur *Foam* (Wilde and Clark, 1996)

Struktur busa di tunjukkan pada gambar 2.2. Busa memiliki gelembung gas yang dikelilingi oleh *Plateau Border*. Dinding tipis gelembung disebut *lamella*. Kekuatan mekanik *lamella* menentukan stabilitas busa. Jika cairan kental digunakan untuk pembuatan busa, biasanya menghasilkan busa lebih stabil, hal ini disebabkan meningkatnya elastisitas *lamella*. Stabilitas busa dapat dibentuk dengan menggunakan surfaktan atau dengan protein (Wilde and Clark, 1996).



Gambar 2.3 Struktur *foam* di berbagai skala panjang, mulai dari sebelah kiri pada makroskopik, dan penurunan secara bertahap ke nanometric (Anne-Laure et al, 2014).

Struktur busa tergantung pada ukuran gelembung dan fraksi cair. Struktur ini mulai dari skala panjang pada skala molekul (nm) dan naik ke skala makroskopis (Gambar 2.3). Mulai skala panjang yang paling kecil, pada skala nanometer, ada antarmuka gas-cair dimana stabilisator teradsorpsi. Dimana dua antarmuka berada di dekat ada lapisan-lapisan tipis yang memisahkan gelembung. Jika diperbesar, pada ukuran mikroskopis, pada lapisan-lapisan tipis bergabung membentuk *Plateau Borders* (PBs), yang membentuk cairan utama yang saling berhubungan (Anne-Laure et al, 2014).

#### 2.1.4. *Foam Agent*

Mengetahui reologi dan struktur busa dapat membantu memahami mekanisme perpindahan panas dan massa selama proses *foam mat drying*. Dengan demikian, aspek-aspek karakterisasi busa dapat dikaji secara mendalam untuk mengoptimalkan proses (Narindra et al, 2006).

*Egg Albumen* (EA) adalah *foaming agent* alami dan mudah didapatkan yang mempunyai sifat berbusa baik. *Egg Albumin* sebagai *foaming agent* membantu dalam pembentukan pori yang dapat meningkatkan luas permukaan untuk pengeringan (Kudra dan Ratti 2006). Pada tabel 2.2 menunjukkan kandungan nutrisi telur. Pada Tabel 2.1 dapat dilihat bahwa busa putih telur kaya albumen (putih telur protein), yang memainkan peran utama dalam memberikan busa yang relatif stabil. Protein adalah salah satu alasan utama untuk busa relatif stabil dan produktif, seperti protein yang akan diserap di antarmuka udara-cair (Alleoni dan Antunes, 2004; Foegeding et al. 2006). *Foaming agent* yang baik harus ditandai dengan fleksibilitas yang baik dari molekul bahannya (Miquelim et al., 2010).

Tabel 2.1 *Egg white* protein (Li-Chan et al, 1995; Froning, 1998)

Protein	% of albumen proteins	Karakteristik
Ovalbumin	54	Phosphoglycoprotein
Ovotranferrin (Conalbumin)	12	Binds metallic ions
Ovomucoid	11	Inhibits trypsin
Ovomucin	3.5	Sialoprotein, viscous
Lysozyme	3.4	Lyzes proteins
Globulins	8.0	---
Ovoinhibitor	1.5	Inhibits serine proteases
Ovoglycoprotein	1.0	Sialoprotein
Ovoflavoprotein	0.8	Binds riboflavin
Ovomacroglobulin	0.5	Strongly antigenic
Cystatin	0.05	Inhibits thiol proteases
Avidin	0.05	Binds biotin

Table 2.2 *Nutrient Composition of egg* (per 100 g) (Britannica, 2007)

	Whole egg	Egg white	Egg yolk
Energy, kcal	149	50	358
Water, g	75.33	87.81	48.81
Protein, g	12.49	10.52	16.76
Fat, g	10.02	0	30.87
Cholesterol, mg	425	-	1.281
Carbohydrate, g	1.22	1.03	1.78
Vitamin A, IU	635	-	1.945
Riboflavin, mg	0.508	0.452	0.639
Calcium, mg	49	6	137
Phosphorus	178	13	488

## 2.2 Model Matematika Proses Pengeringan

### 2.2.1 Perkembangan Model Matematika Pengeringan

Model matematik proses pengeringan dengan berbagai kondisi operasi sangat berpengaruh untuk mendapatkan profil pengeringan sebagai pengendalian proses yang bertujuan meningkatkan kualitas produk. Beberapa model pengeringan digunakan untuk mempelajari pengaruh variabel-variabel yang digunakan dalam memprediksi kinetika pengeringan produk, mengoptimumkan parameter-parameter, dan proses kondisi operasi (Setyoprato, 2012).

Untuk proses pengeringan, konsentrasi bisa digantikan dengan kandungan air persatuan massa bahan kering. Dengan mengabaikan terjadinya penyusutan (*shrinkage*) persamaan (2.1) dapat dinyatakan sebagai :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_e \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (2.1)$$

Bahan berbentuk *slab* (lapis tipis) penguapan melalui permukaan dari sisi-sisi bahan dapat diabaikan. Karena relatif kecil dibandingkan dengan luas permukaan bahan yang paralel terhadap aliran udara panas, sehingga difusi air di dalam slab dianggap satu arah dan akan berlaku :

$$\frac{(C-C_e)}{(C_o-C_e)} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_e t}{4L^2}\right) \quad (2.2)$$

Untuk waktu pengeringan yang panjang, persamaan (2.2) dapat disederhanakan dengan hanya mengambil suku pertama (Pakowaski dan Mujumdar, 2006) yang dikenal sebagai Solusi Crank, dalam bentuk logaritmik dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{(C-C_e)}{(C_o-C_e)} = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_e t}{4L^2} \quad (2.3)$$

Difusivitas ditentukan dengan cara membuat plot data pengeringan yang diperoleh dari percobaan dalam bentuk  $\ln [(C-C_e)/(C_o-C_e)]$

terhadap waktu dalam persamaan (2.3). Plot tersebut akan berupa garis lurus dengan slope :

$$\text{Slope} = \frac{\pi^2 D_e t}{4L^2}$$

### 2.2.2 Model Matematika Kurva Pengeringan

Aspek yang paling penting dari teknologi pengeringan adalah model matematis dari proses pengeringan (Akpinar et al, 2006). Pengetahuan tentang kinetika pengeringan bahan adalah penting untuk desain, optimasi dan pengendalian proses pengeringan (Sacilik et al, 2006). Prinsip pemodelan didasarkan pada persamaan matematika yang dapat mencirikan sistem. Solusi dari persamaan ini harus memungkinkan prediksi parameter proses sebagai fungsi waktu pada setiap titik pengeringan yang didasarkan pada kondisi awal (Gunhan et al, 2005). Banyak model matematika yang menggambarkan proses pengeringan, model *thin layer* pengeringan telah banyak digunakan.

Kadar air sampel pengeringan pada waktu (t) dapat diubah menjadi *Moisture Ratio* (MR) (Caglar, 2009):

$$X_t = \frac{m_t - m_g}{m_g} \quad (1)$$

$$MR = \frac{(X_t - X^*)}{(X_0 - X^*)} \quad (2)$$

Tabel 2.3 Tatanama

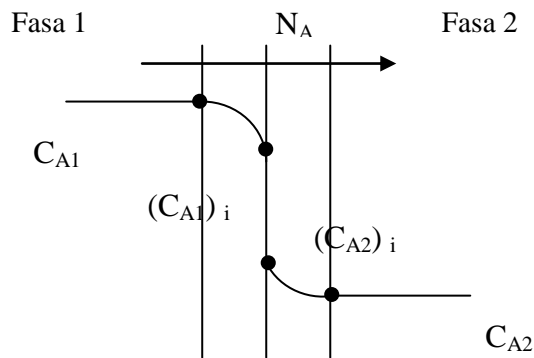
Singkatan	Keterangan
$m_t$	massa sampel setiap waktu (kg)
$m_g$	massa sampel setelah pengeringan
MR	<i>Moisture Ratio</i>
$X_0$	kadar air awal (kg air.kg bahan kering)
$X^*$	kadar air kesetimbangan (kg air.kg bahan kering)
DR	Laju Pengeringan (kg air.kg bahan kering)
t	waktu (s)

Tabel 2.4 Model *Thin Layer Drying* (Menges et al, 2006) :

Model No.	Nama Model	Model
1	Newton	$MR = \exp(-kt)$
2	Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$
3	Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$
4	Page	$MR = \exp[-kt^n]$
5	Modified Page	$MR = a \exp[-(kt^n)]$
6	Wang and Singh	$MR = 1 - at + bt^2$

### 2.2.3 Transfer Massa

Perpindahan massa antar fasa dua film misalnya terjadi pada batas fasa cair-gas, atau cair-cair, dimana gradien konsentrasinya seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Transfer Massa antar fasa dua film

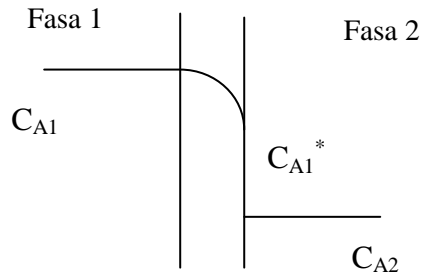
Dengan asumsi bahwa tak ada akumulasi A pada film-film,  $(C_{A1})_i$  setimbang dengan  $(C_{A2})_i$  dan hubungan kesetimbangannya mengikuti hukum Henry :

$$(C_{A2})_i = H \cdot (C_{A1})_i \quad \dots\dots\dots(3)$$

Maka kecepatan transfer massa A dari fasa 1 ke fasa 2 dapat didekati dengan :

$$N_A = k_{C1} \cdot (C_{A1} - (C_{A1})_i) = k_{C2} \cdot ((C_{A2})_i - C_{A2}) \quad \dots\dots\dots(4)$$

Jika film gabungan dianggap terjadi di fasa 1 maka gradien konsentrasi A dapat didekati seperti pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Film gabungan di fasa 1

Dalam hal ini  $C_{A1}^*$  setimbang dengan  $C_{A2}$  sehingga :

$$C_{A2} = H \cdot C_{A1}^* \quad \dots\dots\dots(5)$$

Dengan pendekatan tersebut, maka persamaan (4) dapat didekati dengan

$$N_A = k_{C1} \cdot (C_{A1} - C_{A1}^*) \quad \dots\dots\dots(6)$$

dengan  $k_{C1}$  = koefisien perpindahan massa gabungan di fasa 1.

Harga  $k_{C1}$  dapat dievaluasi dengan manipulasi matematis sebagai berikut :

$$C_{A1} \cdot C_{A1}^* = (C_{A1} - (C_{A1})_i) + ((C_{A1})_i - C_{A1}^*) \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$C_{A1} \cdot C_{A1}^* = (C_{A1} - (C_{A1})_i) + \frac{1}{H} ((C_{A2})_i - C_{A2}^*) \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$\frac{N_A}{k_{C1}} = \frac{N_A}{k_{C2}} + \frac{1}{H} \frac{N_A}{k_{C2}}$$

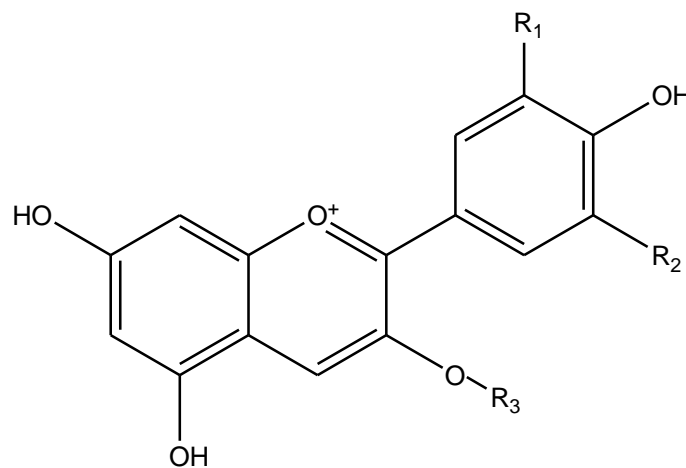
## 2.3 Rosella

### 2.3.1 Potensi Rosella

Roselle (*Hibiscus sabdariffa L., Malvaceae*) merupakan tanaman herbal yang memiliki lebih dari 300 spesies di dunia yang dapat tumbuh di daerah tropis dan subtropis (Wang et al, 2012). Kelopak bunga rosella ini biasanya digunakan untuk minuman herbal (Hirunpanich et al, 2005;

Tsai et al, 2002). Bunga Rosella mengandung senyawa utama *anthocyanin delphinidin-3-xylosilglucoside* dan *cyanidin-3-glucoside xylosil* yang memberikan warna merah alami (Wong et al, 2002). Dengan konsumsi minuman Rosella dapat memberikan manfaat bagi kesehatan seperti *antidiabetic, cardio protective, antihypertensive and low density lipoprotein antioxidant action* (Lin et al, 2011; Nnam and Onyeke, 2003).

*Anthocyanin* adalah kelompok turunan flavonoid dan pigmen alami pada bunga kering rosella. *Anthocynins* berdasarkan *Delphinidin* dan *cyanidin*, termasuk *delphinidin- 3-sambubioside (hibiscin)*, *cyanidin-3-sambubioside (gossypicyanin)*, *cyanidin-3,5-diglucoside*, *delphinidin (anthocyanidin)* (Williamson et al, 2009).



Cyanidin-3-sambubioside (R1=OH; R2=H; R3= Sambubioside)

Delphinidin-3- sambubioside (R1=OH; R2=OH; R3= Sambubioside)

Cyanidin-3-glucoside (R1=OH; R2=H; R3= Glucose)

Delphinidin-3-glucose (R1=OH; R2=OH; R3= Glucose)

Gambar 2.4 Struktur kimia utama antosianin

Tabel 2.6 Kandungan Nutrisi tiap 100 g Kelopak Bunga Rosella

Komponen	Keterangan
Protein	1,9 g
Lemak	0,1 g
Karbohidrat	12,3 g
Fiber	2,3 g
Vitamin C	14 mg
$\beta$ -carotene	300 $\mu$ g
Kalsium	1,72 mg
Besi	57 mg

Selain kandungan nutrisi pada kelopak bunga rosella, warna antosianin merupakan *attribute* yang sangat penting untuk diperhatikan. Warna menunjukkan baiknya kualitas bahan makanan sehingga mempengaruhi tingkat penerimaan produk konsumen (Kiattisak et al, 2007). Sehingga stabilitas *thermal* antosianin harus dipertahankan dalam proses pengeringan (Gradinaru et al, 2003).

### 2.3.2 Perkembangan Penelitian Pengeringan Rosella

Pengeringan rosella dilakukan dengan dua cara: pertama, memanen buah segar kemudian kelopak bunga rosella dikeringkan dengan sinar matahari; kedua, membiarkan kelopak bunga rosella kering pada tanaman itu sendiri (Bahaeldeen et al, 2012). Pengeringan ini dinilai tidak efisien karena bergantung dengan cuaca, membutuhkan waktu lama sekitar 3-4 hari sehingga proses pengeringan tidak berjalan secara kontinyu dan menyebabkan kualitas produk tidak seragam. Proses pengeringan relatif lama menyebabkan terjadinya pertumbuhan mikroorganisme sehingga menghasilkan dampak negatif terhadap kualitas produk (Djaeni, 2014., Mardiah et al, 2015., vijayavenkataraman et al, 2012).

Proses pengeringan kelopak rosella secara tradisional dengan menggunakan sinar matahari membutuhkan waktu 48 jam dengan kadar air 12%. Pengeringan dengan matahari dapat mempengaruhi kondisi proses seperti waktu pengeringan yang lama dan kualitas produk yaitu nutrisi, warna, tekstur dan rasa rosella (Jorge et al, 2014).

Berbagai metode pengeringan yang berbeda untuk mengembangkan proses pengeringan yang efisien dan meningkatkan kualitas produk yang maksimal (Beaudry et al, 2004). Optimasi parameter proses digambarkan dalam model matematis sedangkan parameter kualitas dengan retensi sifat fisikokimia dan kapasitas antioksidan (Ambekar et al, 2013).

Tabel 2.7 Beberapa penelitian perkembangan pengeringan rosella

Jenis Pengeringan	Hasil	Referensi
Solar Drying	Teknik <i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i> (TOPSI) menunjukkan bahwa pengeringan surya dengan <i>parabolic collector</i> lebih baik daripada pengeringan surya konvensional, yang dapat mengurangi waktu pengeringan dari 48 jam menjadi 4,5 jam dengan memperoleh kualitas Rosella yang paling baik.	Jorge et al, 2014
Spray Drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dengan <i>Carrier agents</i> Pektin didapatkan senyawa <i>polyphenol</i> tertinggi (98,20 mg GAE/ 100 mg GAE dari rosella konsentrat) dan jumlah senyawa fenolik tertinggi (79,48 mg GAE/100 mg</li> </ul>	Daniel et al, 2015

	GAE dalam partikel) dalam waktu yang lebih lam 56,8 menit dengan ukuran partikel 9µm.	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sampel bubuk rosella terbaik sebanyak 80 g menggunakan suhu 190 °C dengan humidity 3% dan pH 3,44.</li> </ul>	Salvador et al, 2008
Fixed Bed Drying	Didapatkan kadar monomer antosianin terbaik 230,23±5.30 mg D3S/100 g residu basis kering pada suhu 40°C, velocity udara 0,75 m/s, kadar total phenol 637.65±12.8 mg GAE/100 g residu basis kering pada suhu 40°C, velocity udara 2,25 m/s, aktivitas antioksidan 288.44±18.22 µmol TE/g ekstrak kering pada suhu 80°C, velocity udara 0,75 m/s.	Daniel et al, 2012
Freeze-Drying	Bubuk Rosella dengan maltodekstrin 3g/100 ml memiliki stabilitas warna antosianin yang paling baik. Di dapatkan warna rosella setelah <i>freeze-dried</i> adalah nilai L*= 28,07±4,9; nilai a*= 67,87±5,4; nilai b*= 47,2±9,0. Water activity= 0,115.	Kiattisak et al, 2007
<i>Cabinet Dryer</i> dan <i>Fluidized Bed Dryer</i>	Pada <i>cabinet dryer</i> (60°C, 6 jam) menghasilkan kandungan antosianin yang lebih tinggi yaitu 95,41±1,76 tetapi dengan <i>Fluidized bed dryer</i> (70°C, 1,5 jam) dapat menghasilkan kapasitas antioksidan tertinggi yaitu 108,51±1,33 mg AEAC/100 g.	Mardiah et al, 2015

---

## 2.4 Metode Uji Kualitas Rosella

### 2.4.1 Uji Warna

Warna dari makanan dan minuman adalah atribut yang sangat penting untuk penerimaan produk konsumen. *Chromameter* adalah alat yang digunakan untuk mengukur warna dari suatu bahan. Pada *chromameter*, warna dideskripsikan melalui notasi warna. Notasi warna adalah suatu cara sistematis atau objektif untuk menyatakan atau mendeskripsikan suatu jenis warna. Di antara sistem warna terdapat tiga macam sistem notasi warna yaitu ICI (*International Commission ON Illumination*), Munsell, dan Hunter (Soekarto, 1990). Penggunaan sistem warna CIELAB (CIE, 1986) telah terbukti memberikan cakupan menyeluruh atribut yang diperlukan untuk memeriksa warna produk makanan dan minuman (Gonnet, 1998, 1999, 2001). Chutintrasri dan Noomhorm (2007) digunakan parameter Hunter (L, a, b) dan jumlah perbedaan warna untuk mengevaluasi perubahan warna. Dengan demikian, selama penyimpanan produk yang mengandung *anthocyanin*, harus mampu mengamati stabilitas warna produk dari perubahan atribut warna CIELAB.

Warna dari rosella diukur dengan *chromameter* Minolta CT-310 *Colorimeter* sehingga akan di dapatkan nilai CIE L\*, a\*, b\*. Maka L\* mewakili kecerahan warna (0 = hitam, 100 = putih), a\* = merah(+) dan hijau (-), b\* = kuning (+) dan biru (-) (Chutintrasri dan Noomhorm, 2007).

### 2.4.2 Uji Kandungan Antosianin

Absorbansi diukur pada 517nm dengan spektrofotometer Shimadzu (Model UV240, Jepang). Total kandungan antosianin yang dinyatakan dalam *anthocyanin* relatif.

### 2.4.3 Penentuan Mikrostruktur

*Scanning Electron Microscope* (JEOL, JSM-5600LV, Tokyo, Jepang) digunakan untuk mempelajari struktur mikro busa dan non busa pada suatu bahan. Sampel ditempatkan pada pita perekat dua sisi yang melekat pada logam dan dilapisi dengan emas. Mikrograf SEM dilakukan pada tegangan percepatan 10 kV dan perbesaran 35 kali (Ratiya et al, 2012).

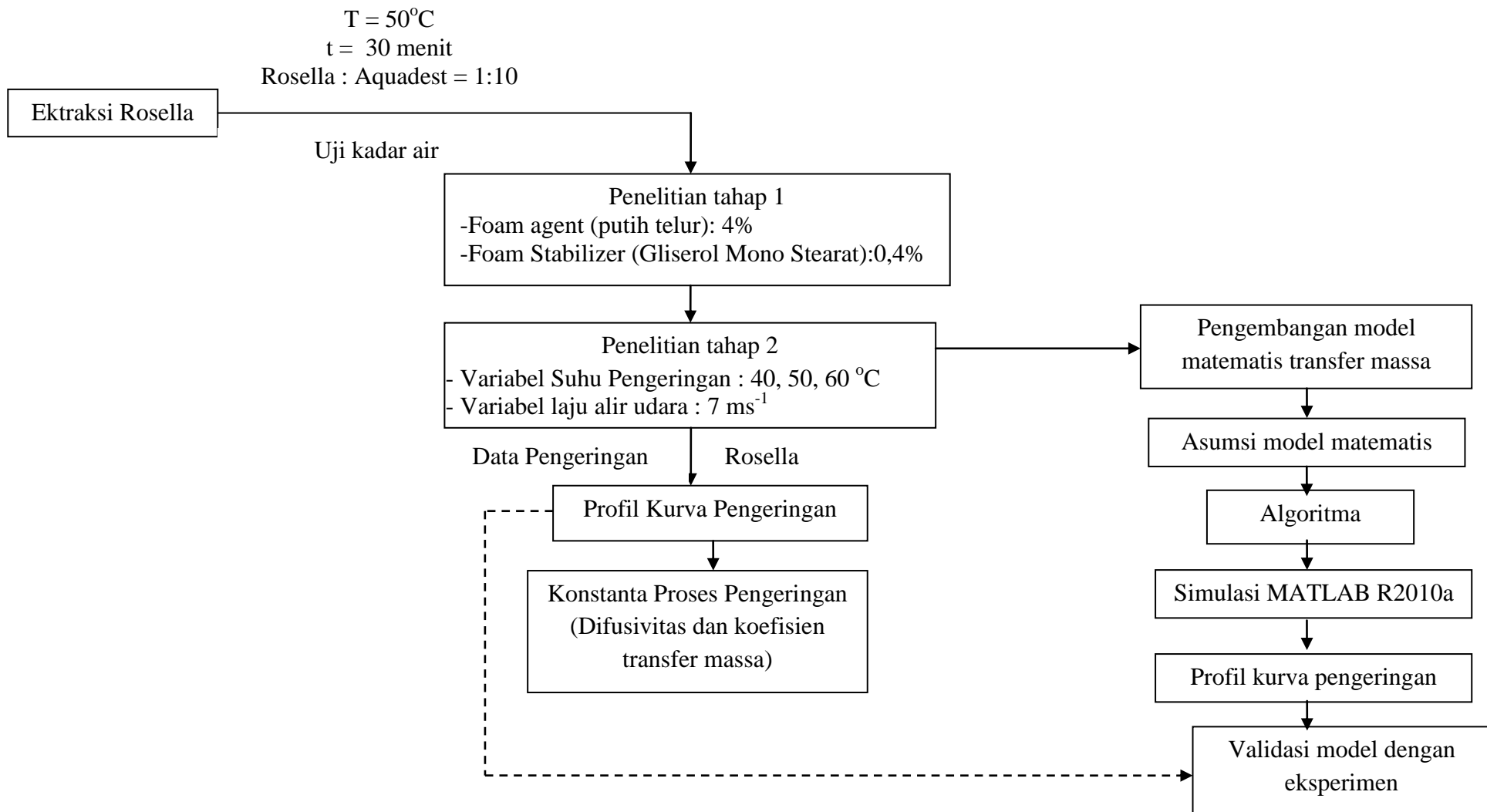
## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Rancangan Percobaan**

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap yaitu eksperimen pengeringan untuk menguji kualitas produk hasil pengeringan, menyusun persamaan model matematis pengeringan dan simulasi model matematis. Pada tahap pertama melakukan eksperimen pengeringan dengan variabel komposisi untuk memperoleh komposisi yang terbaik. Pada tahap kedua melakukan eksperimen variabel suhu 40, 50, 60°C dan laju alir udara pengeringan 7 ms<sup>-1</sup>. Dari percobaan dilakukan pengambilan data berupa penurunan massa tiap satuan waktu pada saat proses pengeringan. Data hasil pengeringan digunakan untuk menghitung nilai penurunan kadar air dalam rosella, nilai difusivitas, koefisien perpindahan massa pengeringan rosella untuk berbagai konsentrasi *foam agent*, suhu dan laju alir proses pengeringan. Nilai hasil percobaan proses pengeringan selanjutnya digunakan sebagai konstanta dalam simulasi model matematis hasil pengeringan.

Pengembangan model matematis pengeringan dilakukan dengan mennguraikan persamaan – persamaan yang berlaku pada proses transfer massa proses pengeringan. Persamaan disimulasikan dengan menggunakan software MATLAB R2010a. Profil distribusi massa hasil simulasi untuk memprediksi waktu pengeringan rosella *foam* hingga mencapai kadar air <12%. Hasil simulasi model matematis divalidasi dengan data percobaan untuk mengetahui keakuaratan model matematis.



**GAMBAR 3.1 Diagram Alir Percobaan**

**Tabel 3.1 Rancangan Variabel Percobaan**

Run	T (°C)	Laju alir (ms <sup>-1</sup> )	Respon (Hasil yang diukur)	Hasil
1	40	7	Profil kurva pengeringan, prediksi waktu pengeringan efektif.	Prediksi waktu pengeringan efektif
2	50			
3	60			
4	40	7		Simulasi model matematis
5	50			
6	60			
7	40	7		
8	50			
9	60			

Variabel kendali berupa :

1. RH Udara pengeringan <20%
2. Massa rosella *foam* 4 gr

### 3.2 Bahan dan Alat

#### 3.2.1 Bahan yang digunakan

Tabel 3.2 Bahan Percobaan pengeringan

Bahan	Suplier	Fungsi
	Solo - Jawa	Bahan baku
Rosella	Tengah	utama
Amidis	Semarang	Pelarut

#### 3.2.2 Alat yang digunakan

Tabel 3.3 Peralatan Percobaan pengeringan

Alat yang digunakan	Merk/Spesifikasi
Tray Dryer	
Temperature dan humidity water	KRISBOW KW06-561
Oven	MEMMERT 854 Schwabach
Anemometer	KRISBOW KW06-562

### 3.3 Prosedur Percobaan

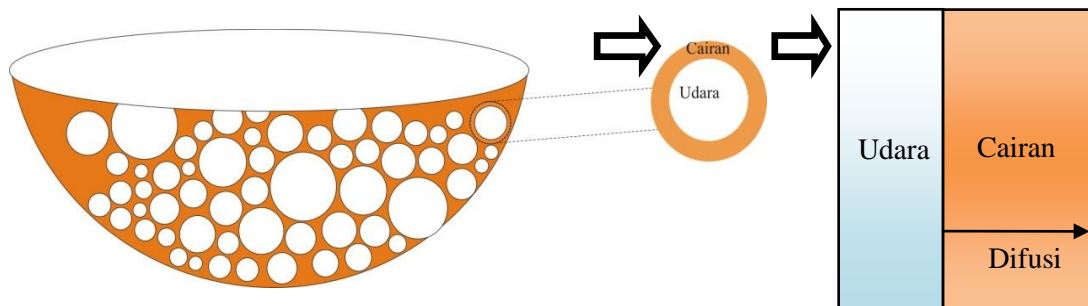
Prosedur pengeringan rosella

1. Rosella *foam* ditimbang sebanyak 4 gr
2. Suhu di tray drier diatur pada 40, 50, 60°C
3. Bukaan blower diatur pada  $7 \text{ ms}^{-1}$
4. Rosella dikeringkan pada tray drier selama 1,5 jam
5. Penimbangan massa rosella dilakukan setiap 10 menit serta diukur *relative kualitas produk humidity* dalam tray drier

### 3.4 Pengembangan Model Matematis

*Foam mat drying* pada Rosella mempunyai bentuk yang heterogen. Sehingga diperlukan asumsi yang cukup banyak dalam mengembangkan model matematisnya. Dimensi *foam mat drying* pada rosella diasumsikan mendekati bentuk bola, dimana distribusi massa dari cairan ke udara.

Model *Mass Transport* pada Rosella *Foam*



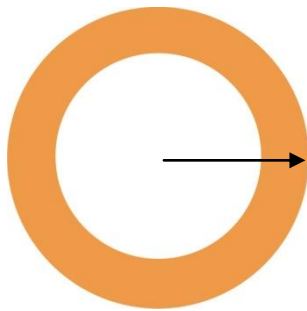
Gambar 3.2 Mekanisme transport massa satu arah lapisan Rosella *foam*

Pengembangan model matematis *foam mat drying* pada rosella, diantaranya :

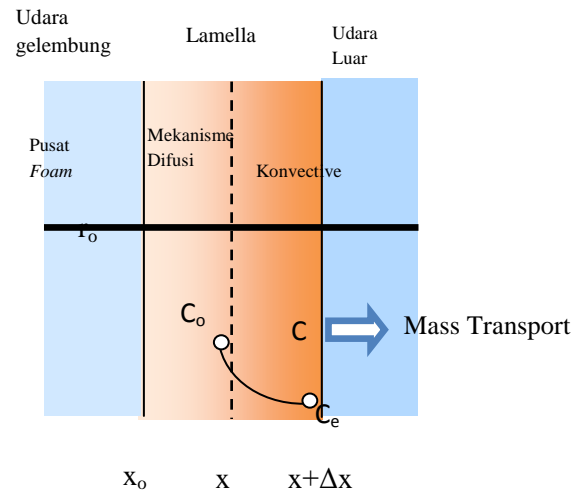
1. Model matematis satu dimensi *moisture transport* pada rosella *foam*

Udara panas dari luar menyebabkan air pada *lamella* (dinding gelembung) berpindah ke udara gelembung dan akhirnya teruapkan di udara bebas. Perpindahan sejumlah massa air merupakan kombinasi proses difusi dan adsorpsi yang menyebabkan penguapan *free water* teruapkan

seluruhnya. Perpindahan massa air pada lamella dipengaruhi oleh proses difusi.



Arah pergerakan massa air rosella *foam*



Mekanisme transport air dalam rosella *foam*

Berikut ini asumsi yang dibuat untuk menyusun persamaan matematis.

Asumsi yang digunakan :

1. Rosella *foam* berbentuk slab.
2. Perpindahan massa air pada lamella dalam rosella *foam* terjadi secara difusi.
3. Model difusi hukum Fick 2 digunakan untuk menggambarkan perpindahan massa.
4. Perpindahan massa pada *foam* yang paling luar terjadi secara konveksi.
5. *Transport moisture* (konsentrasi air dalam *foam*) dan distribusi suhu bergerak searah  $x$ .
6. Pada saat awal konsentrasi permukaan sepanjang lapisan ini seragam.
7. Kondisi pengeringan (humiditas udara, suhu udara dan kecepatan udara di sekeliling rosella *foam*) dianggap konstan dan merata.

Dari asumsi-asumsi diatas didapatkan model matematis sebagai berikut :

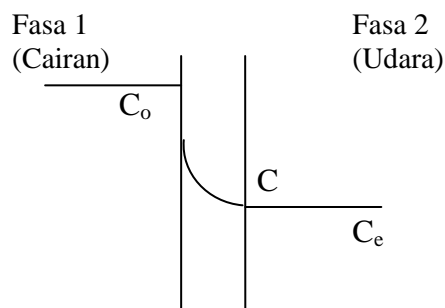
Difusi dari cairan ke udara menggunakan hukum fick yang berbentuk :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -D_e \frac{\partial^2 C}{\partial r^2}$$

Harga De digunakan untuk menghitung koefisien transfer massa pengeringan dengan rumus sherwood

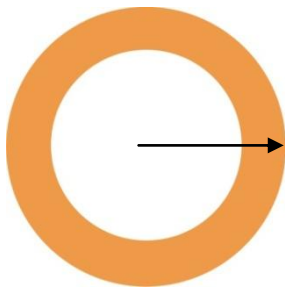
$$Sh = \frac{kL}{D_e}$$

Perpindahan massa antar fasa satu film pada batas fasa cair – gas jika terjadi di fasa 2 maka gradien konsentrasi dapat didekati seperti gambar berikut ini :



Dalam hal ini C setimbang dengan C<sub>0</sub> dapat didekati dengan hukum Henry:

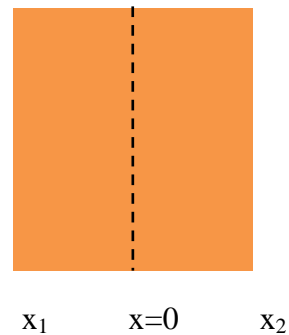
$$C = H \cdot C_0$$



Neraca massa

Laju input – laju output = laju accumulation

$$\left( -D_e (\text{luas}) \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right) \Big|_{x+\Delta x} - \left( -D_e (\text{luas}) \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right) \Big|_x = (\text{luas}) \Delta x \frac{\partial C}{\partial t}$$



$$\frac{\left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2}\right)\Big|_x - \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2}\right)\Big|_{x+\Delta x}}{\Delta x} = \frac{1}{D_e} \frac{\partial C}{\partial t}$$

Jika diambil limit  $\Delta x \rightarrow 0$ , maka diperoleh :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial C}{\partial x} \right) = \frac{1}{D_e} \frac{\partial C}{\partial t}$$

$$\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = \frac{1}{D_e} \frac{\partial C}{\partial t}$$

Dengan kondisi batas

$$C(X_1, t) = k_1(C - C_e)$$

$$C(X_2, t) = k_2(C - C_e)$$

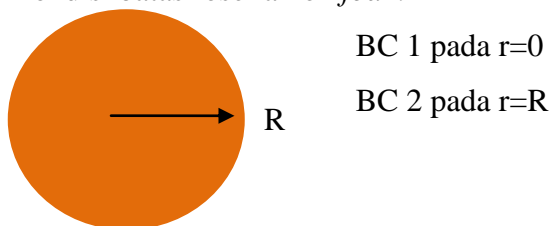
$$C\left(\frac{\int C \cdot dt}{\int dt}, 0\right) = \frac{dC}{dt} = 0$$

Kecepatan perpindahan massa uap air dari permukaan cairan untuk lapisan terluar, transfer massa dipengaruhi oleh proses konveksi :

$$\frac{dC}{dt} = k(C - C_e)$$

### Non Foam

- Kondisi batas rosella non foam



## 2. Validasi model

Validasi merupakan perbandingan data eksperimen dengan simulasi model matematis untuk mengetahui keakuratannya. Salah satu metode statistik yang dapat digunakan untuk memvalidasi model adalah metode chi-square (Menges et al, 2006).

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{\text{exp},i} - MR_{\text{pre},i})^2}{N-z}$$

Tabel 3.4 Tatanama

Singkatan	Keterangan
$\chi^2$	<i>The reduced chi square as the mean square of the deviations between the experimental</i>
$MR_{exp,i}$	<i>Moisture Ratio percobaan</i>
$MR_{pre,i}$	<i>Moisture Ratio prediksi</i>
N	Jumlah Observasi
z	Jumlah konstanta

Data percobaan hasil pengeringan *rosella foam* yang didapatkan meliputi konsentrasi *foam agent* yang mempunyai sifat fisik yang baik, penurunan *moisture* rata-rata pada *rosella foam* tiap satuan waktu pada berbagai suhu dan laju alir udara pengeringan. Percobaan dengan *tray dryer* skala laboratorium (terletak di Laboratorium Proses Teknik Kimia Universitas Diponegoro). Sedangkan model matematis digunakan untuk memprediksi waktu pengeringan efektif yang sesuai dengan kadar air standar yang diinginkan.

### 3.5 Pengolahan Data

Metode yang digunakan untuk menampilkan hasil percobaan dengan metode tabel dan grafik. Hasil yang diperoleh setiap percobaan adalah kadar air tiap waktu pengeringan, waktu pengeringan, suhu dan humiditas udara, hasil pengukuran warna dan kadar antosianin. Data yang didapatkan dari percobaan kemudian dihitung dengan persamaa-persamaan yang telah ditentukan. Hasil pengolahan data eksperimen didapatkan profil pengeringan sedangkan hasil simulasi model matematis didapatkan profil penurunan kadar air tiap satuan waktu.

## BAB IV

### PEMBAHASAN

Pada bagian ini menyajikan hasil simulasi numeris pengeringan rosella dengan *foam mat drying*. Pada awalnya menyusun model matematika dari fenomena perpindahan massa selama pengeringan dan kemudian disimulasikan menggunakan *Partial Differential Equation Parabolic Eliptic* (PDEPE) pada software MATLAB. Hasil percobaan yang telah dilakukan diverifikasi dengan simulasi numerik.

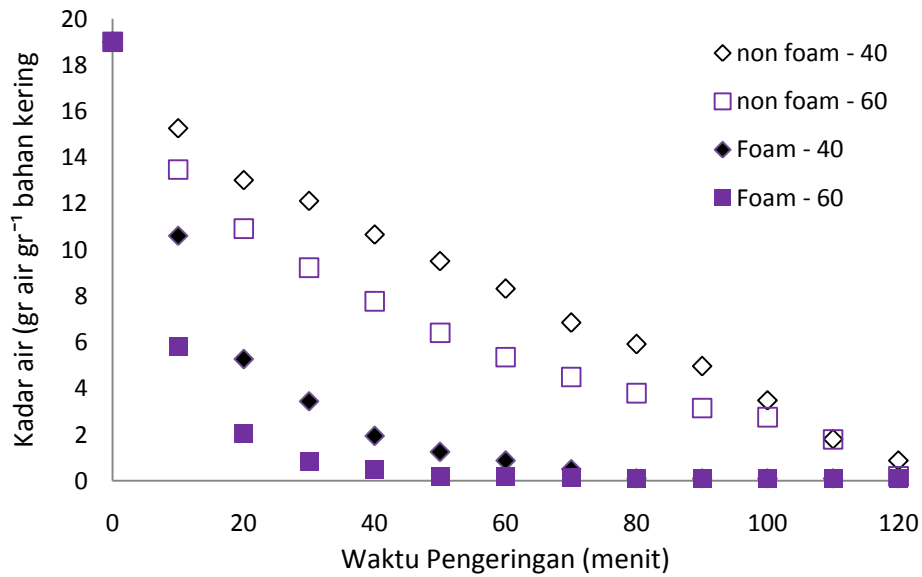
#### **4.1 Pengaruh suhu pada karakteristik Pengeringan Rosela *Foam* dan Tanpa Foam**

Pada gambar 4.1 bahwa proses pengeringan dilakukan pada suhu pengeringan 40-60°C, laju alir 7 ms<sup>-1</sup>, ketebalan 1mm (waktu sampling setiap 10 menit) menunjukkan bahwa saat suhu 40°C untuk mencapai kadar air 0.88 dengan metode non *foam* membutuhkan waktu pengeringan 120 menit sedangkan metode *foam* membutuhkan waktu pengeringan 60 menit sehingga waktu pengeringan dapat berkurang 60 menit. Jika suhu pengeringan dinaikkan lagi menjadi 60°C untuk mencapai kadar air 0.20 maka waktu pengeringan untuk non *foam* 120 menit sedangkan *foam* kurang dari 50 menit.

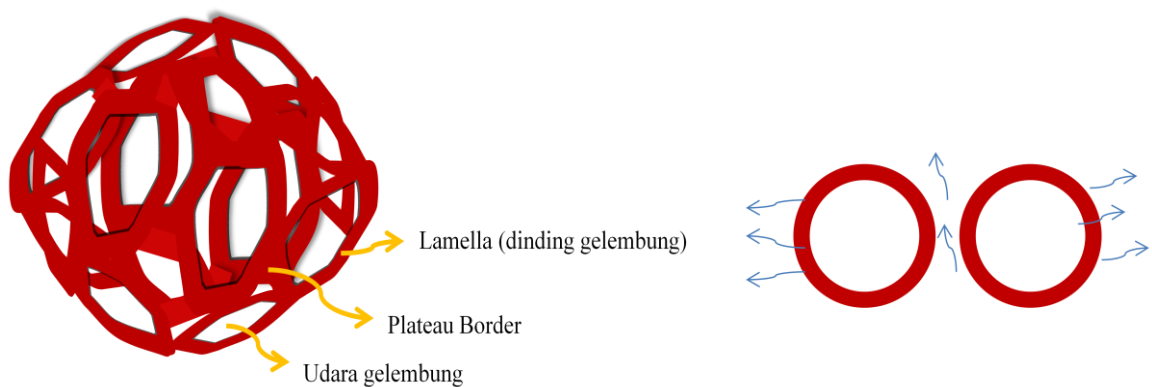
Hasil perbandingan proses pengeringan dengan *foam* dan tanpa *foam* pada gambar 4.1 dapat dilihat bahwa *foam mat drying* dapat mempercepat waktu pengeringan dengan peningkatan suhu. Semakin tinggi suhu pengeringan maka semakin besar pula transfer panas yang diterima permukaan rosela *foam* sehingga laju penguapan air akan meningkat. Peningkatan laju pengeringan disebabkan oleh penguapan air pada rosela *foam* sangat tinggi dibandingkan tanpa *foam* karena air di dalam rosela *foam* berbentuk lapis tipis (Kandasamy *et*

al, 2012). Struktur fisik tanpa *foam* yang kental dapat memperlambat penurunan penguapan air (Rajkumar *et al*, 2007).

Proses pengeringan ini terjadi pada *falling rate period*, yang menunjukkan difusi sebagai mekanisme fisik untuk mengatur pergerakan air melalui struktur fisik (McMinn dan Magee, 1999).



Gambar 4.1 Perbandingan kadar air terhadap waktu untuk pengeringan *foam* dan tanpa *foam* Struktur



Gambar 4.2 Struktur Rosela *Foam*

Struktur busa ditunjukkan pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa *Foam* memiliki 3 struktur yaitu *lamella* (dinding tipis gelembung), *plateau border* dan udara. Kekuatan mekanik *lamella* menentukan stabilitas busa. Jika cairan kental digunakan untuk pembuatan busa, biasanya menghasilkan busa lebih stabil, hal ini disebabkan meningkatnya elastisitas *lamella*. (Wilde and Clark, 1996).

Metode *foam mat drying* merupakan salah satu cara untuk mempercepat proses pengeringan yang menggunakan *foam agent* putih telur dan *foam stabilizer* gliserol mono stearat. *Foaming agent* berfungsi membantu pembentukan pori dengan meningkatkan luas permukaan sehingga waktu pengeringan lebih cepat. Sedangkan gliserol mono stearat memberikan efek menstabilkan gelembung selama proses pengeringan sehingga kecepatan penguapan air tetap tinggi. Oleh karena itu metode *foam* memiliki waktu pengeringan yang lebih efektif dibandingkan metode tanpa *foam*.

Laju pengeringan dipengaruhi oleh penguapan air dari permukaan bahan ke udara panas, seperti yang ditunjukkan bilangan berdimensi perpindahan massa (tabel 4.1). Pada tabel 4.1 menunjukkan bahwa koefisien perpindahan massa pada *foam* lebih besar dibandingkan non *foam* yang bergantung pada suhu udara. Difusivitas efektif pada suhu 40-50°C berkisar antara 1.670E-11 dan 1.183E-10 m<sup>2</sup>/s. Difusivitas efektif pada *foam* dan non *foam* rosella mengalami peningkatan dengan meningkatnya suhu pengeringan udara. Lantaran busa memiliki porositas tinggi ( $\epsilon = 81,9\%$ ), maka difusi *moisture* ke permukaan pada *foam* lebih besar dibandingkan tanpa *foam* (Talita et al, 2015). Oleh karena itu peningkatan difusivitas dipengaruhi temperatur, laju pengeringan juga meningkat jika temperatur meningkat.

Tabel 4.1 Koefisien Perpindahan dan bilangan berdimensi pada perpindahan massa.

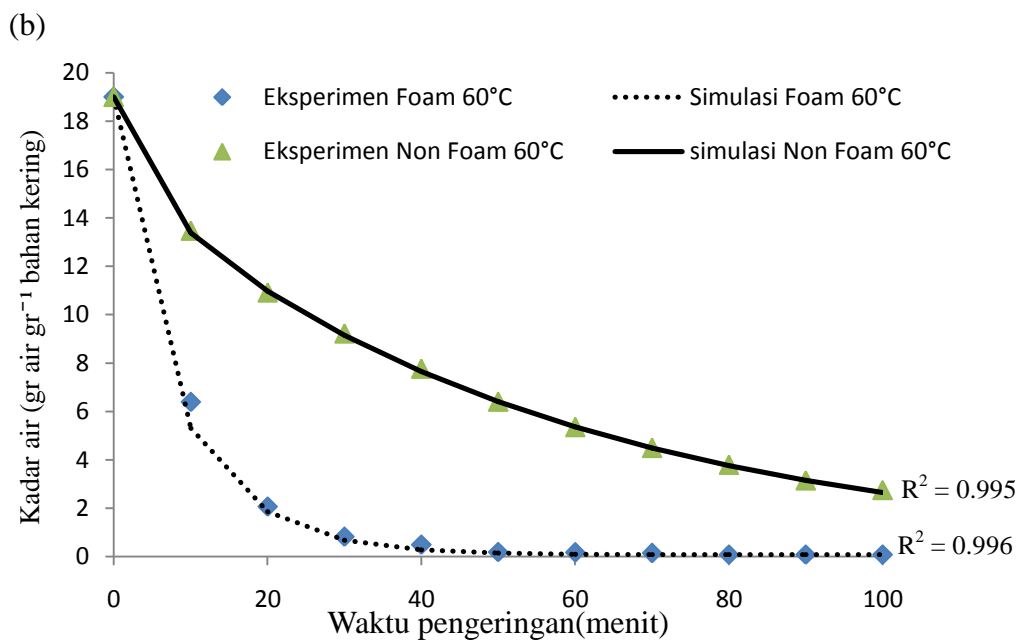
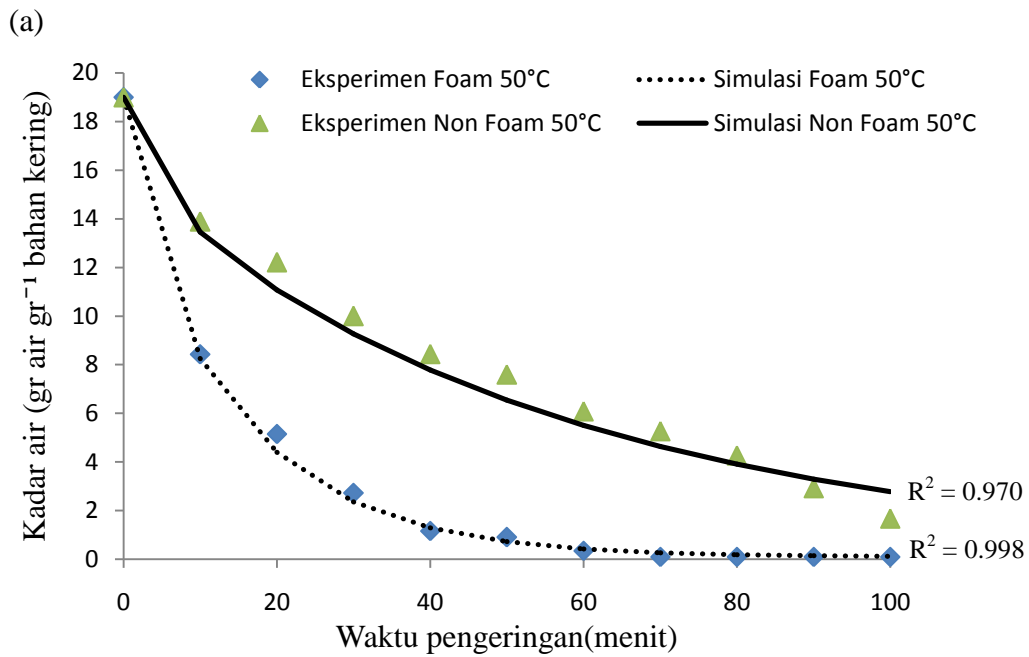
T (oC)	D <sub>eff</sub> (m <sup>2</sup> /s)		k	
	Non Foam	Foam	Non Foam	Foam
40	1.670E-11	8.913E-11	1.841	1.867
50	2.254E-11	1.014E-10	1.877	1.888
60	3.005E-11	1.183E-10	1.935	1.964
Persamaan Linier	D <sub>eff</sub> = 7.10 <sup>-13</sup> T - 10 <sup>-11</sup>	D <sub>eff</sub> = 10 <sup>-12</sup> T + 4.8.10 <sup>-11</sup>	k = 0,005T + 1,650	k = 0,0051T + 1,664

## 4.2 Model Pengeringan dan validasi Model

Model matematika rosella yang disimulasikan menggunakan PDEPE pada software matlab. Hasil simulasi kemudian diplot konsentrasi dengan waktu pengeringan ditunjukkan pada gambar 4.3.

Pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa hasil percobaan dan simulasi model *foam* dan tanpa *foam* dengan kondisi pengeringan pada tebal 1 mm, waktu 100 menit sekon, variasi suhu 50°C hingga 60°C. Profil distribusi massa pada *foam* mengalami penurunan yang signifikan. Pada suhu 50°C kadar air rata-rata awal 19 gr air.gr<sup>-1</sup> bahan kering. hingga kadar air rata-rata akhir 4.089 gr air.gr<sup>-1</sup> bahan kering, sehingga penurunan kadar air 18.901 gr air.gr<sup>-1</sup> bahan kering. Namun jika pengeringan dilakukan pada suhu udara pengeringan yang lebih tinggi, yaitu 60°C maka jumlah uap air yang teruapkan sebesar 18.916 gr air.gr<sup>-1</sup> bahan kering sedangkan tanpa *foam* mampu menguapkan 17.141 gr air.gr<sup>-1</sup> bahan kering.

Peningkatan waktu pengeringan dapat menurunkan konsentrasi air pada non *foam*. Namun pada waktu 100 menit sekon rosella non *foam* belum mencapai *equilibrium moisture content*. Hal ini disebabkan konsentrasi didalam rosella lebih tinggi dibandingkan konsentrasi dipermukaan yang kontak langsung udara panas.



Gambar 4.3 Perbandingan antara data percobaan dan simulasi kadar air rata-rata pada berbagai suhu 50°C (a) dan 60°C(b)

Pada gambar 4.3 dapat dilihat perbandingan data percobaan dan simulasi kadar air rata-rata pada berbagai suhu metode pengeringan dengan *foam* dan *non foam*. Pengeringan *non foam* pada suhu 50°C dengan waktu pengeringan 100 menit belum mencapai *equilibrium moisture content* sedangkan pengeringan dengan *foam* dalam waktu 70 menit sudah mencapai *equilibrium moisture content* dengan jumlah air yang teruapkan 0.10 gr air.gr<sup>-1</sup> bahan kering.

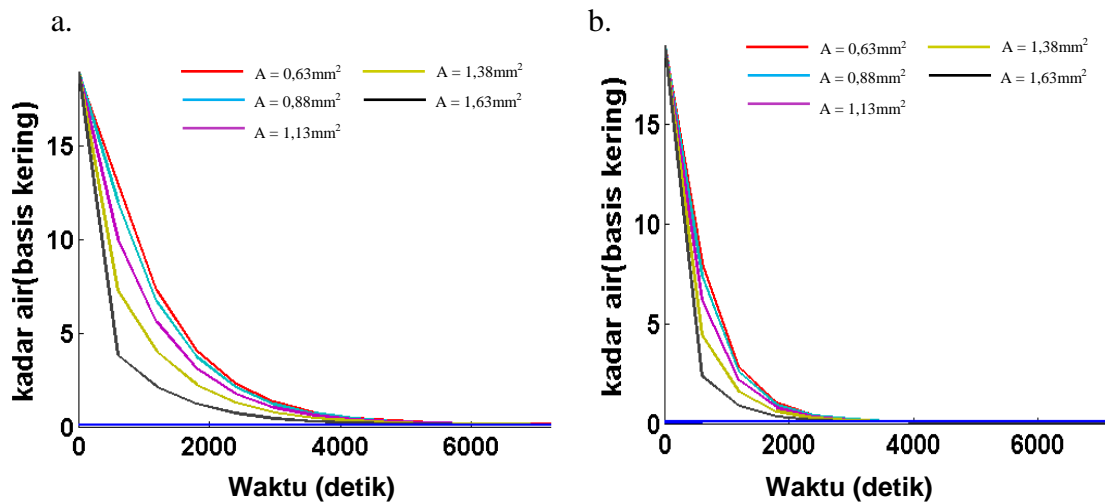
Hasil simulasi matlab yang berupa grafik antara konsentrasi dengan waktu pengeringan kemudian di validasi dengan data percobaan untuk mengetahui keakuratan model. Pada tabel 4.2 menunjukkan untuk metode rosella *non foam*, hasil simulasi yang memiliki R<sup>2</sup> (koefisien korelasi) tertinggi diperoleh pada suhu 60°C yaitu 0,996. Sedangkan untuk metode rosella *foam*, R<sup>2</sup> (koefisien korelasi) tertinggi diperoleh pada suhu 50°C yaitu 0,998. R<sup>2</sup> (koefisien korelasi) adalah model *fitting* untuk mengetahui keakuratan model, keakuratan yang signifikan memiliki nilai R<sup>2</sup> lebih dari 90% (Eren and Kaymak, 2007).

Tabel 4.2 R-Square (R<sup>2</sup>) dari simulasi kadar air rata-rata

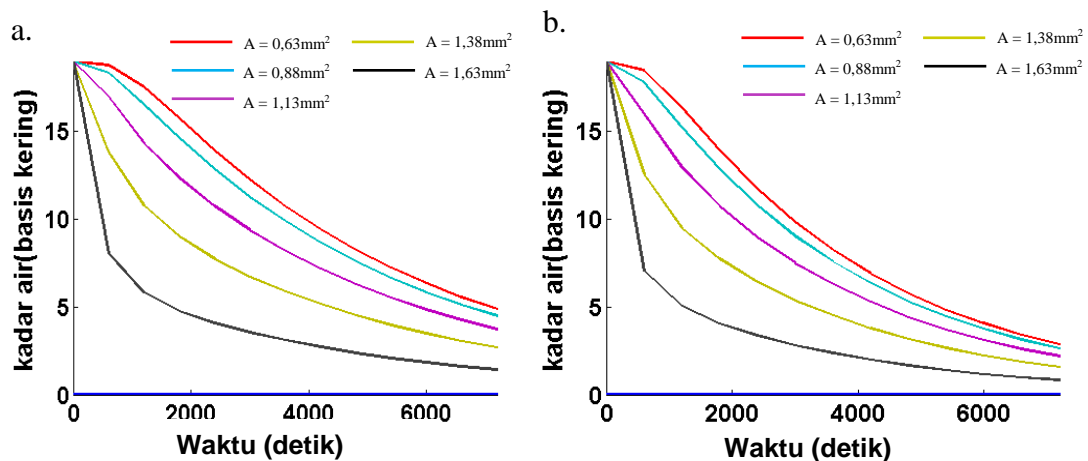
Bentuk Bahan	Kondisi Proses		Kadar air rata-rata		R <sup>2</sup>
	Tebal (mm)	Suhu Pengeringan	Percobaan	Simulasi	
Non Foam	1	50	7.116	7.049	0.970
		60	6.797	6.927	0.995
Foam	1	50	2.950	2.881	0.998
		60	2.286	2.144	0.996

### 4.3 Profil Distribusi massa pada *foam* dan *non foam*

Profil distribusi konsentrasi air pada lapisan ekstrak bunga rosela selama proses pengeringan diekspresikan dalam model dinamika dua dimensi. Model ini kemudian disimulasikan menggunakan Matlab dengan hasil seperti pada Gambar 4.4 (profil konsentrasi air pada pengeringan dengan gelembung) dan Gambar 4.5 (profil konsentrasi air pada pengeringan tanpa gelembung). Kedua gambar tersebut menunjukkan distribusi air pada setiap koordinat, dimana lapisan terluar memiliki konsentrasi yang paling rendah. Pada pengeringan dengan gelembung terdapat dua lapisan/permukaan kontak transfer masa air, sehingga proses lebih cepat. Adanya 2 permukaan ini, juga menyebabkan dinding ekstrak menjadi lebih tipis, sehingga air akan lebih cepat terdifusi ke bagian permukaan.



Gambar 4.4 Profil distribusi air dengan metode pengeringan gelembung pada suhu 50 (a) dan 60°C (b) dengan tebal 1mm, waktu 2 jam



Gambar 4.5 Profil distribusi air dengan metode pengeringan tanpa gelembung pada suhu 50 (a) dan 60°C (b) dengan tebal 1mm waktu 2 jam

Profil distribusi perpindahan massa selama pengeringan *foam* dan *non foam* yang disimulasi dengan PDEPE pada Matlab. Perbandingan antara hasil simulasi untuk profil transfer massa pada suhu 50-60°C dan tebal yang sama (1mm).

Pada gambar 4.4 menunjukkan hasil simulasi distribusi perubahan kadar air terhadap waktu pengeringan *rosella foam* dengan suhu 50°C. Konsentrasi *rosella foam* yang paling tinggi berada di *lamella* (dinding gelembung), karena air mengalir di *lamella*. *Foam* yang berada dipermukaan berkontak langsung dengan udara sehingga terjadi proses konveksi. *Foam* yang berada dalam wadah berkontak langsung dengan tray dryer terjadi proses konduksi karena adanya aliran panas ke wadah *foam*. Pada awal proses pengeringan, konsentrasi *rosella foam* masih tinggi, namun bertambahnya waktu pengeringan maka kadar air mengalami penurunan yang ditunjukkan perubahan gradasi warna pada gambar 4.4.

Pada gambar 4.5 menunjukkan bahwa konsentrasi *rosella non foam* yang paling tinggi berada pada pusatnya. *Rosella* yang berada dipermukaan berkontak langsung dengan udara pengeringan memiliki konsentrasi yang rendah. Seiring bertambahnya waktu pengeringan maka kadar air mengalami penurunan yang ditunjukkan perubahan gradasi warna.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Penelitian ini mempelajari pengaruh suhu terhadap waktu pengeringan pada ekstrak rosela dengan gelembung dan tanpa gelembung. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan suhu pengeringan meningkatkan laju difusivitas dengan korelasi linier. Di samping itu, waktu pengeringan waktu ekstrak rosela *foam* 2- 3 kali lebih cepat daripada tanpa *foam* karena *foam* mempunyai struktur berpori yang dapat meningkatkan luas permukaan.

Model matematika juga telah dikembangkan untuk menggambarkan fenomena perpindahan massa. Model telah divalidasi dengan data eksperimen. Hasil model simulasi mampu menggambarkan profil distribusi perpindahan massa secara akurat.

#### **5.2 Saran**

Penelitian ini mempelajari fenomena perpindahan massa rosela dengan metode gelembung dan tanpa gelembung. Hasil simulasi model pengeringan dapat digunakan untuk membuat rancang bangun sistem pengering rosela yang efektif dan efisien. Desain sistem pengering rosela dapat dimanfaatkan oleh berbagai pihak terutama industri makanan yang berbahan dasar rosela agar menghasilkan produk yang lebih berkualitas.

## BAB VI

### RINGKASAN

Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) merupakan tanaman dari famili *Malvaceae* yang sering digunakan sebagai pewarna minuman herbal, puding dan kue. Rosela mengandung antioksidan yang tinggi seperti antosianin. Aktivitas antioksidan pada rosela bermanfaat bagi kesehatan. Kandungan antosianin rosella mencapai 1,5 g/100 g berat kering. Pigmen antosianin menciptakan warna merah alami dan rasa unik. Jumlah ini berpotensi sebagai sumber antosianin. Pada penelitian, rosela dikeringkan dengan metode *foam mat drying* dengan membandingkan metode pengeringan konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh suhu terhadap laju difusivitas air, dan waktu pengeringan ekstrak bunga rosela dengan metode gelembung. Untuk mencapai tujuan tersebut penelitian dilakukan dengan dua tahap yaitu: pengeringan ekstrak bunga rosela skala laboratorium, dan pengembangan model dinamika untuk menghitung laju difusivitas air di dalam ekstrak. Pada tahap kedua melakukan eksperimen variabel suhu 40, 50, 60°C dan laju alir udara pengeringan 7 ms<sup>-1</sup>. Dari percobaan dilakukan pengambilan data berupa penurunan massa tiap satuan waktu pada saat proses pengeringan.

Data hasil pengeringan digunakan untuk menghitung nilai penurunan kadar air dalam rosella, nilai difusivitas, koefisien perpindahan massa pengeringan rosella untuk berbagai konsentrasi *foam agent*, suhu dan laju alir proses pengeringan. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan suhu pengeringan meningkatkan laju difusivitas dengan korelasi linier. Di samping itu, waktu pengeringan waktu ekstrak rosela *foam* 2- 3 kali lebih cepat daripada tanpa *foam* karena *foam* mempunyai struktur berpori yang dapat meningkatkan luas permukaan.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Caglar, I.T. Togrul, H. Togrul, (2009). Moisture and thermal diffusivity of seedless grape under infrared drying, *Food Bioprod. Process.* 87. 292-30.
- Alleoni, A. and Antunes, A. (2004). "Albumen Foam Stability and S-Ovalbumin Contents in Eggs Coated with Whey Protein Concentrate." *Brazilian Journal of Poultry Science.* 6(2): 105 - 110.
- Anne-Laure F, Anniina S. (2014). Effect of Particles and aggregated structure on the foam stability and aging. *Journal Comptes Rendus.* France
- Bahaeldeen Babiker Mohamed, Abdelatif Ahmed Sulaiman and Abdelhafiz Adam Dahab. (2012). Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in Sudan, Cultivation and Their Uses. *Bull. Environ. Pharmacol. Life Sci.*; Volume 1
- Beaudry C, Raghavan GSV, Ratti C, Rennie TJ (2004) Effect of four drying methods on the quality of osmotically dehydrated cranberries. *Drying Technol* 22:521–539
- Birchal, V.S. ; Passos, M.L.; Wildhagen, G.R.S.; Mujumdar, A.S. (2005) Effect of spray-dryer operating variables on the whole milk powder quality. *Drying Technology*, 23(3), 611-6362.
- C. Ratti, T. Kudra. (2006). Drying of foamed biological materials: opportunities and challenges, *Drying Technol.* 24. 1101–1108.
- Chen, C.-C., Chou, F.-P., Ho, Y.-C., Lin, W.-L., Wang, C.-P., Kao, E.-S., Huang, A.-C., Wang, C.-J., (2004). Inhibitory effects of *Hibiscus sabdariffa* L extract on low- density lipoprotein oxidation and anti-hyperlipidemia in fructose-fed and cholesterol-fed rats. *Journal of Science of Food and Agriculture* 84,.
- Chutintrasri, B., & Noomhorm, A. (2007). Color degradation kinetics of pineapple puree during thermal processing. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 40, 300–306.
- CIE. (1986). Colorimetry (2nd ed.). *Publication CIE* no. 15.2, Vienna, Austria.
- D.M. Kadam, R.T. Patil, P. Kaushik, P. (2010). Foam mat drying of fruit and vegetable products, in: S.V. Jangam, C.L. Law, A.S. Mujumdar (Eds.), *Drying of Foods, Vegetables and Fruits*, 1, *Central Institute of Post-Harvest Engineering and Technology*, Ludhiana, pp. 113–124.
- Daniel Díaz-Bander, Adriana Villanueva-Carvajal, Octavio Dublan-García, Baciliza Quintero-Salazar, Aurelio Dominguez-Lopez. (2015). Assessing release kinetics and dissolution of spray-dried Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract encapsulated with different carrier agents. *LWT - Food Science and Technology*
- Defraeye, T. (2014). Advance Computational Modelling for Drying Processes – A Review. *Applied Energy.* 131:323-344
- Djaeni, M., Prasetyaningrum, A., Sasongko, S. B., Widayat, W., Hii, C. L.. (2013). Application of foam-mat drying with egg white for carrageenan:

- drying rate and product quality aspects. *Association of Food Scientists & Technologists*
- Djaeni, M., Prasetyaningrum, Anggoro, D., Santoso, G. W., Agustina, D., Asiah, N., Hii, C. L.. (2014). Enhancing The Food Product Drying With Air Dehumidified by Zeolite. *Advance Journal of Food Science & Technology*. 6(7):833-838
- Domínguez-López, A., Remondetto, G. E., & Salvador, G. (2008). Thermal kinetic degradation of anthocyanins in a roselle (*Hibiscus sabdariffa* L. cv. 'Criollo') infusion. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 322–325.
- Doymaz, I. (2007). Air-drying characteristics of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 78, 1291–1297.
- E.K. Akpınar, Y. Bicer, F. Cetinkaya. (2006) Modelling of thin layer drying of parsley leaves in a convective dryer and under open sun, *J. Food Eng.* 75.308–315.
- Encyclopaedia Britannica (2007). "Eggs". Encyclopaedia Britannica. 2007. ultimate reference suite, Chicago
- Eren, I., and Kaymak-Ertekin, F. (2007). Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 79, 344e352.
- Falade, K.O.; Adeyanju, K.I.; Uzo-Peters, P.I. (2003) Foam-mat drying of cowpea (*Vigna unguiculata*) using glyceryl monostearate and egg albumin as foaming agents. *European Food Research and Technology*, V217 (6), 486–491.
- Foegeding, E. A., Luck, P. J. and Davis, J. P. (2006). "Factors determining the physical properties of protein foams." *Food Hydrocolloids*. 20(2-3): 284-292.
- Froning, G.W. 1998. Recent advances in egg products research and development. *In Egg processing workshop*. (Riverside and Modesto ed.). University of California, USA.
- Fuleki, T., & Francis, F. J. (1968). Quantitative methods for anthocyanins. Determination of total anthocyanin and degradation index for cranberry juice. *Journal of Food Science*, 33, 78–83.
- Gonnet, J.-F. (1998). Colour effects of co-pigmentation of anthocyanins revisited—1. A colorimetric definition using the CIELAB scale. *Food Chemistry*, 63, 409–415.
- Gonnet, J.-F. (1999). Colour effects of co-pigmentation of anthocyanins revisited—2. A colorimetric look at the solutions of cyanin copigmented by rutin using the CIELAB scale. *Food Chemistry*, 66, 387–394.
- Gonnet, J.-F. (2001). Colour effects of co-pigmentation of anthocyanins revisited—3. A further description using CIELAB differences and assessment of matched colours using the CMC model. *Food Chemistry*, 75, 473–485.

- Gonzalez-Palomares S, Estarron-Espinosa M, Gomez-Leyva JF and Andrade-Gonzalez I, (2009). Effect of the temperature on the spray drying of roselle extracts (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Plant Foods Hum Nutr*
- González-Stuart, A. (2011). Multifaceted therapeutic value of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L. – Malvaceae). *Springer Science+Business Media, LLC. Nutrition and Health*. pp 215-226
- Gradinaru, G., Biliaderis, C. G., Kallithraka, S., Kefalas, P., & Garcia-Viguera, C. (2003). Thermal stability of *Hibiscus sabdariffa* L. anthocyanins in solution and in solid state: Effects of copigmentation and glass transition. *Food Chemistry*, 83, 423–436.
- H.O. Menges, C. Ertekin, (2006). Mathematical modeling of thin layer drying of golden apples, *J. Food Eng.* 77. 119–125.
- Herunsale, A., et al. (2006). Hypocholesterolemic and antioxidant effects of aqueous extracts from the dried calyx of *Hibiscus sabdariffa* L. in hypercholesterolemic rats. *Journal of Ethno-pharmacology*, 103,
- Jorge Meza-Jiménez, Juan J. Ramírez-Ruiz, Guadalupe Luna-Solano and Isaac Andrade- González. (2014). Low-Cost Solar Thermodynamic Drying System for the Dehydration of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Drying Technology: An International Journal*. Taylor and Francis
- K. Sacilik, R. Keskin, A.K. Elicin, (2006). Mathematical modeling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato, *J. Food Eng.* 73. 231–238.
- Kandasamy, P., Varadharaju, N., Kalemullah, S., Moitra, R., (2012). Production of papaya powder under foam-mat drying using methyl cellulose as foaming agent. *Asian J. Food Agro-Ind.* 5 (5), 374–387.
- Karim, A.A., Wai, C.C., (1999). Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) puree. Stability and air drying characteristics. *Food Chem.* 64, 337–343.
- Kiattisak Duangmal, Busararat Saicheua, Suchitra Sueeprasan, 2007. Colour evaluation of freeze-dried roselle extract as a natural food colorant in a model system of a drink. *Swiss Society of Food Science and Technology. Published by Elsevier Ltd*
- Kinsella, J. E. (1981). Functional properties of proteins: possible relationships between structure and function in foams, *Food Chem.*, 7: 273.
- Kudra T, Ratti C. (2006). Foam-mat drying: energy and cost analyses. *Can Biosyst Eng.* 48:3.
- Leyva Daniel D, Barragán Huerta BE, Anaya Sosa I and Vizcarra Mendoza MG, (2012). Effect of fixed bed drying on the retention of phenolic compounds, anthocyanins and antioxidant activity of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Ind Crops Prod* 40:268–276.
- Leyva Daniel DE, Barragán Huerta BE, VizcarraMendozaMGand Anaya Sosa I, (2013). Effect of drying conditions on the retention of phenolic compounds, anthocyanins and antioxidant activity of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) added to yogurt. *Int J Food Sci Technol*

- Li-Chan, E. C.Y., W.D. Powrie, and S. Nakai. 1995. The chemistry of eggs and egg products. In ``Egg Science and Technology. (W.J.S.O.J. Cotterill, ed). *Food products Press*. An Imprint of The Hawarth Press, Inc. New York. London.
- Lin, H. H., Chen, J. H., & Wang, C. J. (2011). Chemopreventive properties and molecular mechanisms of the bioactive compounds in *Hibiscus sabdariffa* Linne. *Current Medicinal Chemistry*.
- Lipman, A. L. (1996). Current regulations for certification exempt color additives in the USA. In *Proceedings of the second international symposium on natural colorants INF/COL II*. Acapulco, Mexico: The Hereld Orgainzation, S.I.C. Publishing
- Mardiah, Fransisca Rungkat Zakaria, Endang Prangdimurti, Rizal Damanik. (2015). Perubahan kandungan kimia sari rosela merah dan ungu (*hibiscus sabdariffa* l.) hasil pengeringan menggunakan *cabinet dryer* dan *fluidized bed dryer*. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 25 (1):1-7
- Miquelim JN, Lannes SCS, Mezzenga R (2010) pH Influence on the stability of foams with protein-polysaccharide complexes at their interface. *Food Hydrocolloid*. 24:398-405
- Mohd-Esa, N., Hern, F. S., Ismail, A., & Yee, C. L. (2010). Antioxidant activity in different parts of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extracts and potential exploitation of the seeds. *Journal Food Chemistry*, 122(4), 1055–1060.
- Mujumdar, A.S., (2008), *Guide to Industrial Drying: Principles, Equipments & New Develop-ments*, 3rd Ed; Three S Colors Publications, India.
- Mujumdar. (2010). Drying of Foods, Vegetables and Fruits. Vol 1, editor. Jangam, S.V., Law, C.L. and Mujumdar, A.S., ISBN - 978-981-08-6759-1, *Published in Singapore*, pp. 111-124.
- Murray, B.S. (2002). Interfacial rheology of food emulsifiers and proteins. *Current Opinion in Colloid and Interface Science.*, 7 (5–6), 426–431.
- Narindra Raharitsifa, Diego B. Genovese, and Cristina Ratti. (2006). Characterization of Apple Juice Foams for Foam-mat Drying Prepared with Egg White Protein and Methylcellulose. *Journal of Food Science*. Vol. 71, Nr. 3,
- Nnam, N. M., & Onyeke, N. G. (2003). Chemical composition of two varieties of sorrel (*Hibiscus sabdariffa* L.), calyces and the drinks made from them. *Plant Foods for Human Nutrition*, 58, 1e7.
- Pakowski, Z. Dan Mujumdar, A.S. (2006). Basic Process Calculations and Simulations In Drying. Handbook Of Industrial Drying, 3 Rd Edition. Edited by CRC Taylor & Francis Group Press.
- Prof. P. Walstra.(1989). Department of Food Science, Wageningen Agricultural University, De Dreijen 12/6703 BC, Wageningen, Netherlands
- Pugh, R. J. (2001). Foams and Foaming. Handbook of Applied Surface and Colloid Chemistry. K. Holmberg, John Wiley & Sons, Ltd: 23 - 43.

- Purdon, A. D. (1980). The temperature dependence of surface tension and critical micelle concentration of egg lysolecithin, *Colloid Polym. Sci.*, 258: 1062.
- Raharitsifa, N., Genovese, D.B., Ratti, C., (2006). Characterization of apple juice foams for foam-mat drying prepared with egg white protein and methylcellulose. *J. Food Sci.* 71 (3), E142–E151.
- Rajkumar, P., Kailappan, R., Viswanathan, R., Raghavan, G.S.V., (2007). Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. *J. Food Eng.* 79, 1452–1459.
- Ratiya Thuwapanichayanan , Somkiat Prachayawarakorn , Somchart Soponronnarit. (2012). Effects of foaming agents and foam density on drying characteristics and textural property of banana foams. *LWT - Food Science and Technology*
- Ratiya Thuwapanichayanan, Somkiat Prachayawarakorn, and Somchart Soponronnarit. (2008). Modeling of Diffusion with Shrinkage and Quality Investigation of Banana Foam Mat Drying. *Drying Technology*, 26: 1326–1333,
- Robin A. Wilson, Dattatreya M. Kadam\*, Sonia Chadha , Monika Sharma. 2012. Foam Mat Drying Characteristics of Mango Pulp. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*, 2(4): 63-69
- S. A. Ambekar, S. V. Gokhale, and S. S. Lele. (2013). Process Optimization for Foam Mat-Tray Drying of Passiflora edulis Flavicarpa Pulp and Characterization of the Dried Powder. *International Journal of Food Engineering*. 9(4): 433–443
- Salvador Gonzalez-Palomares, Mirna Estarrón-Espinosa, Juan Florencio Gómez-Leyva & Isaac Andrade-González. (2008). Effect of the Temperature on the Spray Drying of Roselle Extracts (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Springer Science and Business Media*
- Sandopu Sravan Kumar, Prabhakaran Manoj, Nandini P Shetty and Parvatam Giridhar. (2014) Effect of different drying methods on chlorophyll, ascorbic acid and antioxidant compounds retention of leaves of *Hibiscus sabdariffa* L. *Published online in Wiley Online Library: (wileyonlinelibrary.com) DOI 10.1002/jsfa.6879*
- Setyoprato, P. (2012). Model Matematik Pengeringan Lapis Tipis Wortel. *Jurnal Teknik Kimia*. 6(2): 54-59
- Soekarto, S. T. 1990. Dasar-dasar Pengawasan dan Standardisasi Mutu Pangan. *PAU Pangan dan Gizi*, IPB, Bogor.
- T. Gunhan, V. Demir, E. Hancioglu, A. Hepbasli, (2005). Mathematical modeling of drying of bay leaves, *Energy Convers. Manage.* 46. 1667–1679.
- Talita, S.F, Camila A.P, Luciana de S.N.E, Maria L.M. 2015. Foam mat drying of yacon juice: Experimental analysis and computer Simulation. *Journal of Food Engineering* 158.48–57

- Tsai, P. J., McIntosh, J., Pearce, P., Camden, B., & Jordan, B. T. (2002). Anthocyanin and antioxidant capacity in roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract. *Food Research International*, 35, 351–356.
- V. Hirunpanich, A. Utaipat, N.P. Morales, N. Bunyapraphatsara, H. Sato, A. Herunsalee, *et al.* Antioxidant effects of aqueous extracts from dried calyx of *Hibiscus sabdariffa* Linn. (Roselle) in vitro using rat low-density lipoprotein (LDL). *Biological & Pharmaceutical Bulletin*, 28 (3) (2005), pp. 481–484
- Vijayavenkataraman, S., Iniyan, S. Dan Goic, R. 2012. A Review of Solar Drying Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), pp 2652-2670
- Walstra P (2003) Physical Chemistry of Food. New York: *Marcel Dekker Inc.*
- Wang, M. L., Morris, B., Tonnis, B., Davis, J., & Pederson, G. A. (2012). Assessment of oil content and fatty acid composition variability in two economically important *Hibiscus* species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(26), 6620–6626.
- Wilde, P.J.; Clark, D.C. Foam formation and stability. (1996). Methods of testing protein functionality. G.M. Hall, *Blackie Academic and Professional*, 111–152
- Williamson, E. M., Driver, S. B., & Baxter, K. (2013). Stockley's herbal medicines interactions: a guide to the interactions of herbal medicines, dietary supplements and nutraceuticals with conventional medicines. London: *Pharmaceutical Press*.
- Wong, P. K., Yusof, S., Ghazali, H. M., & Man, Y. B. C. (2002). Physico-chemical characteristics of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of Nutrition and Food Science*, 32, 68e73.
- Wrolstad, R. E. (2000). Anthocyanins. In G. J. Lauro, & F. J. Francis (Eds.), Natural food colorants: *Science and technology*. New York: Marcel Dekker.

## Lampiran A – Data Pengukuran dan Perhitungan

### 1. Bahan Baku

#### a. Kadar air Putih Telur

Massa cawan kosong	= 5,677 gr
Massa cawan + Putih Telur	= 14,462 gr
Massa Putih Telur yang akan dikeringkan	= 8,785 gr
Massa cawan + Telur akhir	= 12,554gr
Massa padatan kering	= 1,2 gr

$$X(\text{basis basah}) = \frac{m_{\text{ekstrak basah}} - m_{\text{ekstrak kering}}}{m_{\text{ekstrak basah}}}$$

$$X(\text{basis basah}) = \frac{8,785 - 1,2}{8,785} \times 100\% = 0,8634 \%$$

#### b. Kadar Air Glycerol Monostearat

Massa cawan kosong	= 5,697 gr
Massa cawan + Glycerol Monostearat	= 6,705 gr
Massa Telur yang akan dikeringkan	= 1,008 gr
Massa cawan + Glycerol Monostearat akhir	= 11,425gr
Massa padatan kering	= 0,031 gr

$$X(\text{basis basah}) = \frac{1,008 - 0,031}{1,008} \times 100\% = 0,9625 \%$$

### 2. Ekstraksi Rosela

#### a. Densitas Ekstrak Rosela

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{26,45 \text{ gr}}{25 \text{ ml}} = 1,058 \text{ gr/ml}$$

#### b. Kadar air Ekstrak Rosela

Massa cawan kosong	= 5,809 gr
Massa cawan + Ekstrak Rosela	= 12,422 gr
Massa Ekstrak Rosela yang akan dikeringkan	= 6,613 gr
Massa cawan + Ekstrak Rosela akhir	= 6,146 gr
Massa padatan kering	= 0,337 gr
Massa air yang teruapkan	= 6,276 gr

$$X(\text{basis basah}) = \frac{6,613 - 0,337}{6,613} \times 100\% = 0,9490 \%$$

$$X(\text{basis kering}) = \frac{6,613}{0,337} = 18,6231$$

### 3. Penyeragaman Kadar Air

Kadar air semua sampel diseragamkan dengan kadar air yang sama, yakni 99,5 % (seperti kadar air ekstrak rosela)

#### a. Perhitungan Sampel ekstrak + maltodekstrin

- Massa Ekstrak rosela = 25 ml x 1,058 gr/ml  
= 26,45 gr

- Massa Putih Telur =  $\frac{(4\% \times 26,45)}{95,60}$   
= 1,1067 gr
- Massa Glycerol Monostearat =  $\frac{(0,4\% \times 26,45)}{95,60}$   
= 0,11067 gr
- Massa ekstrak rosela + GMS + Telur = 27,6674 gr
- Kadar air ekstrak = 99,5 %
- Kadar air Putih Telur (PT) = 86,34%
- Kadar air Glycerol Monostearat(GMS) = 96,93%
- Kadar air campuran (ekstrak+ maltodekstrin)  
=  $\frac{(\text{berat} \times \text{kadar air})_{\text{ekstrak}} + (\text{berat} \times \text{kadar air})_{\text{PT}} + (\text{berat} \times \text{kadar air})_{\text{GMS}}}{\text{berat campuran}}$   
=  $\frac{(26,45 \times 0,995) + (1,1067 \times 0,0863) + (0,11067 \times 0,9693)}{27,6674}$   
= 0,9466
- Massa air yang ditambahkan  
 $X_{\text{diinginkan}} = \frac{(\text{berat} \times \text{kadar air})_{\text{air}} + (\text{berat} \times \text{kadar air})_{\text{campuran}}}{\text{berat air} + \text{berat campuran}}$   
berat air =  $\frac{(X_{\text{diinginkan}} - X_{\text{campuran}}) \times \text{berat campuran}}{1 - X_{\text{diinginkan}}}$   
berat air =  $\frac{(0,95 - 0,9466) \times 22,667}{1 - 0,95}$   
berat air = 1,8742 gr  
Volume air yang ditambahkan = 1,8742 ml

#### 4. Pengeringan Sampel

##### a. Menghitung Equilibrium Moisture Content

Persamaan *equilibrium moisture content* pada Rosela (Langova et al, 2013) sebagai berikut :

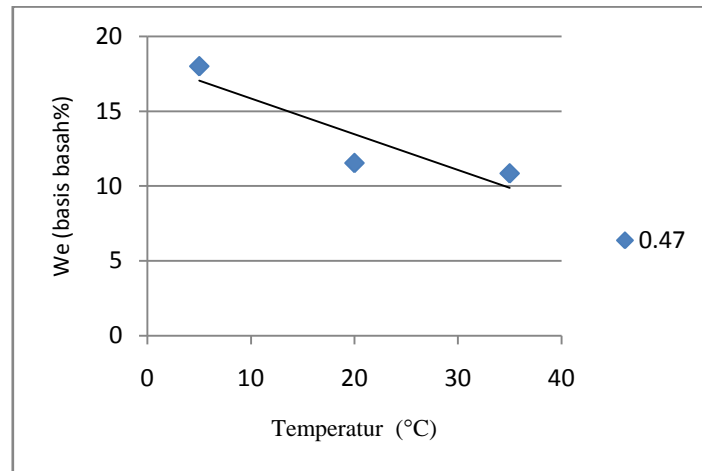
$$\begin{aligned} \text{Pada Suhu : } 5^{\circ}\text{C} & \text{ ----> } W_e = 1479,675^{A_w-0,46} + 13,155 \\ 20^{\circ}\text{C} & \text{ ----> } W_e = 200,341^{A_w-0,258} + 8,465 \\ 35^{\circ}\text{C} & \text{ ----> } W_e = 168,153^{A_w-0,232} + 7,461 \end{aligned}$$

- **Menghitung Aw (water activity)**

Untuk mendapatkan *water activity* dengan menggunakan grafik psychrometric dengan RH 85%.

T	Aw	We (basis basah%)
5	0,47	18,00107
20		11,54092
35		10,84724
40		8,71

➤ Pada suhu 40°C



Grafik 2. Hubungan antara temperatur dan *equilibrium moisture content*

Dari grafik 2 didapatkan persamaan regresi untuk menghitung *equilibrium moisture content* pada suhu 40°C sebagai berikut :  $y = -0,238x + 18,23$

Sedangkan persamaan regresi :

Pada Suhu : 50°C ----->  $y = -0,232x + 15,99$

60°C ----->  $y = -0,225x + 15,28$

Tabel 1. Hasil *Equilibrium Moisture Content*

Aw ( <i>water activity</i> )	Temperatur (°C)	Xe (%)	Xe(kadar air <i>equilibrium moisture content</i> )
0.47	40	8,71	0,0871
0.28	50	4,39	0,0439
0.18	60	2,085	0,02085

- **Data kadar air sampel (basis kering) setelah pengeringan dengan waktu sampel setiap 10 menit.**

Tabel 2. kadar air sampel (basis kering) setelah pengeringan dengan waktu sampel setiap 10 menit

t, menit	40°C		50°C		60°C	
	Non Foam	Foam	Non Foam	Foam	Non Foam	Foam
0	19,000	19,000	19,000	19,000	19,000	19,000
10	15,265	10,604	13,890	8,434	13,472	6,394
20	13,016	5,268	12,215	5,154	10,918	2,073
30	12,121	3,449	10,005	2,736	9,228	0,826
40	10,665	1,942	8,442	1,164	7,775	0,500
50	9,512	1,247	7,600	0,910	6,405	0,188
60	8,314	0,877	6,085	0,352	5,356	0,173
70	6,846	0,508	5,277	0,099	4,498	0,143
80	5,918	0,109	4,270	0,099	3,799	0,084
90	4,962	0,109	2,929	0,099	3,158	0,084
100	3,483	0,109	1,679	0,099	2,759	0,084
110	1,807	0,109	0,732	0,099	1,792	0,084
120	0,879	0,109	0,385	0,099	0,197	0,084

## 5. Perhitungan Difusivitas Efektif dan Koefisien Perpindahan Massa

Penurunan moisture ratio terhadap waktu pengeringan digunakan untuk menganalisis data percobaan pengeringan. Laju difusivitas dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$MR = \frac{(M-M_e)}{(M_0-M_e)} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (1)$$

Slope dapat dihitung dengan memplotting ln MR dengan waktu.

$$\text{Slope} = \left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (6)$$

Dimana, M adalah kadar air setiap waktu, Me adalah kadar air setimbang pada rosela dan M<sub>0</sub> adalah kadar air awal, semua dalam basis kering (kg/kg), D<sub>eff</sub> adalah difusivitas efektif (m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>), L adalah ketebalan rosela (m), dan t adalah waktu(s).

Kadar air setimbang ( $M_e$ ) pada rosela diambil dari literatur Langova et al (2013).

Koefisien perpindahan massa rosela dapat dihitung dengan persamaan (7) menggunakan bilangan tak berdimensi dari persamaan :

$$k = \frac{Sh D_e}{d} \quad (7)$$

$$Re = \frac{l\rho v}{\mu} \quad (8)$$

$$Sh = 0.664Re^{1/2}Sc^{1/3} \quad (11)$$

Dimana  $Re$  (Reynold) dan  $Sh$  (Sherwood) adalah bilangan tak berdimensi.  $\rho$ ,  $l$ ,  $v$ , dan  $\mu$  adalah *density* (kg/m<sup>3</sup>), panjang flat plate yang digunakan (m), velocity (m/s), dan viskositas (Pa s),  $D_e$  adalah difusvitas efektif (m<sup>2</sup>/s) dan  $d$  adalah tebal *foam* (m).

- Pada Suhu 50°C tanpa foam

Tabel 3. Data Hasil Pengeringan

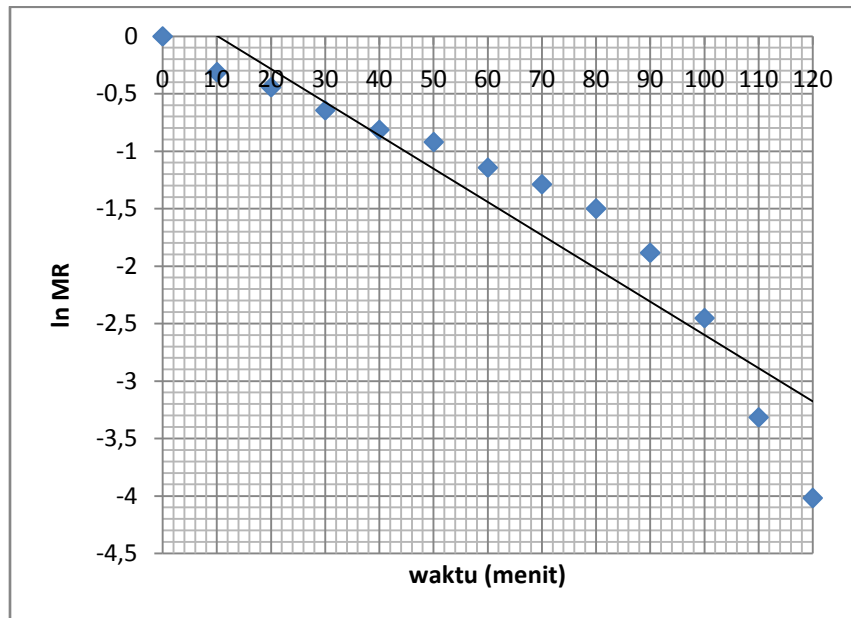
t, menit	Massa	massa ekstrak kering(*)	X, db	X - X <sub>e</sub> (**)	MR	ln MR
0	4,607	0,2304	19,00	18,96	1,000	0
10	3,430		13,89	13,85	0,730	-0,3141
20	3,044		12,21	12,17	0,642	-0,4431
30	2,535		10,00	9,96	0,525	-0,6434
40	2,175		8,44	8,40	0,443	-0,8141
50	1,981		7,60	7,56	0,399	-0,9198
60	1,632		6,08	6,04	0,319	-1,1436
70	1,446		5,28	5,23	0,276	-1,2870
80	1,214		4,27	4,23	0,223	-1,5008
90	0,905		2,93	2,88	0,152	-1,8826
100	0,617		1,68	1,63	0,086	-2,4507
110	0,399		0,73	0,69	0,036	-3,3157
120	0,319		0,38	0,34	0,018	-4,0181

**\*Menghitung Massa ekstrak kering**

$$X(\text{basis basah}) = \frac{m_{\text{ekstrak basah}} - m_{\text{ekstrak kering}}}{m_{\text{ekstrak basah}}}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa ekstrak kering} &= 4,607 - (4,607 \times 0,95) \\ &= 0,2304 \text{ gr} \end{aligned}$$

**\*\*Xe** didapatkan pada tabel 1. Xe pada suhu 50°C = 0,0439.



Grafik 1. Hubungan antara waktu pengeringan dan ln Moisture Rasio pada suhu 50°C (*Non Foam*)

**a. Menghitung Diffusivitas Effektif**

Dari grafik diatas didapatkan slope = 0,0289 ≈ 0,03

$$\text{Slope} = \left( \frac{\pi^2 D_{\text{eff}} t}{4L^2} \right)$$

$$0,03 = \left( \frac{3,14^2 D_{\text{eff}} 5400}{4 \times 0,01^2} \right)$$

Sehingga didapatkan :

$$D_{\text{eff}} = 2,2538 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s} = 2,2538 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$$

**b. Menghitung Koefisien Perpindahan Massa**

$$\bullet \quad Sc = \frac{\mu}{\rho \times D_{AB}}$$

$$Sc = \frac{1,9307 \cdot 10^{-5}}{1,118 \times 3,1495 \cdot 10^{-5}}$$

$$= 0,5483$$

- $Re = \frac{\rho v}{\mu}$   
 $Re = \frac{0,6 \times 1,118 \times 7}{1,9307 \cdot 10^{-5}}$   
 $= 241.252$
- $Sh = 0.664 Re^{1/2} Sc^{1/3}$   
 $Sh = 0.664 \times (241.252)^{1/2} \times (0,5483)^{1/3}$   
 $= 59,6079$
- $k = \frac{Sh D_{eff}}{d}$   
 $k = \frac{59,6079 \times 2,2538 \times 10^{-11}}{0,001}$   
 $= 1,877$

Hasil diffusivitas efektif dan koefisien perpindahan massa pada suhu 40 dan 60°C untuk *foam* dan *non foam* ditabel 1.

T (°C)	D <sub>eff</sub> (m <sup>2</sup> /s)		k	
	Non Foam	Foam	Non Foam	Foam
40	1.670E-11	8.913E-11	1.841	1.867
50	2.254E-11	1.014E-10	1.877	1.888
60	3.005E-11	1.183E-10	1.935	1.964

## 6. Luas *Foam* dan *Non Foam*



Data :

increment = 5

(jumlah tebal)  $\Sigma r$  = 1 mm

Tiap increment ( $\Delta R_1 R_0 R_2$ ) = 0.2

$\pi$  = .14

$R_1$  = 0.5

Luas

$$A1 = \pi D \Delta r = \pi(2R_1)0.2 = 0.63$$

$$A2 = \pi 2(R_1 + \Delta r) \Delta r = 0.88$$

$$A3 = \pi 2(R_1 + 2\Delta r) \Delta r = 1.13$$

$$A4 = \pi 2(R_1 + 3\Delta r) \Delta r = 1.38$$

$$A5 = \pi 2(R_1 + 4\Delta r) \Delta r = 1.63$$

Atau dengan menggunakan rumus :  $A_n = A_{n-1} + 2\pi \Delta r^2$

## 7. Bahasa Pemrograman Matlab

### a. Tanpa *Foam* Pada Suhu 50°C

```
function Diffusion
% PDEPE is called and the results are plotted
clear; close all;

%% Parameters
P(1) = 1.01424*10^-8;
P(2) = 19; %c0 [g]
L = 0.01 %cm Length [m],dijadikan cm, ambil yang 2mm
dan 3mm
maxt = 7200;%1800 %Max. simulation time
m = 0; %m=0 (slab);
t = linspace(0,maxt,13); %tspan
x = linspace(0,L,100); %xmesh,increment

sol =
pdepe(m,@DiffusionPDEfun,@DiffusionICfun,@DiffusionBCfun,
n,x,t,[],P);
u = sol;
u1 = sol(:, :, 1);
a=[u1];
save f50revisi -ASCII

% 2D line plot
figure(2)
hold all
for n = linspace(1,length(t),10)
plot(t,sol,'LineWidth',2)

end
xlabel('waktu(sekon)', 'fontsize',20, 'fontweight', 'b', 'fontname', 'arial')
ylabel('kadar air(basis
kering)', 'fontsize',20, 'fontweight', 'b', 'fontname', 'arial')
title('Grafik
Foam', 'fontsize',15, 'fontweight', 'b', 'fontname', 'arial'
)
```

```

axis ([0 maxt 0 P(2) 0 L])% zlim ([0 50.8]) atau axis
([0 maxt 0 P(2) 0 L])
set(gca, 'FontSize',18, 'fontweight', 'b', 'fontname', 'arial')

function [c,f,s] = DiffusionPDEfun(x,t,u,dudx,P)

% Extract parameters

D = P(1);
% PDE
c = 1;
f = D.*dudx;
s = 0;

function u0 = DiffusionICfun(x,P)
% Initial conditions for t = 0; can be a function of x
u0 = 19;

function [pl,ql,pr,qr] =
DiffusionBCfun(xl,ul,xr,ur,t,P)
% Boundary conditions for x = 0 and x = L;
% parameters
Ce = 0.10 ;
k1 = 0.1882;
k2 = 0.1888;
pl = k1*(ul-Ce); ql = 0 ; pr = k2*(ur-Ce); qr = 0;

```

## b. Foam Pada Suhu 50°C

```

function Diffusion
clear; close all;

%% Parameters
P(1) = 2.25387*10^-9; [cm^2/s],
P(2) = 19; %c0 [g]
L = 0.01 %Length [cm]
maxt = 7200; %Max. simulation time
m = 0; %m=0 (slab);
t = linspace(0,maxt,13); %tspan
x = linspace(0,L,100); %xmesh,increment

sol =
pdepe(m,@DiffusionPDEfun,@DiffusionICfun,@DiffusionBCfun,
x,t,[],P);
u = sol;
u1 = sol(:, :, 1);
a=[u1];
save tf50 -ASCII

```

```

% 2D line plot
figure(2)
hold all
for n = linspace(1,length(t),10)
plot(t,sol,'LineWidth',2)

end
xlabel('waktu(sekon)','fontsize',20,'fontweight','b','fontname','arial')
ylabel('kadar air(basis kering)','fontsize',20,'fontweight','b','fontname','arial')
title('Grafik Tanpa Foam','fontsize',15,'fontweight','b','fontname','arial')
axis ([0 maxt 0 P(2) 0 L])% atau zlim ([0 50.8])
set(gca,'FontSize',18,'fontweight','b','fontname','arial')

function [c,f,s] = DiffusionPDEfun(x,t,u,dudx,P)

% Extract parameters
D = P(1);
% PDE
c = 1;
f = D*dudx;
s = 0;

function u0 = DiffusionICfun(x,P)
% Initial conditions for t = 0; can be a function of x
u0 = 19;

function [pl,ql,pr,qr] =
DiffusionBCfun(xl,ul,xr,ur,t,P)
% Boundary conditions for x = 0 and x = L;
% parameters
Ce=0.0439;%Ce dihitung dengan sorption isotherm bunga
rosela
pl = ul-Ce; ql = 0 ; pr = ur-Ce; qr = 0;

```

**Lampiran B – Dokumentasi Kegiatan Penelitian**



Gambar 4.6 Rosella



segar dan kering



Gambar 4.7 Proses *Screening* Rosela Kering