

## **PENGARUH KONDISI OPERASI PADA PROSES PENGERINGAN KARAGENAN DENGAN FOAM**

**Verona Amelia, Bery Kristanti, Moh. Djaeni \*)**

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jln. Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang, 50239, Telp/Fax: (024) 7460058

### **Abstrak**

*Pengeringan dengan foam/busa adalah pilihan untuk mempercepat proses pengeringan yang mampu mempertahankan kualitas karagenan. Dalam kasus ini, karagenan dicampur dengan putih telur (albumin) sebagai foaming agent dan metil selulosa sebagai penstabil busa. Busa akan mematahkan gel karagenan dan menciptakan struktur berpori sehingga luas permukaan yang lebih besar untuk transfer air dalam bahan. Pengeringan dilakukan pada berbagai komposisi (perbandingan foam agent dan stabilizer), suhu udara dan ketebalan busa. Penurunan kadar air ditentukan selama periode pengeringan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa putih telur yang distabilkan dengan metil selulosa bisa mempercepat laju pengeringan dan waktu pengeringan dari karagenan. Hasil menunjukkan bahwa pada suhu operasi 80°C dan ketebalan carrageenan dari 2 mm dengan penambahan putih telur 20% dan metil selulosa 10%, difusi kelembaban dan laju pengeringan bisa dua kali lipat dibandingkan dengan karagenan pengeringan tanpa busa.*

**Kata kunci:** karagenan; laju pengeringan; waktu pengeringan; putih telur; pembuih

### **Abstract**

*Foam mat drying is an option to speed up the drying process to maintain quality carrageenan. In this case, carrageenan mixed with egg white (albumin) as a foaming agent and methyl cellulose as a foam stabilizer. Carrageenan gel foam will break and create a porous structure so that a higher surface area for moisture transfer. Drying is carried out at various compositions (comparison agent and foam stabilizer), the air temperature and the thickness of the foam. Decrease in water content determined during the drying period. The results showed that the egg whites be stabilized with methyl cellulose can accelerate the rate of drying and drying time of carrageenan. Result show that at 80°C operating temperature and thickness of 2 mm carrageenan in the presence of egg whites 20% and 10% methyl cellulose, moisture diffusion and drying rate can be twiced compared with carrageenan drying without foam.*

**Keyword :** carrageenan; drying rate; drying time; egg white; foam mat.

## **1. PENDAHULUAN**

*Eucheuma cottonii* merupakan rumput laut dari kelompok *Rhodopyceae* (alga merah) yang mampu menghasilkan karagenan yang banyak digunakan dalam berbagai industri. Karagenan merupakan getah rumput laut yang diekstraksi dengan air atau larutan alkali. Karagenan berfungsi untuk pengental, pengemulsi, pensuspensi, dan penstabil dalam industry pangan, farmasi dan kosmetik.

Kualitas karagenan yang dihasilkan oleh industri dalam negeri sampai saat ini masih rendah karena berwarna coklat (*browning*) dan kadar air yang cukup tinggi yaitu diatas 20%. Hal ini kemungkinan terjadi saat pengeringan karagenan menjadi produk serbuk dilakukan pada kondisi suhu tinggi sehingga dihasilkan produk yang berwarna coklat.

Masalah utama dalam pengeringan karagenan adalah pembentukan gel antara polisakarida dan air yang menghambat difusi kelembaban ke permukaan. Selanjutnya, karagenan yang masih cair memiliki sifat lengket dan afinitas air yang tinggi dan membuatnya mudah menggumpal. Djaeni dkk. (2012) melaporkan peningkatan kualitas karagenan dan waktu pengeringan yang lebih pendek dengan menggunakan adsorpsi pengeringan dengan zeolit. Dalam metode ini, udara pengeringan dehumidified oleh zeolit mendekati 0,0% RH. Dengan demikian, pengeringan dilakukan pada kondisi RH sangat

rendah yang meningkatkan kekuatan pendorong perpindahan massa dan menghasilkan kualitas yang lebih baik karagenan dalam hal tingkatkeputihan, ditambah dengan pendek waktu pengeringan.

Pengeringan dengan *foam* di bawah suhu udara rendah atau menengah adalah pilihan yang potensial untuk karagenan industri (Ratti dan Kudra, 2007). Penelitian saat ini dilakukan dengan metode *foam-mat drying* pada karagenan menggunakan *foaming agent* berupa albumin (putih telur) dan methyl cellulose sebagai *foam stabilizer*. Metode pengeringan tersebut belum digunakan dalam industri karagenan. Kinetika pengeringan dan lama waktu pengeringan diamati dan dibandingkan dalam berbagai kondisi pengeringan.

## 2. BAHAN DAN METODELOGI

### 2.1 Persiapan bahan baku

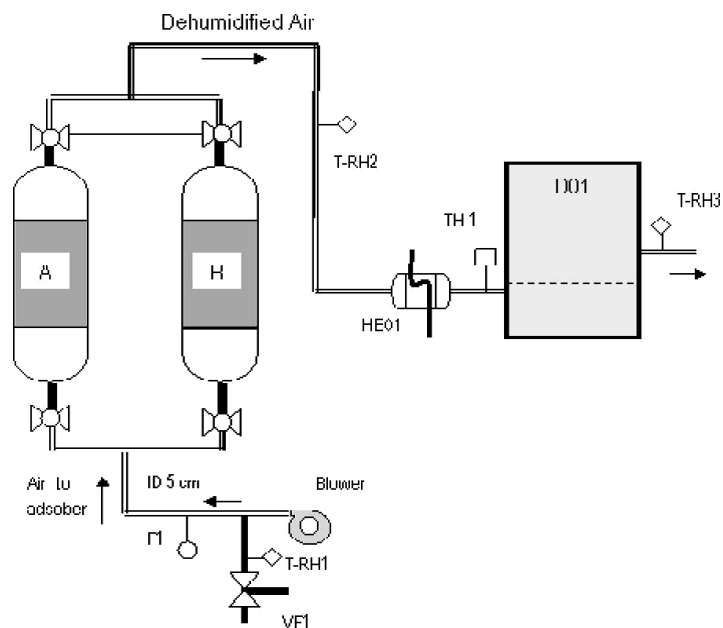
#### a. Persiapan Karagenan

Sekitar 15 gram rumput laut merah, *Eucheima cottonii*, dicampur dan diekstraksi dengan 900 ml air pada 70-80°C pada piringanpengaduk. Setelah 2 jam, campuran disaring dengan bantuan pompa vakum. Ekstrak yang mengandung karagenan kemudian digumpalkan oleh kalium klorida (2,5%). Karagenan, foam agent dan stabilizer

#### b. Pencampuran Karagenan dengan *Foaming Agent* dan *Stabilizer* dan Pengeringan Karagenan

Mencampur karagenan dengan putih telur dan metil cellulose yang moisture contentnya telah diseragamkan menjadi 61 g *moisture/g* bahan kering, sesuai variabel. Dilakukan mixing dengan mixer selama 5 menit pada 720 rpm agar seluruh bahan dapat tercampur dengan sempurna. Hasil pembuihan disebarakan atau diratakan dalam loyang dengan ketebalan sesuai variabel. Dikeringkan dengan pengeringing tray (*Tray Dryer*) pada suhu sesuai variabel dalam waktu 120 menit (2 jam).

Kadar air karagenan dan suhu udara diukur setiap 10 menit. Kadar air dalam karagenan diukur dengan gravimetri, kondisi udara (udara ambien, udara yang masuk dan meninggalkan tray dryer) diukur dengan suhu dan sensor kelembaban relatif T-RH 1,2,3 seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Kecepatan aliran udara diukur dengan anemometer pada Gambar 1. Pengeringan percobaan dilakukan pada suhu 60, 80 dan 100° C dengan ketebalan karagenan dari 2, 3, 4 dan 5 mm.

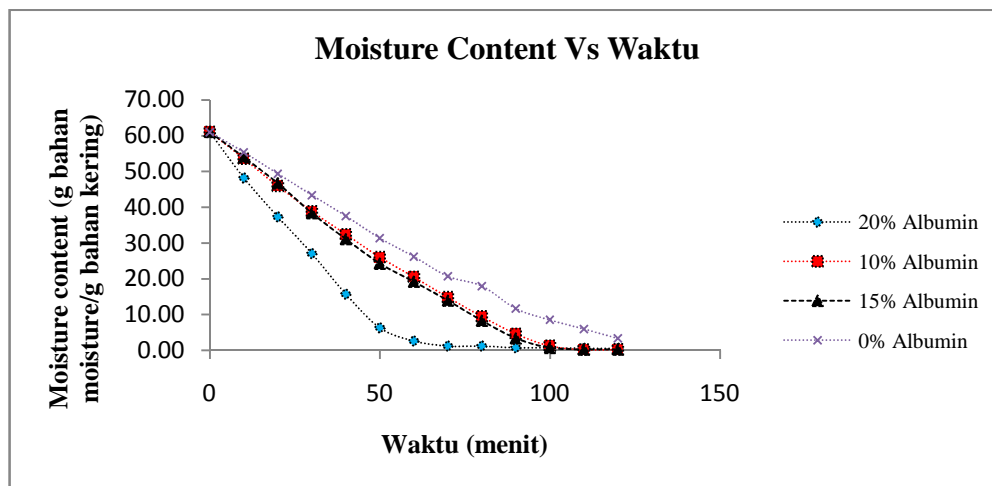


Gambar 1: Gambaran skematis dari peralatan pengeringan eksperimental

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

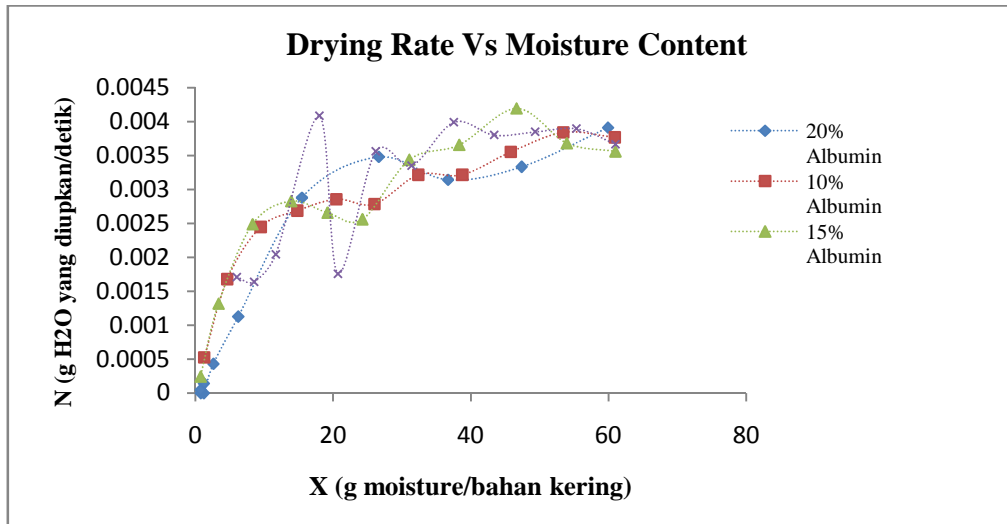
#### a. Pengaruh Komposisi Foaming Agent dan Stabilizer terhadap Kinetika Pengeringan dan Waktu Pengeringan

Dari grafik hubungan antara *moisture content* terhadap waktu menunjukkan bahwa gradien penurunan menghasilkan data yang berbeda-beda. Kandungan air dalam bahan terdifusi secara perlahan seiring lamanya waktu pengeringan. Pada sampel *foamA* menunjukkan bahwa gradien penurunan *moisture* tiap satuan waktu relative lebih besar jika dibandingkan dengan sampel *foamB* dan *foam C*. Kandungan air dalam bahan terdifusi relative lebih cepat seiring lamanya waktu pengeringan. Wai dan Karim (1999) menyatakan bahwa dengan jumlah yang sama sebuah lapisan busa lebih cepat kering daripada cairan yang tidak dalam bentuk busa pada kondisi lingkungan yang sama. Hal ini disebabkan cairan lebih mudah melewati struktur busa kering daripada lapisan yang rapat dari bahan yang sama, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin banyak busa maka akan mengurangi waktu pengeringan.



Gambar 2. Hubungan antara *Moisture Content* terhadap Waktu ( $T = 80^{\circ}\text{C}$ , tebal bahan 4 mm dengan *moisture content* awal 60 g *moisture/g* berat kering)

Berdasarkan grafik hubungan antar *drying rate* terhadap *moisture content* bisa dilihat pengaruh tiap komposisi umpan terhadap laju pengeringan bahan. Kadar air kritis (*critical moisture content*) adalah titik yang menandai saat dimana air pada permukaan tidak cukup lagi untuk memelihara suatu lapisan kontinyu yang menutupi keseluruhan permukaan pengeringan. Hal ini diperlihatkan pada kurva laju pengeringan yang menunjukkan perubahan bentuk yang tajam. Dari grafik di atas juga dapat diprediksikan lama waktu pengeringan pada tiap-tiap bahan berdasarkan hasil perhitungan didapat waktu pengeringan untuk mencapai *moisture content* sebesar 0.1 g *moisture/g* bahan kering pada komposisi 0% albumin membutuhkan waktu 366,1922 menit, 10% albumin membutuhkan waktu 187,27 menit, 15% membutuhkan waktu 207,77 menit, 20% albumin membutuhkan waktu selama 156,34 menit.

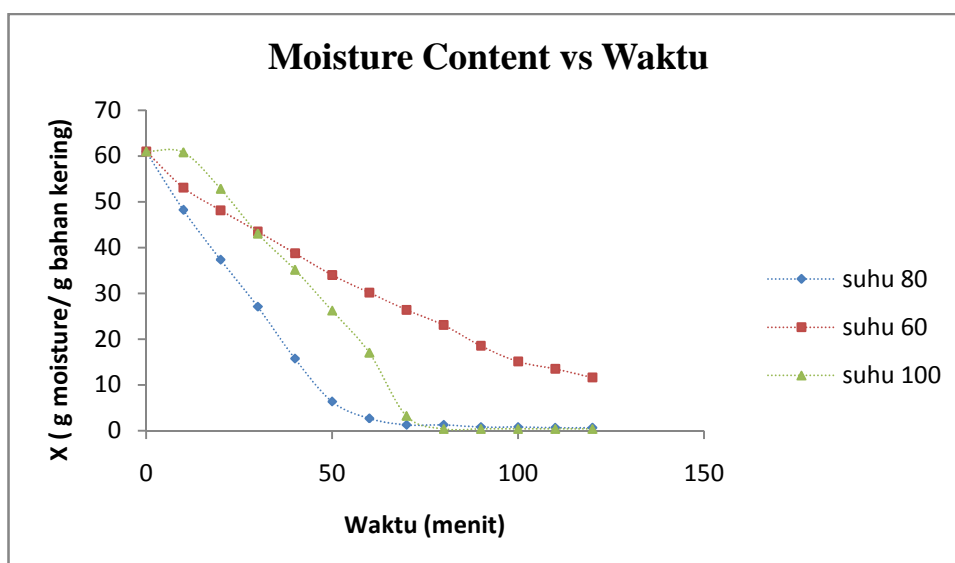


Gambar 3. Hubungan antara *Drying Rate* Terhadap *Moisture Content* ( $T = 80^{\circ}\text{C}$ , tebal bahan 4 mm dengan moisture content awal 61 g moisture/g berat kering)

*Equilibrium moisture content* merupakan kandungan air dalam keadaan keseimbangan pada kondisi tertentu karena tekanan uap air setimbang dengan tekanan parsial uap dalam atmosfer. Berdasarkan pada pengeringan padatan basah pada kondisi pengeringan yang tetap. Dalam kasus yang paling umum, setelah periode awal penyesuaian, kadar air basis kering, *moisture content* menurun secara linear dengan waktu, seiring dengan dimulainya penguapan. Hal ini dilanjutkan dengan penurunan non linear pada *moisture content* hingga waktu tertentu, setelah selang waktu yang cukup lama, padatan mencapai kesetimbangan kadar air (*equilibrium moisture content*) dan proses pengeringan bisa dihentikan. Sehingga dapat disimpulkan variabel dari berbagai komposisi yang telah diuji variabel dengan komposisi 20% albumin-10% methyl cellulose akan memepersingkat waktu pengeringan.

**b. Pengaruh Suhu terhadap Kinetika Pengeringan dan Waktu Pengeringan**

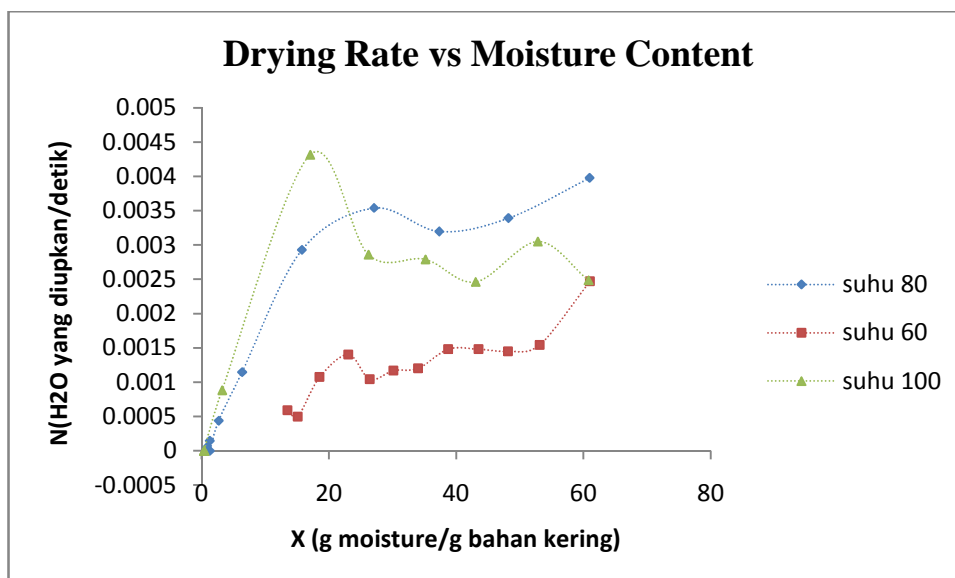
Pada percobaan variable suhu, bahan dikeringkan pada suhu  $60^{\circ}\text{C}$ ,  $80^{\circ}\text{C}$ , dan  $100^{\circ}\text{C}$ . Bahan yang dikeringkan merupakan variable komposisi dengan penambahan *methyl cellulosa* (10%) dan putih telur (20%) dengan tebal 4 mm. Pada percobaan variable komposisi kadar air awal yang digunakan 61 g *moisture*/g bahan kering.



Gambar.4. Hubungan antara *Moisture Content* Terhadap Waktu (komposisi 20% albumin, tebal 4 mm dengan moisture content awal 61 g moisture/g berat kering)

Dari grafik hubungan antara moisture content terhadap waktu hasil percobaan variabel suhu pengeringan 60°C, 80°C, dan 100°C dapat dilihat bahwa untuk tebal lapisan yang sama yaitu 4 mm, suhu pengeringan memberikan pengaruh yang cukup signifikan pada variabel suhu 80°C dan 100°C jika dibanding dengan variabel suhu 60°C. Pada variabel suhu 80°C dan 100°C memiliki kecenderungan yang hampir sama, yakni moisture content berkurang seiring bertambahnya waktu pengeringan, dengan kecenderungan penurunan yang lebih landai jika dibandingkan dengan variabel suhu 60°C. Hal ini karena semakin besar suhu, maka panas yang diterima oleh permukaan lapisan padat semakin besar. Sehingga laju penguapan air per luas permukaan tiap waktunya semakin besar (Banadib, dkk., 2009). Semakin tinggi suhu udara pengering maka relative humidity udara akan semakin rendah, sehingga transfer panas dan massa antara udara dan karagenan akan semakin besar. Hal ini akan menyebabkan laju kinetika pengeringannya semakin tinggi (Mualifah, dkk., 2010).

Profil penurunan moisture content terhadap waktu pada variable suhu 80°C dan suhu 100°C, dapat dilihat bahwa, pada variable suhu 80°C grafik penurunannya lebih landai dibandingkan variable 100°C. Dengan komposisi yang sama dan ketebalan yang sama pula untuk mencapai moisture content 0,1 g moisture/g bahan kering, untuk variable suhu 80°C memerlukan waktu pengeringan total 156,34 menit sedangkan untuk suhu 100°C memerlukan waktu pengeringan total 167,26 menit. Sampel dengan suhu pengeringan 80°C memperlihatkan laju pengeringan yang lebih tinggi dibandingkan suhu 100°C. Sehingga dapat disimpulkan bahwa variable suhu 80°C lebih efektif karena memiliki laju pengeringan yang lebih tinggi dan membutuhkan energy yang lebih rendah bila dibandingkan dengan variable suhu 100°C.



Gambar 5. Hubungan antara *Moisture Content* Terhadap *Drying Rate* (komposisi 20% albumin, tebal 4 mm dengan moisture content awal 61 g moisture/g berat kering)

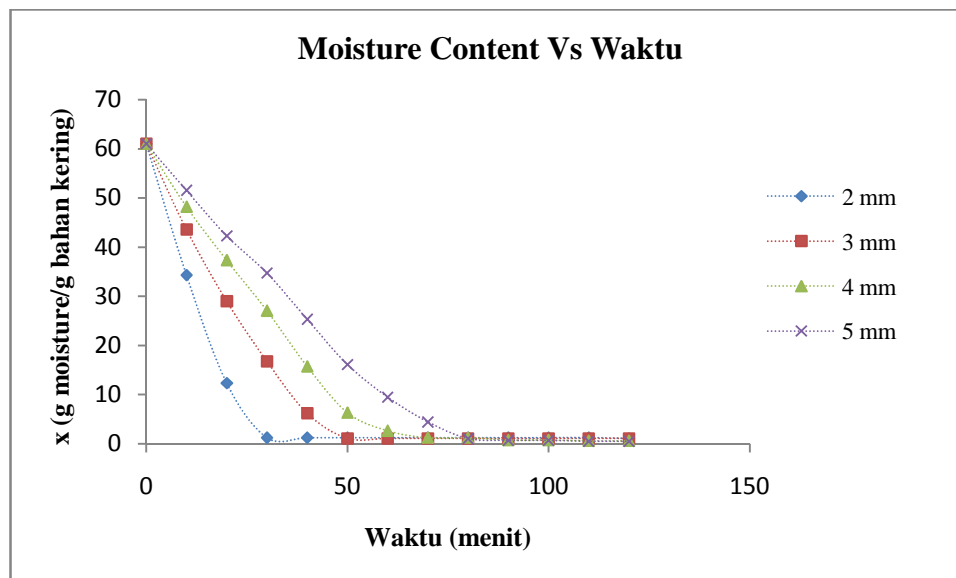
Profil kurva laju pengeringan untuk variabel suhu pengeringan menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan antara variabel suhu 60°C dan variabel 80°C dengan variabel 100°C. Critical moisture content paling tinggi dicapai oleh variabel suhu 80°C yaitu 27,088 g moisture/g bahan kering. Sedangkan critical moisture content paling kecil dicapai oleh variabel suhu 100°C yaitu 17,055 g moisture/g bahan kering.

Pada percobaan ini laju pengeringan rata - rata pada periode konstan yang paling tinggi dicapai oleh variabel suhu 80°C yaitu 0,0035 g H<sub>2</sub>O yang diupkan/detik. Sedangkan laju pengeringan rata - rata pada periode konstan yang paling rendah adalah 0,0015 g H<sub>2</sub>O yang diupkan/detik yang dicapai oleh variabel 60°C. Hal ini disebabkan, dengan semakin tinggi suhu, maka relatif humiditi udara pengering semakin rendah. Dengan semakin rendah relatif humiditi udara pengering maka kadar air di padatan semakin rendah, karena kadar air di padatan akan berada pada kondisi kesetimbangan dengan relatif humiditi udara. Semakin tinggi suhu juga akan meningkatkan

difusivitas uap air baik untuk terlepas di permukaan padatan maupun untuk berdifusi di dalam padatan partikel karagenan itu sendiri sehingga bahan cepat kering (Suherman,dkk.,2012).

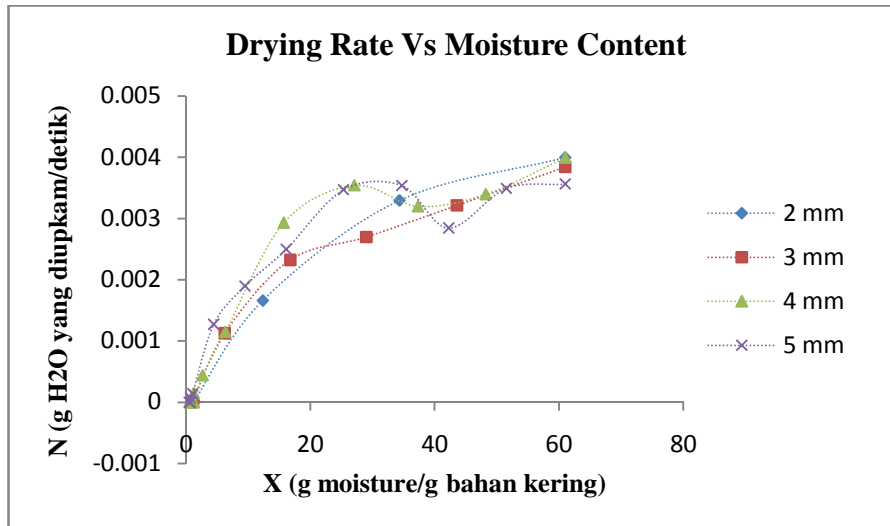
### c. Pengeruh Tebal terhadap Kinetika Pengeringan dan Waktu Pengeringan

Pada percobaan variabel tebal bahan yang dikeringkan, dengan komposisi sampel yang merupakan komposisi terbaik pada variabel komposisi, yaitu *foam agent* (putih telur) 10% dan *foam stabilizer* (*methyl cellulosa*) 20% dan pada suhu operasi 80 °C. Pengamatan dilakukan terhadap berat sampel tiap waktu tertentu. Pada percobaan dengan variabel komposisi, kadar air awal tiap sampel adalah 61.00 g *moisture*/g bahan kering.



Gambar 6. Hubungan antara *Moisture Content* Terhadap Waktu ( $T = 80^{\circ}\text{C}$ , 20% albumin-10% Methyl Celulose dengan *moisture content* awal 60 g *moisture*/g berat kering)

Gambar 6 menunjukkan bahwa ketebalan mempengaruhi tingkat pengeringan dengan pengeringan waktu secara signifikan berkurang karena ketebalan busa meningkat. Pada peningkatan ketebalan mengurangi laju difusi kelembaban akibat lagi *diffusional* jalan di sepanjang lapisan tebal yang menghasilkan nilai kelembaban yang rendah difusivitas. Dari data tersebut diperoleh hasil perhitungan kebutuhan waktu pengeringan dengan nilai yang berbeda untuk mencapai nilai *moisture content* 0,1 g *moisture*/g berat kering, variabel dengan tebal 2 mm membutuhkan waktu pengeringan selama 104,7034 menit, variabel tebal 3 mm membutuhkan waktu 168,6368 menit, variabel tebal 4 mm membutuhkan waktu 156,34 menit, dan variabel dengan tebal 5 mm membutuhkan waktu selama 213,3182 menit. Dari data-data perhitungan tersebut variabel dengan tebal 2 mm memiliki waktu pengeringan yang paling singkat jika dibandingkan dengan variabel yang lain. Dengan mengurangi ketebalan, perpindahan panas lebih efisien dan penetrasi panas yang lebih cepat dapat memulai kelembaban difusi dalam waktu yang lebih singkat. Migrasi air selama proses pengeringan merupakan hal kompleks yang melibatkan satu atau lebih mekanisme transport seperti difusi cair, difusi uap, difusi Knudsen, difusi permukaan dan perbedaan tekanan hidrostatik (Mujumdar & Devahastin 2008).



Gambar 7 Grafik Hubungan antara *Moisture Content* Terhadap *Drying Rate* ( $T = 80^{\circ}\text{C}$ , 20% albumin-10% Methyl Selulose dengan moisture content awal 60 g moisture/g berat kering)

Profil grafik *drying rate vs moisture content* umumnya digambarkan pada tiga periode proses pengeringan. Tiga periode ini meliputi *initial adjustment* (periode penyesuaian), periode *constant rate* dan periode *falling rate* (Mujumdar.1997)

Dari data percobaan diperoleh hasil bahwa bahwa ketebalan bahan yang dikeringkan sangat mempengaruhi kecepatan difusi *moisture* pada bahan ke udara bebas. Hal ini sesuai dengan persamaan matematis laju *moisture* dinyatakan oleh hukum Fick hubungan antara koefisien difusivitas terhadap jarak pada arah difusi. Semakin tipis lapisan bahan yang dikeringkan maka proses difusi akan berjalan lebih cepat dan *moisture* lebih cepat teruapkan ke udara. *Difusi moisture* terjadi karena adanya gradien konsentrasi antara bagian dalam *solid* yang mempunyai konsentrasi tinggi, dengan permukaan yang konsentrasinya rendah. Gerakan *moisture* ke permukaan dengan cara difusi molekuler terutama untuk bahan padat yang relatif homogen.

Laju *moisture* dinyatakan oleh hukum Fick II dapat dinyatakan dengan persamaan matematika:

$$\frac{dX}{d\theta} = D_L \frac{\partial^2 X}{\partial X^2}$$

Dimana:

$D_L$  = Koefisien difusi fase cair yang bergerak melalui fase padat ( $\text{ft}^2/\text{jam}$ )

X = Moisture content pada waktu  $\theta$  (lb liquid/ lb of dry solid)

(Mujumdar.1997 dan Unit Operation hal:458)

Pada peningkatan ketebalan akan mengurangi laju difusivitas, dengan mengurangi ketebalan perpindahan panas lebih efisien dan penitansi panas akan lebih cepat sehingga dapat memulai kelembaban lebih cepat (Djaeni dkk.,2012). Dari persamaan hukum Fick II diatas bisa dilihat bahwa hal yang berpengaruh dalam proses difusi adalah jarak pada arah mendifusi. Semakin kecil jarak pada arah difusi (X) maka laju difusivitas juga akan semakin besar. Moisture content pada permukaan pada kondisi ini akan berada pada nilai kesetimbangan atau sangat berdekatan dengan nilai tersebut. Kecepatan udara hampir tidak berpengaruh, sedang kelembaban udara mempengaruhi proses pengeringan terutama melalui pengaruhnya terhadap equilibrium moisture content. Oleh karena difusivitas meningkat bersamaan dengan suhu, kecepatan pengeringan juga meningkat jika suhu meningkat (Mc Cabe, 1987).

Pada umumnya koefisien difusivitas berada pada selang 10-13 dan 10-6m<sup>2</sup>/detik dimana mayoritas (sekitar 92%) berada pada selang 10-12 dan 10-8m<sup>2</sup>/detik (Zogzas & Maroulis 1996), sedang nilai difusivitas dari karagenan (starch gel) adalah  $1.0 \times 10^{-10} - 1.2 \times 10^{-9}$  (m<sup>2</sup>/s) (Zogzas et al, 1996; Marinos, 1995).



Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tebal lapisan suatu zat untuk dikeringkan maka akan membutuhkan waktu pengeringan yang semakin lama pula, karena tebal merupakan salah factor yang mempengaruhi difusifitas suatu zat.

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini meneliti efek dari *foaming agent* yaitu albumin (putih telur) pada pengeringan karagenan. Percobaan pengeringan dilakukan pada berbagai ketebalan karagenankomposisi dan suhu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya albumin (putih telur) membentuk pori-pori di dalam jaringan karagenan yang dapat memperbesar luas permukaan pengeringan. Kondisi ini dapat mempercepat pengeringan dan meningkatkan diffusivitas kelembaban. Komposisi (*foaming agent : stabilizer*) suhu udara atau ketebalan karagenan yang lebih tinggi mengakibatkan cepat laju pengeringan dan waktu pengeringan lebih pendek. Oleh karena itu, *foaming agent* dalam jumlah 30% dalam campuran dianjurkan untuk pengeringan karagenan.

#### REFERENSI

- Baeza, R., Sanchez, C. C., Pilosof, A. M. R. dan Patino, J. M. R. 2004. Interfacial and foaming properties of prolylenglycol alginates: Effect of degree of esterification and molecular weight. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 36: 139-145.
- Baniel, A., Fains, A. dan Popineau, Y. 1997. Foaming Properties of Egg Albumen with a Bubbling Apparatus Compared with Whipping. *Journal of Food Science* 62: 377 - 381.
- Becker, A., Katzen, F., Pühler, A. and Ielpi, L. 1998. Xanthan gum biosynthesis and application: a biochemical/genetic perspective. *Applied Microbiology and Biotechnology* 50: 145-152.
- Djaeni, M., S.B. Sasongko, A.A. Prasetyaningrum, X. Jin, dan A.J. van Boxel, 2012. Carrageenan drying with dehumidified air: drying characteristics and product quality. *International Journal of Food Engineering: Vol. 8: Iss. 3, Article 32. DOI: 10.1515/1556-3758.2682*
- Foegeding, E. A., Luck, P. J. and Davis, J. P. 2006. Factors determining the physical properties of protein foams. *Food Hydrocolloids* 20: 284-292.
- German, J. B. dan Phillips, L. 1994. Protein Interactions in Foams: Protein-Gas Phase Interactions. *Protein Functionality in Food Systems*. N. S. Hettiarachchy and G. R. Ziegler, Marcel Dekker, Inc.: 181 - 208.
- Iswari K, 2007, *Kajian Pengolahan Bubuk Instan Wortel dengan Metode Foam Mat Drying*, Balai Pengkajian Teknologi Pertanian, Sumatera Barat.
- I G. A. G. Bawa, A. A. Bawa Putra, dan Ida Ratu Laila. 2007. Penentuan pH Optimum Isolasi Karaginan dari Rumput Laut Jenis *Euclima cottonii*. *Jurnal Kimia* 1 (1), JANUARI 2007 : 15-20
- Karim, A.A. dan C.C. Wai, 1999. Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola L.*) puree. Stability and air drying characteristics. *Food Chemistry* 64; 337-343.
- Khotimah, K. 2006. Pembuatan Susu Bubuk Dengan Foam-Mat Drying, Kajian Pengaruh Bahan Penstabil Terhadap Kualitas Susu Bubuk. Fakultas Peternakan. Universitas Muhammadiyah Malang.
- Kumalaningsih, S., Supyayogi, B.Y., 2005. *Tekno Pangan. Membuat Makanan Siap Saji*. Trubus Agrisarana. Surabaya
- Lewicki, P.P. 1975. Mechanisms concerned in foam-mat drying of tomato paste. *Transactions of Agricultural Academy in Warsaw, Poland*, 55;1-67
- Morgan, A. I., Graham, R. P., Ginnette, L. F., & Williams, G. S. (1961). Recent developments in foam-mat drying. *Food Technology*, 15, 37-39.
- Prasetyaningrum, A. dan Nur, R. 2007. Perbaikan Proses Pembuatan Karaginan dari Rumput Laut. Laporan Penerapan IPTEKDA LIPI bottom un 2007. Universitas Diponegoro
- Prins, A. 1988. Principles of Foam Stability. *Advances in food emulsions and foams*. E.D. a. G. Stainsby, Elsevier Applied Science: 91 - 122.
- R.P. Patel, M. P. Patel dan A. M. Suthar. 2009. Spray Drying Technology: an overview. *Indian Journal of Science and Technology*. Vol.2 No.10 (Oct 2009) ISSN: 0974-6846.
- Rajkumar, P., R. Kailappan, R. Viswanathan, dan G.S.V. Raghavan. 2007. Studies on foam mat drying of alphonso mango pulp. *Journal of Food Engineering* 79; 1452-1459
- Ratti, C dan T. Kudra. 2006. Foam-mat drying: Energy and cost analysis. *Canadian Biosystem Engineering*, 48; 3.27-3.32





Suherman, Purbasari A, dan Praba A.M. 2012. Pengaruh Suhu Udara Dan Berat Sampel Pada Pengerinan Tapioka Menggunakan Pengerin Unggun Terfluidakan. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi 3. Vol 1 No1.

Treybal, R.E. 1980. *Mass Transfer Operations*. McGraw-Hill Book Company, New York.