



## APLIKASI METODE FOAM- MAT DRYING PADA PROSES PENGERINGAN SPIRULINA

Nurul Asiah, Rangkum Sembodo, Aji Prasetyaningum \*)

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro (12pt)  
Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, 50239, Telp/Fax: (024)7460058

### Abstrak

*Spirulina merupakan tumbuhan renik microalgae (Cyanobacteria) bersel tunggal, berwarna hijau biru, berbentuk spiral yang tumbuh di perairan hangat di seluruh dunia. Spirulina banyak mengandung Phytonutrient (Beta-carotene, Chlorophyl, Xanthophyl, Phyocianin, dll) yang berfungsi sebagai zat anti kanker (Tri Panji & Suharyanto, 2001). Proses pengeringan yang dilakukan selama ini menggunakan peralatan pengering berbiaya tinggi freeze dryer, spray dryer, roller dryer, maupun dehumidifier. Pengeringan dengan bentuk busa (foam), dapat mempercepat proses penguapan air, dan dilakukan pada suhu rendah, sehingga tidak merusak jaringan sel, dengan demikian nilai gizi dapat dipertahankan (Kumalaningsih.dkk, 2005). Secara umum penelitian ini bertujuan untuk membandingkan dua metode pengeringan, yaitu tanpa foam-mat drying dan dengan foam-mat drying sehingga diletahui kondisi operasi proses pengeringan yang cukup optimal, untuk memperoleh produk pengeringan spirulina yang berkualitas baik dan memiliki efisiensi proses yang tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode foam-mat drying memberikan laju pengeringan yang lebih baik bila dibandingkan metode non foam-mat drying. Sampel dengan komposisi foam agent (putih telur) 2,5 % dan foam stabilizer (metil celulosa) 0,5 % menunjukkan laju pengeringan yang paling tinggi jika dibandingkan dengan sampel lainnya. Laju rata-rata pengeringan tertinggi ditunjukkan sampel dengan ketebalan 1 mm, yaitu 0,632 g H<sub>2</sub>O yang diuapkan/detik.. Berdasarkan pertimbangan kualitas produk dan efisiensi proses pengeringan, suhu pengeringan rekative baik untuk aplikasi foam-mat drying pada spirulina adalah 60°C. Hasil uji beta-carotene menunjukkan bahwa kualitas produk kering dengan metode foam-mat drying masih berada pada kualitas standart produk kering yang ada dipasaran, yaitu 149,025 mg / 100 gr. Data – data yang diperoleh dari hasil penelitian diharapkan dapat dijadikan acuan pada perancangan alat proses pengeringan spirulina dan dapat menjadi solusi metode pengeringan yang murah, efisien, dan efektif, tanpa mengurangi nilai gizi suatu bahan.*

**Kata kunci:** pengeringan,spirulina,foam-mat drying

### Abstract

*Spirulina is a microalgae fine plant (Cyanobacteria) single celled, blue green colored, spiral typed growed in warm water around the world. Spirulina have many Phytonutrient (Beta-carotene, Chlorophyl, Xanthophyl, Phyocianin, etc) functioned as anti-carcinogen (Tri Panji & Suharyanto, 2001). Drying process usually use high cost drying tools (freeze dryer, spray dryer, roller dryer, or dehumidifier). Drying with the foam type faster the water evaporation process in a low temperature that is not destroyed the cell system, so the nutrition value is save (Kumalaningsih, etc, 2005). In general, this research done to compare two drying method, there are: non foam-mat drying method and with foam-mat drying method that show the optimum drying process condition to get the high quality of spirulina drying product and the high efficiency process too. The result of the research show that the foam-mat drying method give the better drying rate compared with non foam-mat drying process. The sample with the foam agent composition (egg white) 2,5% and the foam stabilizer (metil cellulose) 0,5% give the highest drying rate compare with the others. The highest average rate showed the sample with the thickness 1mm, which is 0,632 g H<sub>2</sub>O steamed per second.. Based on consideration of product quality and drying process efficiency, drying temperature is relatively good to the application of foam-mat drying in spirulina is 60°C. The result of beta-carotene test show that the quality of dry product with foam-mat drying method still on the dry product quality standard in the market, that is 149,025 mg/ 100 g. The data obtained from the research be expected become the reference in the equipment design of the spirulina drying process and become the solution of cheap, efficient, and effective drying method, without decrease the nutrition value of the material.*

**Keyword:** drying, spirulina, foam-mat drying

\*) Penulis Penanggung Jawab (Email: [ajiprasetyaningrum@yahoo.com](mailto:ajiprasetyaningrum@yahoo.com))

## 1. Pendahuluan

Spirulina merupakan sejenis makhluk hidup semacam ganggang kecil yang hidup di perairan, berwarna biru kehijauan, di bawah mikroskop tampak bentuknya yang menyerupai spiral, maka disebut spirulina. Kandungan beta-caroten dalam Spirulina adalah 20 kali lebih besar dari yang terdapat dalam wortel. *Beta-caroten* adalah senyawa *carotenoid* yang merupakan antioksidan yang sangat potensial dalam melindungi tubuh dari bahan-bahan kimia yang menyebabkan tumor ganas (*malignant tumor*), perubahan *chromosomal* yang menyebabkan kanker, disamping meningkatkan sistem kekebalan tubuh. Kandungan nutrisi lengkap dalam spirulina akan mempertahankan kekenyalan kulit orang yang mengkonsumsi. Spirulina juga bisa digunakan sebagai masker wajah (*external application*) yang akan mengencangkan, memperhalus dan mencerahkan tekstur kulit wajah.

Studi tentang spirulina terus berkembang mulai dari pembudidayaan, pengolahan dan pemanfaatannya. Dalam proses pembuatannya, proses dan inspeksi yang tak memenuhi standar akan membuat komposisi gizi aktif dalam *Spirulina* hilang atau hilang aktivitasnya, sehingga nilai gizi *Spirulina* sangat menurun. Hingga saat ini metode pengeringan spirulina dilakukan dengan teknologi tinggi yaitu dengan *freeze dryer*, *spray dryer*, *roller dryer*, maupun *dehumidifier*. Pada dasarnya teknologi ini telah mampu menghasilkan produk spirulina kering dengan kualitas yang baik, namun demikian alat ini membutuhkan waktu pengeringan yang cukup lama dan investasi yang besar.

*Foam-mat drying* adalah teknik pengeringan bahan berbentuk cair dan peka terhadap panas melalui teknik pembusaan dengan menambahkan zat pembuih. Pengeringan dengan bentuk busa (*foam*), dapat mempercepat proses penguapan air, dan dilakukan pada suhu rendah, sehingga tidak merusak jaringan sel, dengan demikian nilai gizi dapat dipertahankan. Metode *foam-mat drying* mampu memperluas area *interface*, sehingga mengurangi waktu pengeringan dan mempercepat proses penguapan (Raj Kumar dkk, 2005). Pembentukan *foam* tergantung berbagai parameter, seperti komposisi dari cairan, metode pembusaan yang digunakan, temperatur dan lama pembuihan. Metode pembuihan mempengaruhi kualitas dan kuantitas *foam*. *Foam stabilizer* berfungsi untuk mempertahankan konsistensi busa adonan sehingga proses pengeringan akan cepat dan bahan tidak rusak karena pemanasan. Adanya bahan penstabil busa dapat membentuk ikatan kompleks antara protein dan air, air yang terjebak oleh polisakarida, dapat berikatan dengan protein melalui ikatan hidrogen. Hal tersebut yang dinilai mampu membuat kandungan *nutrisi* dapat dipertahankan pada proses pengeringan spirulina.

Dalam proses pengeringan suatu bahan perlu dipertimbangkan variabel-variabel proses yang mempengaruhi keberhasilan proses pengeringan. Dalam hal ini pengeringan bahan akan diaplikasikan pada *tray drier*. Beberapa variabel proses yang akan diamati meliputi, komposisi bahan yang akan dikeringkan, ketebalan lapisan pengeringan dan suhu proses pengeringan. Komposisi *foam stabilizer* dan *foam stabilizer* sangat mempengaruhi kualitas dan kestabilan *foam* yang terbentuk. Berdasarkan hukum Fick's ketebalan lapisan pengeringan sangat mempengaruhi kecepatan *diffusi moisture* dalam bahan ke udara bebas. Menurut persamaan Arrhenius difusifitas berbanding terbalik terhadap eksponensial fungsi suhu.

Metode *foam-mat drying* telah diterapkan pada proses pengeringan buah mangga menjadi produk bubuk yang lebih tahan lama. Penelitian difokuskan untuk mencari komposisi terbaik dalam proses pengeringan mangga dengan metode *foam-mat drying*. Telah dilakukan variasi terhadap komposisi *foam agent* yang berupa putih telur 5%, 10% dan 15% dengan penambahan *foam stabilizer* berupa *methyl celulosa* (0,5%). Ketebalan lapisan pengeringan divariasikan 1 mm, 2 mm, dan 3 mm, sedangkan untuk suhu pengeringan adalah 60 °C, 65 °C, 70 °C, dan 75 °C. Kondisi terbaik yang diperoleh pada proses pengeringan ini adalah pada komposisi putih telur 10%, *methyl celulosa* (0,5%) dengan ketebalan 1 mm dan suhu pengeringan 60°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengeringan tanpa *foam* membutuhkan waktu 40 menit lebih lama dibanding metode *foam-mat drying*. Data-data ini kemudian dijadikan sebagai dasar perancangan *Continuous Tipe Foam Mat Drying* (Raj Kumar dkk, 2006).

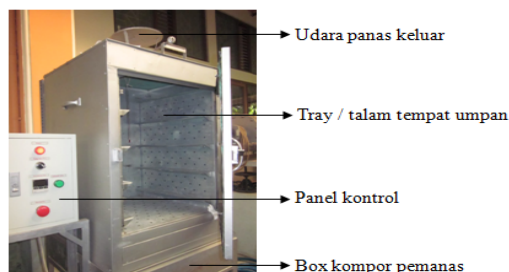
Banyaknya penelitian terdahulu yang memberikan informasi *study* pengeringan dengan metode *foam-mat drying*, mendorong adanya penelitian-penelitian baru yang lebih luas cakupannya dengan bahan yang disesuaikan dengan potensi tiap wilayah yang ada. Berdasarkan keunggulan *foam-mat drying* seperti yang disebutkan beberapa peneliti terdahulu bahwa *foam-mat drying* cocok untuk bahan-bahan yang memiliki kecenderungan tidak tahan panas, senyawa nutrisi dalam kandungannya sensitif, mudah terhidrolisis dan mudah rusak. Oleh karena itu metode pengeringan *foam-mat drying* akan diterapkan untuk pengeringan alga spirulina, mengingat potensi spirulina ini sangat baik di Indonesia yang notabene negara maritim.

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk membandingkan dua metode pengeringan, yaitu tanpa *foam-mat drying* dan dengan *foam-mat drying* sehingga diketahui kondisi operasi proses pengeringan yang cukup optimal, untuk

memperoleh produk pengeringan spirulina yang berkualitas relative baik dan memiliki efisiensi proses yang paling tinggi.

## 2. Bahan dan Metode Penelitian (atau Pengembangan Model bagi yang Simulasi/Permodelan)

Bahan baku yang digunakan berupa spirulina basah yang didapatkan dari PT. Trans Pangan Spirulindo Jepara. Rancangan percobaan terdiri tiga tahap yaitu penelitian tahap 1 untuk mengetahui komposisi terbaik, tahap 2 dengan memvariasi tebal dan tahap 3 dengan memvariasi suhu operasi pengeringan. Alat pengeringan yang digunakan adalah jenis *Tray Dryer* dengan luas permukaan pengeringan 75,39 cm<sup>2</sup>, laju volumetri udara pengeringan 2,194 m<sup>3</sup>/s .



Gb. 1. *Tray Drier*

Pada Penelitian tahap 1 terdiri dari 4 sampel yang dibuihkan dengan komposisi berbeda-beda, sebagai berikut:

Komposisi	Sampel 0	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
Spirulina	25%	23,25%	21%	20,75%
Air	75%	75%	76%	76%
Putih telur	-	2,5%	2,5%	5%
<i>Methyl cellulose</i>	-	0,25%	0,5%	0,25%
<i>mixing</i>		5 menit	5 menit	5 menit

Pembuihan dilakukan dengan *mixer philips* 840 rpm untuk sampel 1, 2, dan 3. Sampel dikeringkan dalam *tray dryer* pada suhu 60 °C. Pengamatan kadar air dilakukan pada saat proses pengeringan dengan cara menimbang semua sampel setiap 5 menit – 10 menit – 20 menit hingga diperoleh berat sampel konstan. Setelah itu ditentukan sampel mana yang paling cepat kering untuk selanjutnya dilakukan optimasi tebal. Komposisi dari sampel terbaik dijadikan patokan komposisi foaming sampel untuk penelitian tebal dan penelitian suhu.

Pada tahap ke 2, pengeringan spirulina dilakukan pada suhu 60 °C dengan menggunakan variabel berubah tebal lapisan 5mm, 3 mm, dan 1 mm. Plating dilakukan di cawan petry dengan membedakan jumlah penuangannya berdasarkan perbandingan berat dan volum, hingga dicapai tebal masing-masing 5 mm, 3 mm, dan 1 mm.

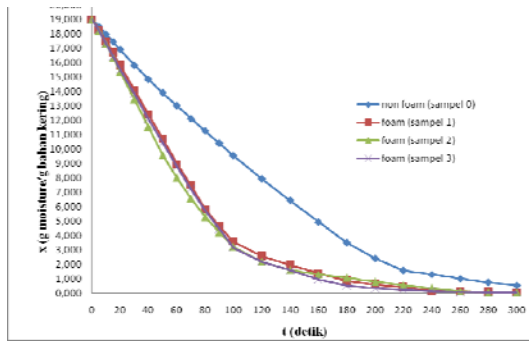
Tahap ketiga dilakukan variasi suhu dengan komposisi terbaik pada penelitian tahap 1 (variabel komposisi) dan tebal terbaik pada penelitian tahap 2 (variabel tebal). Variabel yang digunakan yaitu suhu 50 °C, 60 °C, 70 °C. Pengamatan kandungan air dilakukan pada setiap tahap penelitian (tahap 1, 2 dan 3) setiap 5 menit – 10 menit – 20 menit. Setelah didapatkan data kandungan air tiap satuan waktu maka selanjutnya ditentukan laju pengeringan dan membandingkan kurva kandungan air setiap waktu dan kurva laju pengeringan masing-masing variabel percobaan. Analisa kualitas produk meliputi analisa organoleptik (warna, struktur dan aroma) dan analisa kandungan *beta carotene*. Aalisa *beta carotene* dilakukan di Laboratorium Pangan UNIKA Soegrijapranata Semarang. Analisa ini dilakukan untuk mengetahui kelayakan produk *foam-mat drying* yang diterapkan pada spirulina.

## 3. Hasil dan Pembahasan

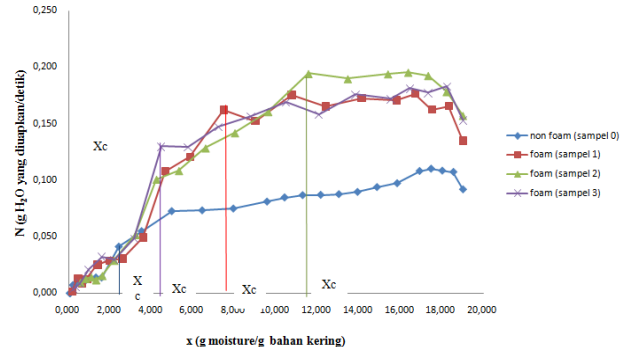
### Variabel Komposisi

Pada percobaan variabel komposisi, proses pengeringan dilakukan dengan suhu dan laju alir udara tetap, yaitu 60°C dan 2,194 m<sup>3</sup>/s. Pengamatan dilakukan terhadap berat sampel tiap waktu tertentu. Pada percobaan dengan variabel komposisi, kadar air awal tiap sampel adalah 19 g *moisture*/g bahan kering.

Dengan massa umpan yang sama, sampel dengan *metode foam-mat drying* lebih cepat kering, yaitu 80 menit lebih cepat bila dibandingkan dengan pengeringan *non foam-mat drying*. Hal ini disebabkan buih (*foam*) yang terbentuk memperluas *interface* (terbentuk gelembung – gelembung udara) sehingga memperluas bidang pengeringan. Semakin luas permukaan pengeringan maka luas bidang kontak untuk terjadinya mekanisme difusi (terlepasnya *moisture content* ke udara) ke udara menjadi besar.



Gb. 4.1. Grafik Hubungan antara Moisture Content Terhadap Drying Time

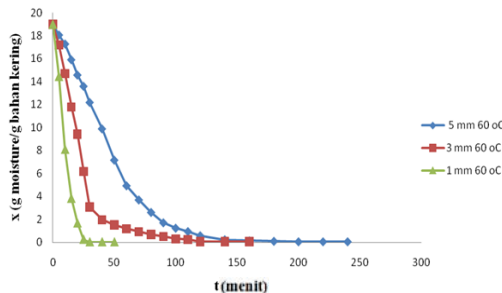


Gb. 4.2. Grafik Hubungan antara Moisture Content Terhadap Drying Rate

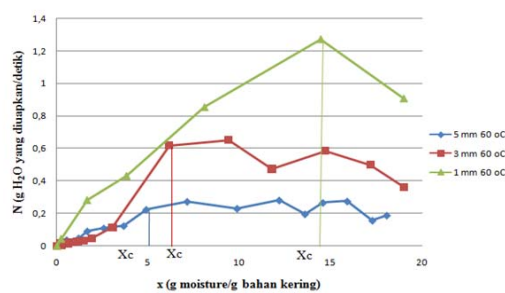
Variasi komposisi sampel *foam* (sampel 1, 2, dan 3) tidak memiliki perbedaan yang cukup signifikan terhadap profil laju pen<sub>2</sub> ringan. Namun demikian, untuk mencapai kadar air standar minimal produk makanan (< 5%), sampel 2 dengan komposisi *foam agent* (putih telur) 2,5 % dan *foam stabilizer* (*metil selulosa*) 0,5 % mampu memberikan waktu pengeringan 20 menit lebih cepat dari pada sampel *foam* 1 dan 3.

### Variabel Tebal

Pada percobaan variabel tebal bahan yang dikeringkan, proses pengeringan dilakukan dengan suhu dan laju alir udara tetap, yaitu 60°C, 2,194 m<sup>3</sup>/s dan dengan komposisi sampel yang sama, yang merupakan komposisi terbaik pada variabel komposisi, yaitu *foam agent* (putih telur) 2,5 % dan *foam stabilizer* (*metil selulosa*) 0,5 %. Pengamatan dilakukan terhadap berat sampel tiap waktu tertentu. Pada percobaan dengan variabel komposisi, kadar air awal tiap sampel adalah 19 g *moisture*/g bahan kering.



Gb 4 Grafik Hubungan antara Moisture Content Terhadap Drying Time



Gb 5 Grafik Hubungan Antara Moisture Content Terhadap Drying Rate

Pada suhu pengeringan dan luas permukaan pengeringan yang sama, ketebalan lapisan pengeringan memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap berkurangnya *moisture content* dalam bahan. Sampel dengan ketebalan bahan 1 mm memberikan waktu pengurangan *moisture content* ± 4 x lebih cepat dari pada pengeringan dengan ketebalan lapisan pengeringan 3 mm dan ± 6 x lebih cepat dari pada pengeringan dengan ketebalan 5 mm.

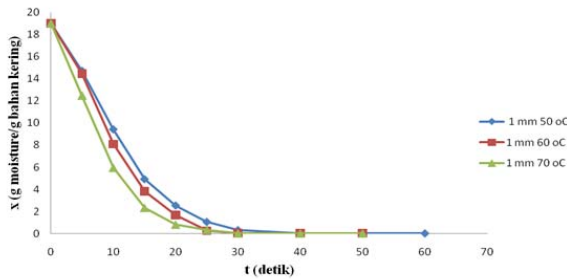
Dari data percobaan diperoleh hasil bahwa bahwa ketebalan bahan yang dikeringkan sangat mempengaruhi kecepatan difusi *moisture* pada bahan ke udara bebas. Hal ini sesuai dengan persamaan matematis laju *moisture* dinyatakan oleh hukum Fick hubungan antara koefisien difusifitas terhadap jarak pada arah 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:

$$= D_L \tag{1}$$

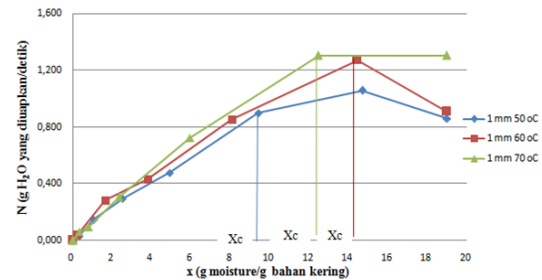
Dari persamaan hukum Fick diatas bisa dilihat bahwa hal yang berpengaruh dalam proses difusi adalah jarak pada arah mendifusi. Semakin kecil jarak pada arah difusi (X) maka laju difusifitas juga akan semakin besar.

**Variabel Suhu**

Pada percobaan variabel suhu bahan yang dikeringkan (50 °C , 60 °C , dan 70 °C), proses pengeringan dilakukan dengan tebal bahan yang dikeringkan 1mm, laju alir udara tetap yaitu 2,194 m<sup>3</sup>/s dan dengan komposisi sampel yang sama, yang merupakan komposisi terbaik pada variabel komposisi, yaitu *foam agent* (putih telur) 2,5 % dan *foam stabilizer* (*metil selulosa*) 0,5 %. Pengamatan dilakukan terhadap berat sampel tiap waktu tertentu. Pada percobaan dengan variabel komposisi, kadar air awal tiap sampel adalah 19 g *moisture*/g bahan kering.



Gb. 6 . Grafik Hubungan antara Moisture Content Terhadap Drying Time



Gb. 7 Grafik Hubungan Antara Moisture Content Terhadap Drying Rate

Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *equilibrium moisture content* pada ketebalan lapisan bahan yang sama dan dengan variasi suhu pengeringan adalah hampir sama (30-40 menit). Hal ini menunjukkan bahwa suhu pengeringan tidak memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap laju pengeringan pada metode *foam-mat drying* untuk bahan spirulina. Sampel dengan suhu pengeringan 60°C dan 70 °C memiliki laju pengeringan rata-rata yang sama, yaitu 0,638 g H<sub>2</sub>O yang diuapkan/detik. Sampel dengan suhu pengeringan 50°C memiliki laju pengeringan rata-rata yang lebih rendah, yaitu 0,538 g H<sub>2</sub>O yang diuapkan/detik. Difusifitas uap air dalam padatan adalah fungsi dari suhu dan kadar air. Ketergantungan suhu dari difusivitas secara memadai dijelaskan oleh persamaan Arrhenius sebagai berikut :

$$D_L = D_{L0} \exp ( \tag{2}$$

Difusifitas berbanding terbalik terhadap eksponensial fungsi suhu. Ini berarti bahwa semakin besar suhu maka nilai difusifitas akan semakin besar.

**Hasil Uji Organoleptik Produk Pengeringan Spirulina**

Tabel 1. Hasil Uji Organoleptik

Nilai rata-rata sensori	Kode Sampel	
	315	373
Warna	4,2	4,52
Tingkat kesukaan terhadap warna	4,2	4,72
Tekstur	2,68	5,24
Tingkat kesukaan terhadap tekstur	2,84	4,96
Aroma	1,6	2,84
Tingkat kesukaan terhadap aroma	2,04	3,44

Keterangan :

315 : Produk PT. Trans Pangan Spirulindo Jepara

373 : Produk *Foam-mat drying* dengan tebal lapisan bahan 1 mm dan suhu pengeringan 60 °C

Hasil uji organoleptik terhadap warna, tekstur, aroma, dan tingkat kesukaan menunjukkan bahwa sampel dengan metode *foam-mat drying* dengan komposisi *foam agent* (putih telur) 2,5 % dan *foam stabilizer* (*metil selulosa*)

0,5 %, dengan ketebalan lapisan bahan yang dikeringkan 1 mm dan suhu operasi pengeringan 60°C, cenderung lebih tinggi nilainya bila dibandingkan dengan sampel yang ada di pasaran (Produk PT. Trans Pangan Spirulindo Jepara)

#### **Analisa Beta-Carotene**

Data analisa yang dilakukan di Laboratorium Pangan UNIKA Soegijapranata Semarang menunjukkan bahwa spirulina yang telah dikeringkan dengan metode *foam-mat drying* pada suhu pengeringan 60 °C mengandung *beta-carotene* sebanyak 149,025 mg / 100 gr. Hal ini sudah sesuai dengan standart kandungan *beta-carotene* normal pada produk bubuk spirulina yang dipublikasikan Yani Murdani dan Andra Meida tahun 2007, yaitu sebesar 140 mg / 100 gr.

Adanya penambahan bahan penstabil pada teknologi *foam-mat drying* diduga akan menambah jumlah berat/volume dari komponen yang terkandung dalam bahan yang dikeringkan, karena pada umumnya bahan penstabil ini dapat memerangkap komponen lain seperti protein sehingga dapat berikatan dengan komponen bahan baku yang mengandung protein, sehingga pada saat dipanaskan (pengeringan) komponen tersebut tetap stabil dan tidak mengalami kerusakan. Adanya bahan penstabil busa dapat membentuk ikatan kompleks antara protein dan air, air yang terjebak oleh polisakarida, dapat berikatan dengan protein melalui ikatan hidrogen. Hal tersebut yang dinilai mampu membuat kandungan *beta-carotene* dapat dipertahankan pada proses pengeringan spirulina.

#### **4. Kesimpulan**

Dari variabel komposisi, tebal lapisan bahan yang dikeringkan dan suhu operasi pengeringan dapat direkomendasikan bahwa untuk pengeringan *foam-mat drying* pada spirulina sebaiknya dilakukan pada komposisi *foam agent* (putih telur) 2,5 % dan *foam stabilizer (metil celulosa)* 0,5 %, dengan ketebalan lapisan bahan yang dikeringkan 1 mm dan suhu operasi pengeringan 60°C.

Hasil uji organoleptik terhadap warna, tekstur, aroma, dan tingkat kesukaan menunjukkan bahwa sampel dengan metode *foam-mat drying* dengan komposisi *foam agent* (putih telur) 2,5 % dan *foam stabilizer (metil celulosa)* 0,5 %, dengan ketebalan lapisan bahan yang dikeringkan 1 mm dan suhu operasi pengeringan 60°C, cenderung lebih tinggi nilainya bila dibandingkan dengan sampel yang ada di pasaran.

Hasil uji *beta-carotene* menunjukkan bahwa spirulina yang telah dikeringkan dengan metode *foam-mat drying* pada suhu pengeringan 60 °C mengandung *beta-carotene* sebanyak 149,025 mg / 100 gr. Hal ini sudah sesuai dengan standar kandungan *beta-carotene* normal pada produk bubuk spirulina yang dipublikasikan Yani Murdani dan Andra Meida tahun 2007, yaitu sebesar 140 mg / 100 gr.

#### **Ucapan Terima Kasih**

Terima kasih disampaikan kepada Program PT. Trans Pangan Spirulindo Jepara yang telah memeberi bantuan dalam pengadaan bahan baku spirulina.

#### **Daftar Notasi (satuan harus menggunakan system Satuan Internasional (SI))**

$D_L$	= koefisien difusi fase cair yang bergerak melalui fase pada ( $ft^2/jam$ )
$X$	= jarak pada arah difusi (ft)
$R$	= konstanta gas, $J/(kgmol K)$
$E_a$	= energi aktivasi ( $KJ/mol$ )
$T_{abs}$	= suhu absolute (K)

#### **Daftar Pustaka**

- Arun M., 2007. Foam Mat Freeze Drying of Egg White and Mathematical Modeling. Department of Bioresource Engineering, Macdonald Campus of McGill University.
- Anonim. Modul Penanganan Mutu Fisis Organoleptik.
- Foust, A.S., 1979. Principles of Unit Operations 2 nd ed. John Wiley & Sons, New York.
- Iswari, Kasma., 2007. Kajian Pengolahan Bubuk Instant Wortel Dengan Metode Foam Mat Drying. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Sumatera Barat.
- Kumalaningsih, S., Supyayogi, B.Yuda., 2005. Tekno Pangan. Membuat Makanan Siap Saji. Trubus Agrisarana. Surabaya
- Pramudono, Bambang., 1987. Humidifikasi dan Pengeringan. Pusat Antar Universitas dan Gizi UGM, Yogyakarta.

- Rajkumar, P., R. Kailappan, R. Viswanathan, G.S.V. Raghavan and C. Ratti., 2005. Studies on Foam-mat Drying of Alphonso Mango Pulp. In *Proceedings 3rd Inter-American Drying Conference*, CD ROM, paper XIII-1. Montreal, QC: Department of Bioresource Engineering, McGill University.
- Suherman. Modul II Pengeringan. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang.