

M. Djaeni<sup>1)</sup>,  
A.  
Prasetyaningrum<sup>1)</sup>,  
A. Mahayana<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Kimia Fakultas  
Teknik Universitas Diponegoro  
Jl Prof. H. Soedharto, SH,  
Tembalang, Semarang Telp.  
0247460058

<sup>2)</sup>Jurusan Teknik Kimia Fakultas  
Teknik Universitas Setia Budi  
Jl Letjen Sutoyo, Mojosongo,  
Surakarta, Telp 0271852518

Email:  
mzaini98@yahoo.com  
m.djaeni@undip.ac.id  
argoto04\_usb@yahoo.com

## PENGERINGAN KARAGINAN DARI RUMPUT LAUT *Eucheuma Cottonii* PADA SPRAY DRYER MENGGUNAKAN UDARA YANG DIDEHUMIDIFIKASI DENGAN ZEOLIT ALAM Tinjauan: Kualitas Produk dan Efisiensi Energi

*Proses pengeringan dengan suhu tinggi akan menurunkan kualitas karaginan yang dihasilkan. Penelitian ini membahas penggunaan spray dryer yang dilengkapi dengan sistem adsorpsi menggunakan zeolit untuk pengeringan karaginan. Pada proses ini udara sebagai media pengering dikontakkan dengan zeolit untuk menurunkan kelembabannya. Kelembaban udara yang rendah akan meningkatkan driving force proses pengeringan, sehingga proses dapat dijalankan secara lebih efisien pada suhu yang lebih rendah dari pengeringan konvensional. Aspek yang dikaji pada penelitian ini adalah pengaruh suhu operasi dan kecepatan linier udara terhadap evaluasi efisiensi energi, mutu dan kadar air produk. Hasil menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu dan kecepatan udara pengering, proses pengeringan akan lebih cepat. Pada suhu 125°C dan kecepatan udara 14 m/detik dihasilkan karaginan dengan kadar air 11,35%, kekuatan gel 116 g/cm<sup>2</sup> dengan efisiensi rendemen produk 0,92, serta efisiensi energi 83,52%.*

**Kata kunci :** *pengeringan; spray dryer; dehumidifikasi; karaginan; zeolit.*

### PENDAHULUAN

Tanaman rumput laut (*seaweed*) dalam bahasa ilmiah dikenal dengan nama alga. Berdasarkan pigmen yang dikandung, *Eucheuma cottonii* merupakan rumput laut dari kelompok *Rhodopyceae* (alga merah) yang mampu menghasilkan karaginan yang banyak digunakan dalam berbagai industri (Djaeni, *et al*, 2012). Karaginan berfungsi untuk pengental, pengemulsi, pensuspensi, dan penstabil. Karaginan juga dipakai dalam industri pangan untuk memperbaiki penampilan produk kopi, bir, sosis, salad, es krim, susu kental, coklat, jeli. Industri farmasi memakai karaginan untuk pembuatan obat, sirup, tablet, pasta gigi, sampo dan sebagainya (MCPI corporation, 2009).

Kualitas karaginan 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 karaginan menjadi produk serbuk dilakukan pada kondisi suhu yang tinggi sehingga dihasilkan produk yang berwarna coklat. Selain itu sifat dari karaginan yang merupakan hasil pemisahan dari rumput laut yang berupa cairan kental dan lengket merupakan hambatan bagi pengolahan produk ini menjadi bahan yang kering. Selama ini proses pengeringan

karaginan menggunakan *drum dryer* atau *tray dryer*. Pengeringan dengan *drum dryer* mempunyai kekurangan yaitu membutuhkan panas yang tinggi dan banyak panas yang hilang karena pelat pengering langsung kontak dengan udara. Sedangkan pengeringan dengan *tray dryer* membutuhkan tempat yang relatif luas untuk mengatur ketebalan cairan/pasta karaginan yang dikeringkan.

Proses pengeringan yang langsung menghasilkan serbuk adalah dengan *spray dryer*. Proses ini dijalankan dengan mengeringkan cairan kental/pasta dalam bentuk butiran-butiran cairan dengan udara panas baik secara searah atau lawan arah. Kecepatan umpan, suhu pengeringan dan kecepatan udara pengering dapat diatur sehingga dapat dioperasikan secara kontinu untuk mencapai kapasitas tertentu. Proses pengeringan dengan cara *spray dryer* menjadi salah satu alternatif untuk dipergunakan dalam pengeringan karaginan, menggantikan sistem pengering dengan *drum dryer* maupun *tray dryer*. Penggunaan *spray dryer* mempunyai efektifitas pengeringan yang baik sehingga dapat dioperasikan pada suhu yang relatif rendah dan dapat langsung menghasilkan produk serbuk.

Salah satu kendala yang dihadapi pada proses pengeringan dengan *spray dryer* di Indonesia

adalah kondisi kelembaban udara yang cukup tinggi yang menyebabkan tingginya suhu proses yang diperlukan. Dengan suhu tinggi kualitas karaginan akan menurun karena terjadi degradasi nutrisi terutama polisakarida. Kelembaban udara dapat diturunkan dengan melewati udara dalam kolom berisi adsorben yang akan menyerap uap air didalamnya sebelum masuk dalam ruang pemanas. Salah satu adsorben yang dapat digunakan adalah zeolit. Zeolit mempunyai sifat tidak beracun dan mempunyai kemampuan menyerap kelembaban udara cukup baik sehingga udara luar yang masuk dalam kolom pemanas/heater menjadi lebih kering.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan pengaruh suhu dan kecepatan udara pengering terhadap efisiensi energi dan efisiensi rendemen produk, kadar air, dan mutu karaginan. Sehingga akan diperoleh kondisi proses yang dapat direkomendasikan untuk proses pengembangan lanjut.

## METODE PENELITIAN

Rumput laut yang telah kering dipisahkan dari pasir dan kotoran lainnya sampai bersih kemudian direndam dalam air dengan perbandingan 1:20. Hasil rendaman rumput laut di dipotong kira-kira sepanjang 2 cm kemudian ditambahkan KOH sampai pH larutan menjadi 8,5 dan dipanaskan pada suhu 80°C selama 2 jam sambil di aduk. Setelah dipanaskan larutan segera di saring dengan kain saring, filtrat di tampung dalam wadah kemudian di netralkan dengan menambahkan asam asetat glasial sampai pH larutan netral. Setelah filtrat dingin dilakukan pengendapan karaginan dengan menambahkan alkohol 90% dengan perbandingan 2:5.

Hasil karaginan setengah padat dikeringkan dengan *spray dryer* yang dilengkapi dengan zeolit sebagai penyerap kelembaban udara luar sebagai pengering. Variabel dalam penelitian ini adalah suhu kolom dan kecepatan udara pengering masuk. Analisis hasil karaginan kering yang dilakukan adalah kadar air (*moisture content*) dan kekuatan gel (*gell strength*).

## Analisa Kadar Air

Penentuan kadar air dilakukan berdasarkan perbedaan bobot contoh sebelum dan sesudah pengeringan. Mula-mula cawan kosong dikeringkan dalam oven 100-105°C selama 30 menit dan didinginkan dalam desikator kemudian ditimbang. Contoh sebanyak (2,0-3,0) gram dipanaskan dalam oven pada suhu 105 °C selama beberapa jam sampai beratnya konstan. Kemudian contoh yang sudah dikeringkan tersebut dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit lalu ditimbang.

## Kekuatan gell (*gell strenght*)

Larutan agar-agar disiapkan dengan konsentrasi 3,0 persen dalam air panas pada suhu 80°C diaduk selama 10 menit. Berat total sebelum dan sesudah pemanasan dijaga konstan. Larutan panas dimasukkan ke dalam cetakan yang berdiameter 3 cm dan tinggi 4 cm. Larutan agar-agar dibiarkan membentuk gel selama satu malam.

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *Texture Analyzer*. Gel dari cetakan ditempatkan pada alat pengukur. Kondisi pengukurannya yaitu :

- Batang penekan berdiameter 3,0 mm.
- Beban dan pegas diatur sampai dapat menembus gel.
- Laju penetrasi batang penekan diatur dengan kecepatan tertentu.

Setelah posisi batang penekan tepat ditengah permukaan gel, *Teksture Analyzer* diaktifkan sampai ditengah batang penekan menembus permukaan gel.

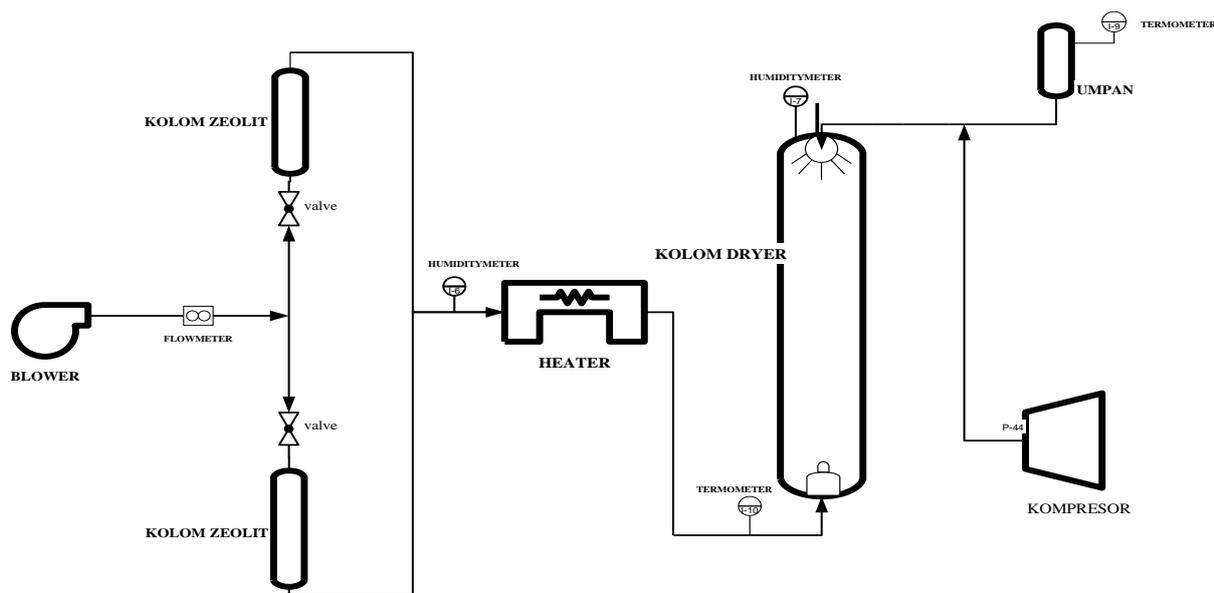
## Efisiensi Produk

*Efisiensi* produksi bubuk dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\eta_{po} = \frac{m_{po} \times (1 - X_{po}) \times 100}{m_{pasta} \times (1 - X_{pasta})} \quad (1)$$

dimana :

- $\eta_{po}$  = efisiensi produksi bubuk
- $m_{po}$  = massa bubuk
- $X_{po}$  = moisture content bubuk
- $m_{pasta}$  = massa umpan pasta
- $X_{pasta}$  = moisture content umpan pasta



Gambar 1. Rangkaian Alat *Spray Dryer*

**Efisiensi Energi**

Efisiensi energi merupakan parameter yang ditentukan dari proses pengeringan dengan menghitung jumlah panas yang digunakan dalam proses dibagi dengan total jumlah panas yang masuk. Panas dapat dihitung dengan persamaan (Smith and Van Ness, 1987) :

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \tag{2}$$

Dimana :

Q = Panas (kalori)

M = berat zat (g)

C<sub>p</sub> = kapasitas panas (kal/g°C)

ΔT = selisih suhu awal dan akhir (°C)

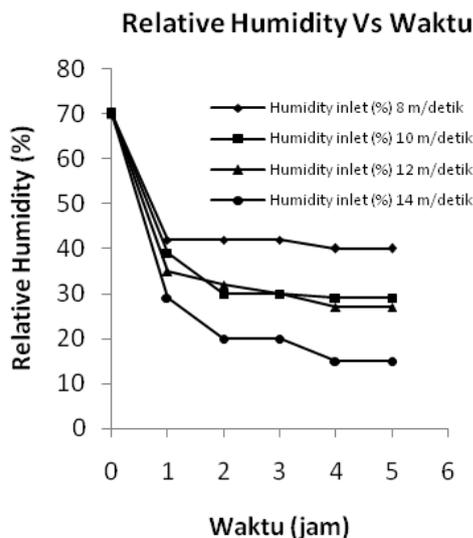
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Dehumidifikasi udara dengan zeolit**

Zeolit merupakan salah satu mineral yang efektif jika digunakan dalam proses penyerapan kelembaban udara karena struktur molekulnya yang berpori dengan ukuran 3-4 Å, serta memiliki afinitas tinggi terhadap air. Kemampuan zeolit menyerap kelembaban udara akan meningkat setelah dilakukan aktivasi untuk membersihkan pori dari kotoran sehingga memperbanyak jumlah pori yang berada dalam butiran zeolit.

Zeolit alam yang telah diaktivasi dalam percobaan ini mampu menyerap kelembaban udara pengering seperti yang terlihat pada Gambar 2 yang ditunjukkan dengan menurunnya kelembaban relatif (*relative humidity*). Pada grafik tersebut terlihat bahwa kecepatan udara dan waktu

kontak berpengaruh terhadap kemampuan zeolit menyerap kelembaban udara. Kecepatan udara yang tinggi akan mempengaruhi penurunan kelembaban. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi kecepatan udara menyebabkan semakin besar kemampuan udara untuk berdifusi kedalam pori-pori zeolit sehingga semakin banyak jumlah uap air yang dapat diserap oleh zeolit.



Gambar 2. Hubungan antara kelembaban relatif (*relative humidity*) udara terhadap waktu pada berbagai kecepatan udara dengan adsorben zeolit

Kondisi penyerapan yang paling baik terjadi pada kecepatan udara 14 m/detik. Pada kondisi ini terlihat bahwa kelembaban udara mula-mula 70% dan setelah melewati kolom zeolit kelembaban

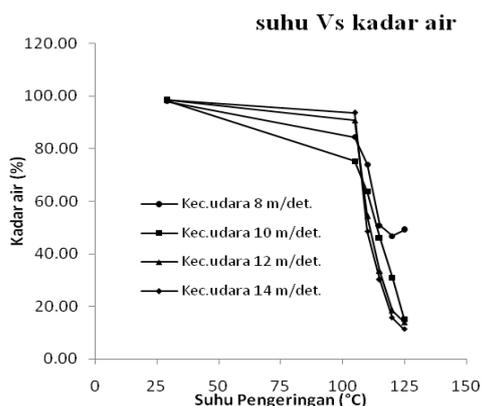
turun menjadi 15%. Fakta ini menunjukkan bahwa kelembaban menurun dengan cepat pada laju aliran udara yang tinggi karena meningkatkan koefisien perpindahan massa antara udara dan zeolit (Rosalam *et al.*, 2010). Setelah kelembaban turun dan mencapai batas minimal, kemampuan zeolit menyerap kelembaban tidak berubah. Hal ini disebabkan oleh karena jumlah uap air yang telah diadsorpsi oleh zeolit yang berada dalam pori kristal mencapai batas kejenuhan sehingga tidak mampu lagi untuk menyerap uap air yang lebih besar.

Temperatur udara yang telah didehumidifikasi akan meningkat pada saat kelembaban udara turun. Hal ini sesuai dengan literatur bahwa penurunan kelembaban relatif berhubungan dengan kenaikan suhu udara (Zhang, *and* Wu, 2010).

### Pengaruh temperatur pengeringan terhadap kadar air produk

Pengeringan karaginan dengan spray dryer pada penelitian ini termasuk dalam metode pengeringan secara mekanik. Menurut Rini (2000) pada metoda pengeringan secara mekanik faktor-faktor seperti suhu, kelembaban udara dan aliran udara dapat mempengaruhi proses pengeringan yang berlangsung. Faktor-faktor tersebut diduga yang menyebabkan terjadinya perbedaan kadar air.

Hasil penelitian seperti terlihat pada Gambar 3 menunjukkan bahwa kadar air karaginan yang dihasilkan dari pengeringan dengan spray dryer dipengaruhi oleh suhu dan kecepatan udara pengering. Produk karaginan yang dihasilkan pada suhu dan kecepatan udara pengering tertinggi yaitu pada 125°C dan 14 m/detik mempunyai kadar air paling rendah yaitu 11,35% dibandingkan dengan pengeringan yang dilakukan pada suhu dan kecepatan udara pengering sebelumnya yaitu antara 105 - 120°C dan pada kecepatan udara 8 - 12 m/detik.



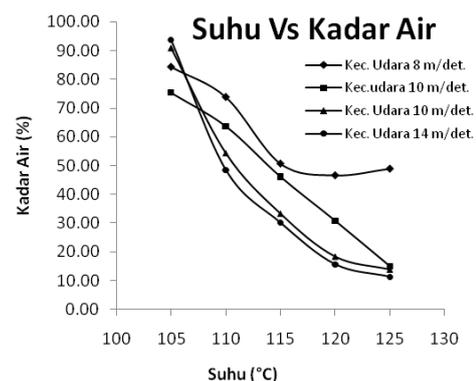
Gambar 3. Hubungan antara suhu pengeringan dengan kadar air

### Pengaruh kecepatan udara terhadap kadar air produk

Kecepatan udara pengering merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pengeringan secara mekanik. Kecepatan udara pengering berpengaruh terhadap kecepatan difusi panas dari udara kedalam molekul bahan sehingga meningkatkan temperatur molekul di dalam bahan. Peningkatan temperatur didalam molekul air menyebabkan tekanan uap air didalam molekul bertambah sehingga air yang berada dalam bahan semakin mudah keluar dari molekul bahan (Dobry, *et al.*, 2009).

Bertambahnya kecepatan udara pengering akan meningkatkan difusi panas udara ke dalam butiran-butiran umpan sehingga meningkatkan jumlah air yang dapat diuapkan. Hal ini dapat terlihat pada kecepatan udara pengering 14m/detik penurunan kadar air terjadi secara perlahan pada awal proses dan semakin meningkat dengan bertambah panasnya udara pengering. Kondisi ini terjadi karena pada kecepatan udara yang besar, udara hasil proses pengeringan tidak dapat keluar langsung dari kolom. Desain kolom pengering yang tidak dilengkapi dengan kolektor produk pada bagian akhir kolom menyebabkan distribusi udara yang keluar tidak lancar.

Setelah temperatur semakin tinggi dan dengan bertambahnya kecepatan udara pengering, penurunan kadar air semakin meningkat seperti terlihat dalam Gambar 4. Dari gambar tersebut terlihat bahwa semua variabel kecepatan udara pengering pada berbagai temperatur terjadi penurunan kadar air karaginan. Hal ini dapat diartikan bahwa pada proses pengeringan terjadi proses transfer panas dan massa antara udara pengering dan kelembaban yang ada di dalam karaginan dan penurunan kadar air paling baik terjadi pada kecepatan udara 14 m/detik.



Gambar 4. Hubungan antara suhu pengeringan dengan kadar air pada berbagai kecepatan udara

### Kekuatan gel

Kekuatan gel merupakan suatu beban maksimum yang dibutuhkan untuk memecahkan matrik polimer pada daerah yang dibebani (Rini, 2000). Semakin berat beban yang diperlukan, maka kekuatan gel yang dihasilkan akan semakin tinggi. Kemampuan membentuk gel merupakan salah satu sifat karaginan yang menjadi dasar penggunaannya pada berbagai industri. Kekuatan gel karaginan dipengaruhi oleh suhu pengeringan dimana semakin tinggi suhu kekuatan gel akan semakin turun.

**Tabel 1. Kekuatan Gel Produk Karaginan**

Suhu pengering 125°C Kecepatan udara (m/detik)	Kekuatan gel (g/cm <sup>2</sup> )
8	62.71
10	74.57
12	89.6
14	116

Hasil penelitian seperti yang terlihat dalam Tabel 1 menunjukkan bahwa kekuatan gel karaginan yang dihasilkan dengan menggunakan pengering semprot pada suhu pengeringan 125°C pada kecepatan udara pengering 8 sampai dengan 14 m/detik berkisar antara 62.71 sampai 116 g/cm<sup>2</sup>. Menurut kutipan dari Eko (2005) dinyatakan bahwa kekuatan gel karaginan *Eucheuma cottoni* antara 26,09 g/cm<sup>2</sup> sampai 334,0 g/cm<sup>2</sup>. Berdasarkan data di atas maka kekuatan gel karaginan hasil pengeringan dengan *spray dryer* berada pada kisaran standar.

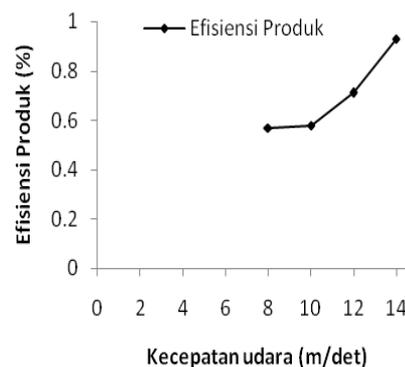
Proses pengeringan yang digunakan dalam penelitian ini diduga tidak mempengaruhi kekuatan gel karaginan yang dihasilkan. Hasil kekuatan gel yang diperoleh dari tepung karaginan tidak terlalu tinggi kemungkinan ini disebabkan oleh bahan baku rumput laut kering yang digunakan telah mengalami pengolahan awal. Bahan baku yang digunakan untuk membuat karaginan sebaiknya rumput laut yang masih segar yang hanya mengalami pencucian dengan air tanpa penambahan zat kimia yang menyebabkan kerusakan.

### Efisiensi produk

Efisiensi produksi bubuk merupakan perbandingan antara massa bubuk yang diperoleh dengan massa umpan, yang merupakan indikator performa alat (Hanny, 2009). Efisiensi produk

akan mengalami peningkatan dengan semakin bertambah tingginya suhu dan kecepatan udara pengering. Hal ini diakibatkan karena suhu dan kecepatan udara yang tinggi akan mempercepat proses penguapan pada permukaan dan bagian dalam partikel karena adanya perbedaan tekanan uap cairan. Hasil percobaan terlihat pada Gambar 5 dimana pada suhu yang sama, dengan bertambahnya kecepatan udara pengering maka efisiensi produk semakin meningkat.

**Efisiensi Produk Karaginan Pada Suhu 125°C**



**Gambar 5. Efisiensi produk pengeringan dengan spray dryer pada suhu 125°C**

Hal ini disebabkan karena pada kecepatan udara yang tinggi, perbedaan antara tekanan uap dari bahan dan udara semakin besar sehingga air yang berada dalam permukaan bahan semakin cepat menguap. Efisiensi produk dalam percobaan ini tidak ditentukan pada produk yang berupa serbuk karena produk yang dihasilkan pada alat *spray dryer* dalam percobaan masih berupa lempengan-lempengan seperti terlihat dalam Gambar 6. Produk pengeringan *spray dryer* seharusnya dihasilkan produk yang berupa serbuk.



**Gambar 6. Hasil pengeringan karaginan**

Kondisi kadar air yang masih cukup tinggi pada umpan karaginan menyebabkan jumlah massa yang disemprotkan dalam umpan lebih banyak komponen airnya daripada padatan karaginan sehingga udara panas sebagai pengering yang

diberikan tidak mampu untuk menguapkan semua air yang ada.

### Efisiensi energi

Pada akhir proses pengeringan dilakukan analisis efisiensi proses pengeringan. Hasil analisis efisiensi energi untuk pengeringan karaginan disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2. Efisiensi energi proses pengeringan karaginan dengan spray dryer**

Kec. udara (m/detik)	Efisiensi Energi (%)				
	105°C	110°C	115°C	120°C	125°C
10	77.32	78.81	80.11	81.27	82.30
12	77.34	78.94	80.32	81.54	82.61
14	78.36	79.93	81.29	82.48	83.52

Dalam Tabel 2 terlihat bahwa pada kondisi suhu yang sama dengan kecepatan udara yang berbeda, efisiensi energi semakin meningkat tetapi peningkatan efisiensi energi relatif kecil yaitu rata-rata sebesar 0,6%. Efisiensi energi terbesar terjadi pada proses dengan kondisi kecepatan udara 14 m/detik pada suhu 125°C dengan nilai efisiensi sebesar 83,52%. Dari hasil tersebut terlihat bahwa kecepatan udara berpengaruh kecil terhadap efisiensi proses. Hal ini disebabkan karena pada kecepatan udara yang semakin tinggi, panas udara pengering tidak mampu bertumbukan maksimal dengan umpan.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada proses dehumidifikasi udara pengering dengan zeolit alam, kelembaban relatif udara turun dan dipengaruhi oleh kecepatan udara masuk dalam kolom zeolit alam. Penurunan kelembaban relatif udara turun dari mula-mula 70 % menjadi 15 %. Penurunan kelembaban relatif ini diikuti dengan kenaikan temperatur udara yang semula 28°C menjadi 42°C.
2. Kadar air produk karaginan dipengaruhi oleh suhu dan kecepatan udara pengering masuk dalam kolom. Hasil karaginan dengan kadar air terendah yaitu sebesar 11,35% dicapai pada kondisi proses dengan temperatur kolom 125°C dengan kecepatan udara pengering 14 m/detik.
3. Kekuatan gel (*gell strength*) produk karaginan pada temperatur yang sama semakin meningkat dengan semakin tingginya kecepatan udara pengering. Kekuatan gel yang dihasilkan pada kecepatan udara 14 m/detik sebesar 116 g/cm<sup>2</sup>

yang masih berada dalam kisaran standar yaitu 26,09 g/cm<sup>2</sup> sampai 334,0 g/cm<sup>2</sup>.

4. Efisiensi produk karaginan pada suhu yang sama semakin meningkat dengan bertambah tingginya kecepatan udara pengering. Nilai efisiensi produk karaginan yang dihasilkan sebesar 0,92 dan ditentukan pada produk yang masih berupa lempengan-lempengan.
5. Efisiensi energi proses pengeringan semakin meningkat dengan semakin tingginya suhu dan kecepatan udara pengering. Nilai efisiensi proses pengeringan karaginan sebesar 83,52% didapatkan pada kondisi suhu 125°C dan kecepatan udara 14 m/detik.

### Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan perlu dikaji lebih lanjut hal-hal yang berkaitan dengan :

1. Penggunaan atomizer pada nozzle sehingga distribusi droplet menjadi lebih seragam.
2. Penambahan kolom pemisah debu (*cyclone*) sehingga hasil karaginan dapat dipisahkan.
3. Umpan karaginan yang lengket lebih sesuai jika menggunakan pompa untuk mendistribusikan umpan ke dalam kolom.

### DAFTAR PUSTAKA

- Djaeni, M., S.B. Sasongko, A.A. Prasetyaningrum, X. Jin, and A.J. van Boxtel, 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
- Dobry, D.E., D.M. Settell, J. M. Baumann, R.J. Ray, L. J. Graham, R. A. Beyerinck, 2009. A Model-Based Methodology for Spray-Drying Process Development. *J Pharm Innov* (2009) 4:133–142.
- Eko, P., 2005. *Pengaruh Campuran Kappa dan Iota Karaginan Terhadap Kekuatan Gel dan Viskositas Karaginan Campuran*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor.
- Hanny, V., 2010. *Pengeringan Pasta Susu Kedelai Menggunakan Pengering Unggun Terfluidakan Partikel Inert*. Thesis. Universitas Diponegoro. Semarang
- MCPI Corporation, 2009. Introduction to Natural Grade Carrageenan. Brochure of MCPI corporation, Philipines. <http://www.mcpicarrageenan.com> (accessed February 15, 2009)

- Smith, J.M., and H.C. van Ness, 1987. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*. Fourth Edition. Mc.Graw-Hill. Singapore.
- Rini, I., 2000. Modifikasi Proses Pembuatan Tepung Agar-agar dengan Menggunakan Pengereng Semprot (Spray Dryer) dan Pengereng Drum (Drum Dryer). Skripsi. Institut Pertanian Bogor.
- Rosalam, S., W. Tracy, B. Awang, and K. Duduku, 2010. Kinetic and Thermodynamic Characteristics of Seaweed Dried in the Convective Air Drier. *International Journal of Food Engineering*. Volume 6, Issue 5. Article 7.
- Zhang, J. and Y. Wu, 2010. Experimental Study on Drying High Moisture Paddy by Heat Pump Dryer with Heat Recovery. *International Journal of Food Engineering*. Volume 6, Issue 2 2010 Article 14.