

## KAJIAN ENERGI KEMOREAKSI KAPUR API UNTUK PENGERINGAN BENIH CABE MERAH

### *Study on Chemoreaction Energy of Quicklime Stone for Drying of Red Chilli Seeds*

Elisa Julianti<sup>1</sup>, Soewarno T. Soekarto<sup>2</sup>, Purwiyatno Hariyadi<sup>3</sup>, Atjeng M.Syarief<sup>4</sup>

#### ABSTRACT

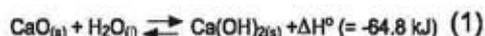
*This research was aimed to study the energy potential of quicklime stone chemoreaction for the application to drying process of red chilli seeds. The experiment demonstrated that chemoreaction energy released from water reaction with CaO containing lime stone could be used for drying process of chilli seeds at ambient temperature to a very low moisture, varying of 2.5 – 3.7 % wb. The chemoreaction energy released from reaction between lime stone and plane water was 1.06 kJ/g lime stone. At excessive water condition particle sizes of lime stone did not affect chemoreaction energy, but smaller size particles enhanced the energy release from the reaction. Using three particle sizes of lime stone the energy efficiency for drying of red chilli seeds ranged 54.0 – 64.0 % and for plane water evaporation ranged 57.4 – 71.6 %. The energy effectiveness for chilli seeds drying was 4.7 kJ/g water and for plane water evaporation was 4.1 kJ/g, implying the presence of bound water in the chilli seeds.*

**Keywords :** Quicklime Stone, Chemoreaction, Drying, Red Chilli Seed

*Diterima:1 Juni 2006; Disetujui: 21 Maret 2007*

#### PENDAHULUAN

Kapur api, CaO, (*quicklime*) adalah hasil pembakaran batu kapur (CaCO<sub>3</sub>) yang sangat reaktif dengan air dan membentuk Ca(OH)<sub>2</sub>. Dalam proses reaksi ini dilepaskan energi panas cukup besar yaitu 64.8 kJ per mol reaktan. sebagai berikut :



Secara stokiometrik dari reaksi tersebut dapat diserap air sebesar 18.02 gram air per 56.08 gram kapur api atau 1/3 kali berat CaO (BM CaO = 56.08 g/mol dan H<sub>2</sub>O = 18.02 g/mol). Secara teoritis reaksi yang bersifat eksotermi ini dapat menyebabkan kenaikan suhu mencapai 700°C (Chang dan Tikkanen, 1988).

Energi panas yang dikeluarkan dan RH rendah yang dihasilkan dari reaksi ini dapat digunakan untuk proses

<sup>1</sup> Departemen Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian USU

<sup>2</sup> Departemen TPG FATETA IPB

<sup>3</sup> Departemen TPG FATETA IPB

<sup>4</sup> Departemen Mekanisasi Pertanian FATETA IPB

pengeringan bahan. Selama proses pengeringan bahan dalam ruang pengering akan menyerap panas dan digunakan untuk penguapan air dalam bahan. Uap air yang dilepaskan bahan segera diserap dan bereaksi dengan kapur api dalam ruang pengering untuk menghasilkan energi panas. Karena proses reaksi berlangsung simultan maka RH sangat rendah dan suhu ruang pengering tetap rendah ( $30^{\circ}\text{C}$ ), sekitar suhu ambien. Dengan demikian proses pengeringan ini cocok sekali untuk mengeringkan bahan yang peka terhadap suhu tinggi, seperti benih. Karena dari reaksi kimia dihasilkan dua parameter pokok dalam proses pengeringan yaitu RH rendah dan energi panas untuk penguapan air maka proses pengeringan ini disebut pengeringan kemoreaksi.

Pengeringan kemoreaksi berbeda dengan pengeringan absorpsi, seperti pengeringan dengan gel silica, yang hanya berdasarkan sifat higroskopik bahan absorben. Pengeringan absorpsi masih memerlukan tambahan energi panas untuk mempercepat penguapan air, dan bahan absorbennya dapat dipakai ulang untuk pengeringan setelah perlakuan regenerasi (Mackenzie and Sharp, 1988).

Proses pengeringan dengan kemoreaksi antara kapur api dengan uap air dalam ruang pengering dipengaruhi oleh jumlah, ukuran partikel dan kadar CaO kapur api. Tujuan penelitian ini adalah untuk analisis potensi energi, efektifitas dan efisiensi pengeringan kemoreaksi dengan kapur api serta aplikasinya untuk pengeringan benih cabe merah yang nilai ekonominya tinggi.

## BAHAN DAN METODE

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah kapur api (mengandung CaO 91%) yang diperoleh dari Pabrik Kapur "Djaya" di desa

Cibadak, Kecamatan Ciampea, Kabupaten Bogor. Cabe merah dibeli dari pasar induk Cimanggu Bogor. Benih cabe diperoleh dengan cara memisahkan biji cabe secara manual. Bagian buah cabe yang diambil bijinya hanya bagian tengah, bagian pangkal dan ujung tidak digunakan. Buah dibelah secara membujur dan biji-bijinya dikeluarkan, dicuci dan ditiriskan.

Alat pengering yang digunakan dalam penelitian ini adalah lemari pengering buatan Departemen Teknologi Pangan dan Gizi, IPB, Bogor, yang kedap terhadap gas, panas dan uap air (Gambar 1). Dinding dan pintu lemari pengering terdiri atas tiga lapis, yaitu bagian luar terbuat dari tripleks, sedangkan bagian dalam dilapisi dengan isolator berupa *styrofoam* dan *fiber glass*. Pintu lemari pengering terdiri atas dua lapis pintu, pintu dalam terbuat dari kaca transparan dan pintu luar tersusun seperti dinding lemari. Bagian dalam ruang pengering terdapat terdapat 3 rak pengering, yaitu 2 rak sebagai rak kapur yang terletak dibagian atas dan bawah serta 1 rak bahan di bagian tengah. Dalam penelitian ini dilakukan tiga percobaan.

Percobaan pertama untuk menentukan besarnya potensi energi kemoreaksi dari kapur api, dilakukan percobaan kemoreaksi menggunakan kapur api dan air murni dengan perbandingan massa antara kapur api dan air destilata adalah 1 : 1 massa (sama dengan 1 : 3 mol). Untuk kajian pengaruh ukuran partikel kapur digunakan 3 ukuran dengan cara pengayakan pecahan batu kapur api yaitu ukuran kecil 12 mm (berat  $2 \pm 0.5$  g/partikel), ukuran besar 60 mm ( $29 \pm 2$  g/partikel) dan bongkahan terdiri atas campuran berbagai ukuran (Tabel 1).

Percobaan kedua untuk kajian proses pengeringan kemoreaksi dilakukan terhadap benih cabe merah basah, dan sebagai pembanding juga dilakukan terhadap penguapan air murni (air

destilata). Percobaan dilakukan dengan perbandingan kapur api : benih yaitu 10 : 1, serta terhadap penguapan air murni setara kandungan air dalam biji cabe dengan perbandingan kapur : air = 21.5 : 1. Percobaan dilakukan dengan cara memasukkan kapur api dan benih cabe merah ke dalam lemari pengering. Kapur api diletakkan pada rak kapur sedangkan air murni atau benih cabe merah basah diletakkan pada rak bahan yang terletak di tengah (Gambar 1). Massa air destilata yang dimasukkan setara dengan jumlah air yang terkandung dalam benih (yang ditentukan setelah diukur kadar air benih sebelum dikeringkan).

Percobaan ketiga untuk kajian efisiensi energi kemoreaksi dan efektifitas aplikasi untuk pengeringan biji cabe merah kapur api yang digunakan berlebihan dengan perbandingan kapur : benih cabe = 10 : 1 (secara teoritis kapur api dapat menyerap air maksimum 1/3 kali dari berat CaO yang digunakan).

Pengukuran kadar air benih cabe dan kapur api dilakukan dengan metoda AOAC (1995). Pengamatan proses pengeringan dilakukan secara periodic terhadap jumlah air yang diuapkan dari biji cabe atau air murni dengan cara menimbang bahan sebelum dan sesudah pengeringan, dan terhadap jumlah uap air yang diserap CaO dengan menimbang kapur sebelum dan sesudah pengeringan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Reaksi antara CaO dengan air ( $H_2O$ ) merupakan reaksi eksoterm yang mengeluarkan sejumlah energi panas berdasarkan persamaan reaksi (1) yang diturunkan menjadi persamaan operasi (2) :

$$q = m_a \cdot H \quad (2)$$

atau

$$q = \text{mol reaktan kali } 64.8 \text{ kJ/mol} \quad (3)$$

dimana q = energi panas yang dihasilkan dari proses kemoreaksi (kJ),  $m_a$  = mol reaktan air atau CaO, dan H = panas kemoreaksi (64.8 kJ/mol).

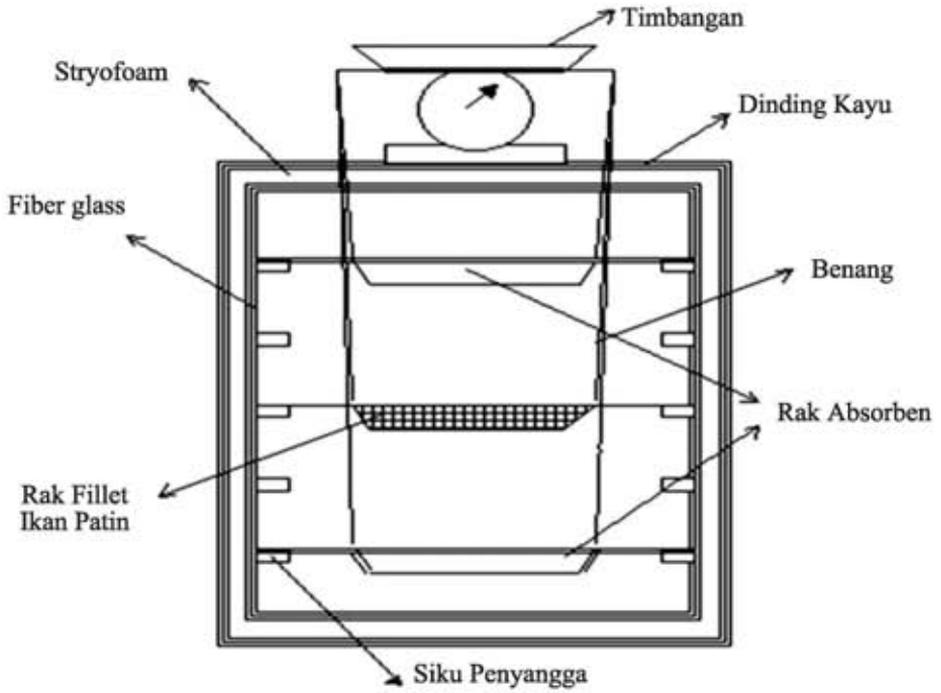
### 1. Potensi Energi Kemoreaksi dan Pengaruh Ukuran Partikel Kapur Api terhadap Absorpsi Air

Berdasarkan nilai berat molekul dan reaksi pada persamaan (1), maka secara teoritis massa air yang dapat diserap untuk bereaksi dengan kapur api adalah 1/3 kali massa CaO. Pada percobaan ini, banyaknya kapur api yang digunakan adalah 51.0 g dengan kandungan CaO sebesar 91% maka banyaknya CaO adalah 46.4 g (0.83 mol) sedangkan air murni yang digunakan berlebihan, sebanyak 50 g (2.8 mol).

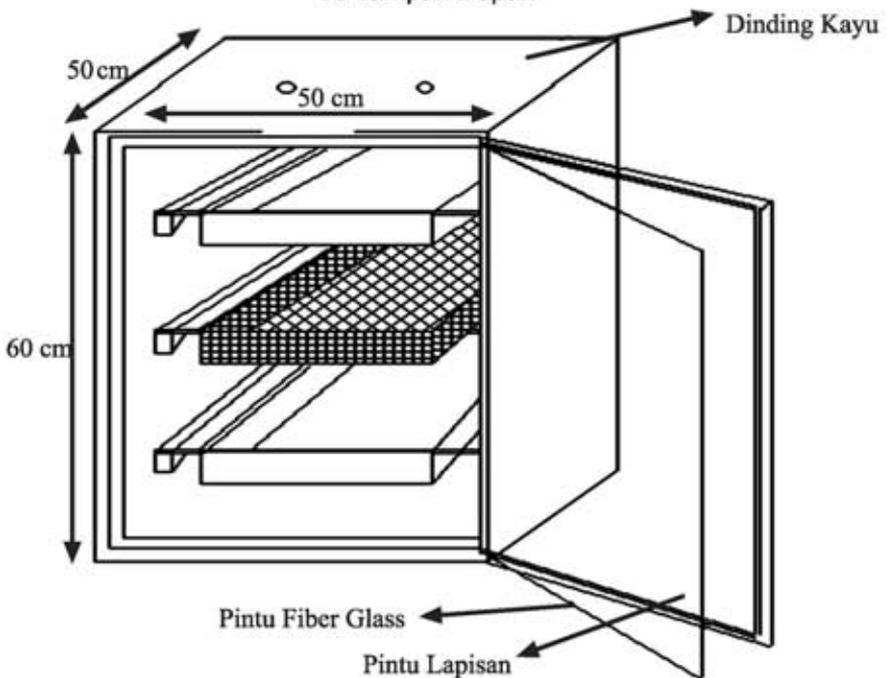
Data bahan yang digunakan, hasil perhitungan dan hasil pengukuran dari percobaan ini disajikan pada Tabel 1. Dari Tabel 1, parameter #1 (massa air) dan #2 (massa kapur api) yang digunakan dalam dalam percobaan sama untuk 3 ukuran partikel kapur. Parameter #3 – #9 adalah hasil perhitungan berdasarkan data dari parameter #1 dan #2, karenanya sama nilainya untuk 3 ukuran partikel. Karena reaktan air jauh lebih besar daripada kapur api maka perhitungan energi didasarkan pada mol CaO.

Hasil pengukuran absorpsi air untuk 3 ukuran partikel berturut-turut 16.7, 16.8 dan 16.6 g, yang berarti lebih tinggi daripada air untuk kemoreaksi yaitu 14.9 g (= 0.83 X 18 g). Jadi mol air, yang besarnya sama dengan mol CaO, adalah juga 0.83 mol dan menghasilkan energi panas sebesar 0.83 mol kali 64.8 kJ/mol = 53.8 kJ.

Dari proses kemoreaksi itu dihasilkan  $Ca(OH)_2$  kering (berat molekul 74 g/mol) sebanyak 0.83 mol kali 74 g/mol = 61.4 g, dan kapur kering 51.0 + 14.9 = 65.9 g. Pada akhir percobaan setelah absorpsi air, massa kapur menjadi 67.7,



A. Tampak Depan



B. Lemari pengering dengan dua pintu

Gambar 1. Diagram skematik alat pengering kemoreaksi (modifikasi Halim, 1995)

Tabel 1. Perhitungan energi kemoreaksi dan hasil percobaan absorpsi air murni pada berbagai ukuran kapur api dengan perbandingan kapur dan air murni 1 : 1.

Parameter	Ukuran Kecil	Ukuran Besar	Ukuran Campuran
1. Massa air murni, g	50.0	50.0	50.0
2. Massa kapur, g	51.0	51.0	51.0
3. Kandungan CaO, g	46.4	46.4	46.4
4. Mol CaO	0.83	0.83	0.83
5. Air setara mol CaO, (0.83 X 18), g	14.9	14.9	14.9
6. Bahan Kering Ca(OH) <sub>2</sub> (0.63 X 74), g	61.4	61.4	61.4
7. Massa kapur kering (#2 + #5), g	65.9	65.9	65.9
8. Energi kemoreaksi (#4 X 64.8), kJ	53.8	53.8	53.8
9. Potensi energi kapur api (#8 / #2) kJ/g	1.06	1.06	1.06
10. Massa kapur setelah menyerap air, g	67.7	67.8	67.6
11. Absorpsi air (#10 - #2), g	16.7	16.8	16.6
12. Kadar air kapur, % bb	2.7	2.8	2.5
13. Kadar air Impurities, %	39.2	41.4	37.0

67.8 dan 67.6 gr, yang berarti kadar airnya pada 3 ukuran partikel masing-masing 2.7, 2.8 dan 2.5 % basis basah. Kadar air sangat rendah ini menunjukkan Ca(OH)<sub>2</sub> tidak bersifat higroskopis, namun mudah larut dalam air.

Dari hasil percobaan menunjukkan bahwa pada kondisi air berlebihan, ukuran partikel kapur api tidak mempengaruhi jumlah absorpsi air, tetapi berbeda pada laju proses penyerapan. Sementara itu kapur api setelah melangsungkan reaksi dengan air kadar airnya sangat kecil (2.5 – 2.8 %). Kandungan air sekecil ini diikat oleh bahan sampingan (*impurities*), dan bukan oleh Ca(OH)<sub>2</sub>.

Banyaknya air yang diserap oleh kapur api (16.6 – 16.8 g) sedikit lebih besar daripada massa air yang bereaksi dengan CaO (14.9 g). Perbedaan yang kecil ini menunjukkan Ca(OH)<sub>2</sub> tidak kuat mengikat air atau tidak higroskopik, melainkan kelebihan air itu diserap oleh bahan sampingan (*impurities*) yang banyaknya 9% bersifat higroskopik, dengan kadar air berkisar 37.0 – 41.4 % (Tabel 1).

## 2. Energi Kemoreaksi untuk Pengerinan Benih dan Penguapan Air Murni

Dalam percobaan ini energi kemoreaksi untuk menguapkan air dalam benih cabe merah (kadar air 46% basis basah) dengan perbandingan kapur : benih = 10 : 1; juga untuk menguapkan air murni, dengan jumlah air setara sebagai kontrol, dengan perbandingan kapur : air = 21.5 : 1. Kapur yang digunakan meliputi 3 ukuran yaitu ukuran kecil (12 mm), ukuran besar (60 mm) dan campuran. Proses pengeringan berlangsung pada suhu sangat dekat dengan suhu ambien. Jumlah penyerapan air oleh kapur untuk menghitung energi kemoreaksi dan jumlah penguapan air (dari benih atau air murni) untuk menghitung energi penguapan air diukur secara periodik sampai hari ke-3.

Karena perbandingan kapur sangat berlebihan maka besarnya energi hasil kemoreaksi (*supplied energy*) dihitung berdasarkan besarnya mol air yang diserap kapur menggunakan persamaan

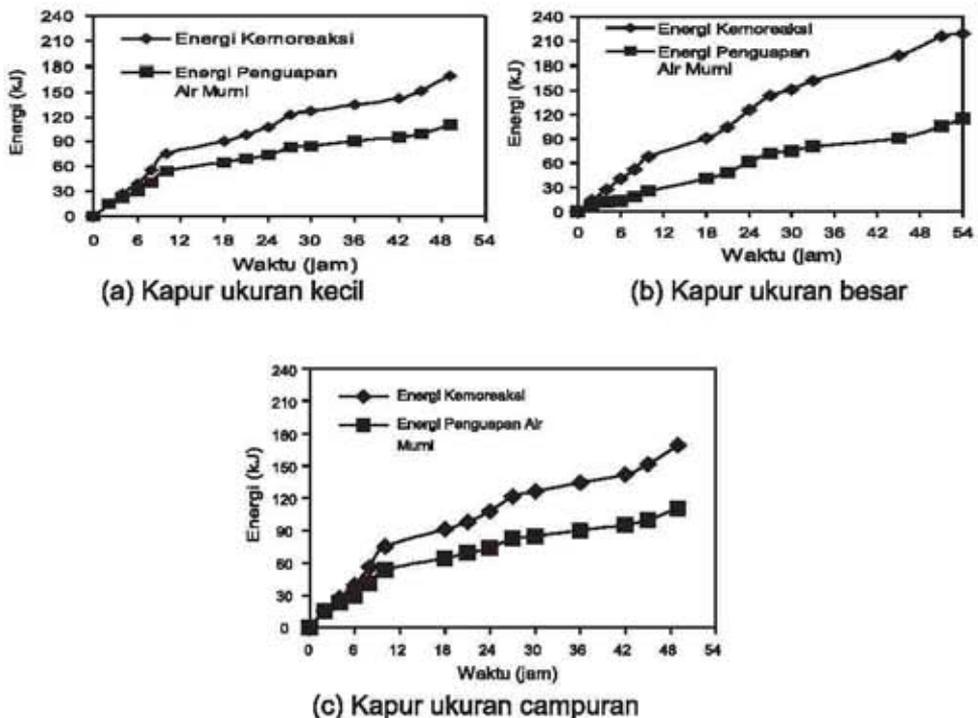
(2). Sedangkan besarnya energi panas untuk pengeringan / penguapan air (*effective energy*) dihitung dari besarnya massa air yang menguap dari benih atau dari air murni, menggunakan rumus massa air (mol) kali panas laten (kJ/mol) pada suhu ambien. Hasil perhitungan energi kemoreaksi dan energi untuk penguapan disajikan pada grafik Gambar 2 dan 3.

Dari Gambar 2 terlihat bahwa perbedaan antara penyediaan energi (*supplied energy*) dari proses kemoreaksi dan energi untuk penguapan air (*effective energy*) makin besar selama proses penguapan air murni pada ke tiga ukuran partikel kapur. Di antara 3 ukuran partikel terlihat bahwa besarnya kesenjangan energi yang menggunakan ukuran partikel kecil dan campuran lebih kecil daripada kesenjangan yang menggunakan ukuran besar. Sementara itu grafik energi untuk

penguapan memperlihatkan grafik linier yang menunjukkan laju penguapan air dari air murni berlangsung konstan sampai air habis.

Pada Gambar 3 juga terlihat kesenjangan energi makin besar selama proses pengeringan antara energi kemoreaksi dan energi untuk penguapan air benih. Kecenderungan ini sama pada ke tiga ukuran partikel kapur api. Grafik energi penguapan air dari benih cabe berbentuk curva melengkung tajam pada awal dan makin landai asimtotik makin lama pengeringan. Hal ini menunjukkan bahwa laju pengeringan mirip dengan pengeringan konvensional yaitu lebih cepat pada awal pengeringan dan makin lambat dan cenderung konstan makin lama waktu pengeringan, karena adanya air terikat kuat pada pada sisa air dalam cabe kering.

Percobaan ini juga memperkuat



Gambar 2. Energi dari kemoreaksi dan untuk penguapan air murni pada suhu ambien dengan perbandingan kapur : air = 21.5 : 1.

penggunaan kapur bongkahan campuran lebih menguntungkan karena lebih praktis dan lebih efisien daripada menggunakan partikel besar yang seragam.

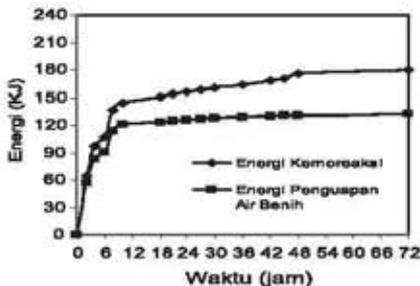
### 3. Efektifitas dan Efisiensi Proses Pengeringan Kemoreaksi.

Pada akhir proses pengeringan dilakukan analisis efektifitas dan efisiensi proses pengeringan kemoreaksi. Banyaknya bahan yang digunakan dan hasil analisis efektifitas pengeringan disajikan pada Tabel 2 sedangkan hasil analisis efisiensi energi untuk pengeringan atau penguapan air pada Tabel 3.

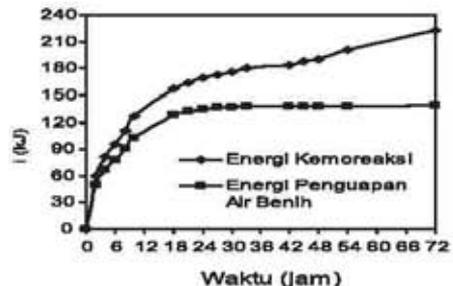
Dari Tabel 2 terlihat bahwa kadar air benih hasil pengeringan kemoreaksi sangat rendah, antara 2.5 – 3.7 % basis basah, menunjukkan efektifitas yang tinggi dari pengeringan kemoreaksi. Pada

kadar air serendah ini benih akan tahan lama simpan dengan viabilitas benih yang tinggi. Seperti diramalkan air yang diuapkan dari benih lebih kecil daripada dari air murni. Namun perbedaannya sangat kecil, juga menunjukkan tingginya efektifitas proses pengeringan kemoreaksi. Persentasi air yang diuapkan benih sangat tinggi yaitu antara 95.4 - 97.0 %, sementara air murni seluruhnya (100 %) diuapkan.

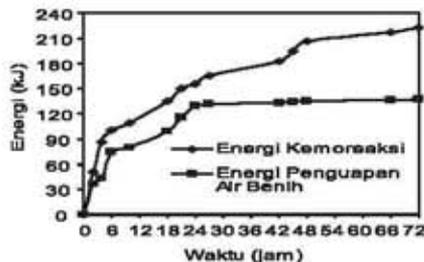
Dari Tabel 2 juga terlihat bahwa besarnya energi kemoreaksi dari reaktan air benih lebih tinggi daripada dari reaktan air murni pada 3 ukuran partikel kapur. Hal ini karena waktu expose kapur dengan benih lebih lama (72 jam) daripada expose kapur dengan air murni (48 dan 54 jam). Tabel 2 juga menunjukkan bahwa partikel kapur kecil menyerap air lebih cepat (48 jam, 0.94



(a) Kapur ukuran kecil



(b) Kapur ukuran besar



(c) Kapur ukuran campuran

Gambar 3. Energi dari kemoreaksi dan energi untuk penguapan air pada suhu kamar dari benih basah pada suhu ambien dengan perbandingan kapur api : benih = 10 : 1.

Tabel 2. Produksi dan pemakaian energi kemoreaksi dengan air murni atau air dari benih cabai merah pada perbandingan kapur : benih cabe = 10 : 1 setelah selesai pengeringan.

Parameter	Ukuran Kapur		
	Ukuran Kecil	Ukuran Besar	Ukuran Campuran
1. Massa benih cabe, g	100.0	100.0	100.0
2. Kadar Air Benih, % b.k.( % b.b.)	82.8 (45.3)	89.8 (47.3)	86.6 (46.4)
3. Massa air Benih, g	45.3	47.3	46.4
4. Massa Air Murni, g	45.3	47.3	46.4
5. Kadar air akhir (Wr) benih, % b.b.	3.7	2.7	2.5
6. Air yg diserap kapur dr benih, g (mol)	50.1 (2.78)	61.9 (3.44)	61.7 (3.43)
7. Air yg diserap kapur dr air murni, g ( mol)	46.9 (2.61)	60.9 (3.38)	53.4 (2.97)
8. Massa air yang diuapkan dari :			
a. Benih, g ( % )	43.2 (95.4)	45.8 (96.8)	45.0 (97.0)
b. Air Murni, g ( % )	45.3 (100)	47.3 (100)	46.4 (100)
9. Energi Kemoreaksi dari mol air, *)			
a. Dari Benih (#6 X 64.8), kJ (Jam)	180.2 (72)	223.0 (72)	222.2 (72)
b. Dari Air Murni (#7 X 64.8), kJ (Jam)	169.0 (48)	219.4 (54)	192.4 (54)
10. Energi Penguapan Air, kJ **)			
a. Dari Benih (#8a X 2.67), kJ	115	122	120
b. Dari Air Murni (#8b X 2.67), kJ	121	126	124

\*) Dihitung dari mol air X H. Angka dalam kurung menyatakan lama proses pengeringan

\*\*) hfg pada suhu 30 °C = 2.67 kJ / g air

Tabel 3. Efisiensi dan efektifitas energi kemoreaksi untuk pengeringan benih cabe merah dan untuk penguapan air murni.

Ukuran Kapur	Efisiensi Energi (%) dan efektifitas Pengeringan (kJ/g air)	
	Benih Cabe Merah	Air Murni
Kecil, % ( kJ/g )	64.0 % (4.2 kJ/g )	71.6 % (3.7 kJ/g)
Besar, % ( kJ/g )	54.7 % (4.9 kJ/g)	57.4 % (4.6 kJ)
Campuran, % ( kJ/g)	54.0 % (4.9 kJ/g)	64.5 % (4.1 kJ/g)
Rataan efektifitas energi pengeringan	4.7 kJ/g	4.1 kJ/g

g/jam) daripada partikel besar (54 jam, 0.84 g/jam).

Dari percobaan dengan 3 ukuran partikel kapur api menunjukkan bahwa besarnya energi untuk penguapan air dari benih (115 – 122 kJ) sedikit lebih kecil daripada untuk air murni (121 – 126 kJ). Sementara itu dari Tabel 2 terlihat bahwa energi panas yang dihasilkan dari kemoreaksi (180.2 – 223.0 kJ) lebih besar daripada energi yang digunakan untuk pengeringan benih (115 – 122 kJ). Temyata air yang diserap dan bereaksi dengan kapur api (50.1 – 61.9 g) lebih besar daripada ketersediaan air dalam benih cabe atau dari air murni (45.3 g). Hal ini menunjukkan adanya uap air yang masuk ke ruang pengering dari infiltrasi atau kebocoran udara luar melalui celah dinding atau pintu alat pengering. Efisiensi energi kemoreaksi untuk pengeringan dihitung berdasarkan perbandingan antara energi panas untuk pengeringan dengan energi yang tersedia (Taib et al, 1988). Dalam percobaan ini efisiensi energi untuk pengeringan dinyatakan dalam persen terhadap energi yang dihasilkan dari proses kemoreaksi.

Hasil analisis pada Tabel 3 menunjukkan bahwa efisiensi energi untuk pengeringan benih cabe cukup tinggi (54.0 – 64.0 %) namun wajar kalah tinggi dibandingkan dengan efisiensi energi untuk penguapan air murni (57.4 – 71.6 %). Kapur partikel kecil lebih efisien daripada kapur partikel besar. Efektifitas energi pengeringan dinyatakan sebagai energi yang digunakan untuk menguapkan satu gram air, hasil analisisnya disajikan pada Tabel 3. Nilai rata-rata efektifitas energi untuk pengeringan benih cabe 4.7 kJ/g air sedangkan untuk penguapan air murni 4.1 kJ/g air, menunjukkan bahwa proses penguapan air dari benih cabe lebih berat daripada dari air murni..Hal ini karena air di dalam biji benih cabe terikat kuat dan memerlukan energi penguapan lebih besar daripada air bebas.

## KESIMPULAN

1. Potensi energi kapur api dengan kandungan CaO 91 # adalah 1.06 kJ/g kapur.
2. Pada kondisi air berlebihan, ukuran partikel kapur api tidak berpengaruh terhadap produksi energi kemoreaksi, namun berbeda pada laju proses penguapan air, partikel kecil lebih cepat menyerap air dan menghasilkan energi panas daripada partikel besar.
3. Ca (OH)<sub>2</sub> yang terbentuk dari kemoreaksi tidak bersifat higroskopik, namun mudah larut dalam air.
4. Berbeda dengan pengeringan oven, efisiensi pengeringan kemoreaksi sangat tergantung pada tingkat kedap air dinding dan cara operasi tutup lemari pengering.
5. Proses pengeringan kemoreaksi dengan kapur api, mampu menurunkan kadar air benih cabe merah sampai 2.5 – 3.7 % basis basah, dan mampu menguapkan air dari benih 95 – 97 %, dibandingkan penguapan air murni 100 %, pada waktu yang sama.
6. Efisiensi energi pada pengeringan kemoreaksi untuk benih cabe merah cukup tinggi (54.0 – 64.0 %) hanya sedikit lebih rendah dibandingkan untuk penguapan air murni (57.4 – 71.6 %).
7. Energi untuk pengeringan benih cabe (4.7 kJ/g air) kurang efektif daripada untuk penguapan air murni (4.1 kJ/g air), karena dalam biji cabe mengandung air terikat.

**DAFTAR PUSTAKA**

- AOAC, 1995. Official Method of Analysis. Association of Analytical Chemists, Washington D C.
- Brady, J.E. 1999. Kimia Universitas. Asas dan Struktur. Edisi ke-5 Jilid 1. Terjemahan : Maun S., Anas dan Sally T.S. Binarupa Aksara, Jakarta.
- Chang, R. and W. Tikkanen. 1988. The top fifty industrial chemicals. Random House, New York.
- Mackenzie, L. and D.W.A. Sharp. 1970. A new dictionary of chemistry. Longman, London.
- Taib, G., E.G. Said dan S. Wiraatmadja. 1988. Operasi pengeringan pada pengolahan hasil pertanian. PT. Mediyatama Sarana Perkasa, Jakarta.