

STUDI ISOTERM SORPSI CABE MERAH [*Capsicum annuum* L.] DENGAN MODEL BET [Brauneur-Emmet-Teller] DAN GAB [Guggenheim-Andersson-DeBoer]

(Sorption isotherms study of *Capsicum annuum* L. by BET [Brauneur-Emmet-Teller] and GAB [Guggenheim-Andersson-DeBoer] models)

Oleh :

Sukrisno Widyotomo¹⁾

¹⁾ Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia

Jl. PB. Sudirman No. 90 Jember 68118, Telp. 0331-757130 Fax. 0331-757131

ABSTRACT

*The shelf life and safety of perishable products is related to the water activity [a_w], rather than the water content, that determines the microbial safety and the physical texture of processed foods. Water sorption may be either adsorption or desorption. Sorption isotherms show the amount of water adsorbed as a function of steady state relative vapor pressure at a constant temperature. The relative vapor pressure of water in a food and in the surrounding atmosphere are also equal and therefore it may be stated that water activity is obtained from relative humidity of air. The aim of this research was to study the sorption isotherms of *capsicum annuum* L by BET and GAB models. The results showed that the water adsorption isotherms of *capsicum annuum* L by BET and GAB models followed the shape of the sigmoid. The linerized for fitting the BET model and in the form of second-order polynomial for fitting the GAB model. Both of the sorption isotherms models gave well prediction on a_w at 0.3-0.7. The shelf life and safety condition for *capsicum annuum* L storage is 70% to 80% relative humidity. The BET and GAB models are applicable to predict water sorption of *capsicum annuum* L and its can also be used to calculate the monolayer value.*

Key words : capsicum annuum L, sorption isotherms, BET, GAB

PENDAHULUAN

Penetapan kadar air dan aktivitas air [a_w] bahan dalam aspek teknis penanganan atau penyimpanan merupakan salah satu cara untuk mengetahui kondisi penanganan dan penyimpanan yang lebih baik. Suatu bahan pangan dengan kadar air yang relatif tinggi akan cenderung mengalami kerusakan yang lebih cepat jika dibandingkan dengan bahan pangan yang memiliki kadar air lebih rendah [Kadir *et.al*, 1982].

Aktivitas air [a_w] dapat dipakai sebagai ukuran tersedianya molekul-molekul air bahan untuk dimanfaatkan oleh aktivitas mikroorganisme. Apabila aktivitas air [a_w] bahan relatif tinggi, maka molekul-molekul air akan cukup tersedia untuk aktivitas mikroorganisme. Tidak semua jenis

mikroorganisme menghendaki a_w yang sama, diantaranya masih ada mikroorganisme yang dapat tumbuh dan berkembang pada a_w yang rendah. Kadar air dan aktivitas air [a_w] optimum dapat dipelajari salah satu diantaranya dengan model sorpsi isoterme air bahan pangan. Dengan model sorpsi isoterme air bahan pangan tersebut dapat diperlihatkan pengaruh komponen-komponen kimia bahan pangan terhadap tingkat keawetan bahan. Disamping itu dapat diketahui pula pengaruh komponen kimia tertentu yang ditambahkan ke dalam bahan pangan tersebut.

Teori mengenai sorpsi isoterme untuk menggambarkan model isothermal air suatu bahan pangan baik secara empirik maupun matematis telah banyak dikembangkan diantaranya oleh Polanyi [1918], Harkin & Jura [1944], Zsigmondy [1911], Langmuir [1918],

dan Freunlich [1926]. Pada kenyataannya beberapa model tersebut belum menunjukkan kesempurnaan untuk menggambarkan keseluruhan proses sorpsi air bahan pangan [Labuza, 1975].

Sorpsi isotermi pertama kalinya dipakai dalam menunjukkan proses adsorpsi dan desorpsi molekul-molekul gas oleh zat padat. Karena molekul-molekul air tidak hanya teradsorpsi, maka diperlukan beberapa modifikasi sehingga diperoleh suatu model persamaan yang mencakup seluruh daerah sorpsi. Sebuah persamaan yang menyangkut kelembaban nisbi 10-40% dikemukakan oleh *Brauneur, Emmet, & Teller* [1938] dalam bentuk persamaan BET yang diturunkan dari teori kinetika gas. Secara matematis persamaan BET dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{a_w}{[1-a_w]M_e} = \frac{1}{m_o c} + \frac{[c-1]a_w}{m_o .c} \quad \dots\dots\dots 1)$$

Dalam hal ini a_w adalah aktivitas air [%]; M_e adalah kadar air keseimbangan [% bk]; m_o adalah monolayer BET, dan c adalah konstanta

Selanjutnya *Guggenheim-Andersson-DeBoer* yang lebih dikenal dengan model sorpsi isotermi GAB mengembangkan persamaan BET dengan penambahan beberapa parameter. Persamaan GAB dapat dituliskan sebagai berikut [Roos, tanpa tahun]:

$$\frac{M_e}{m_o} = \frac{c_1 . c_2 . a_w}{(1 - c_2 . a_w) [1 + (c_1 - 1) c_2 a_w]} \quad \dots\dots\dots 2)$$

Dalam hal ini a_w adalah aktivitas air [%]; M_e adalah kadar air keseimbangan [% bk]; m_o adalah monolayer GAB, dan c_1 dan c_2 adalah konstanta

Tanaman cabe merah [*Capsicum annuum* L.] merupakan salah satu jenis tanaman hortikultura yang berasal dari Peru, Amerika Selatan. Cabe merah merupakan tanaman perdu yang termasuk ke dalam tanaman setahun, dan dapat tumbuh dengan baik di semua tempat kecuali di daerah dingin [Soeseno, 1971; Ochse, 1961]. Cabe merah

tersusun atas komposisi kimia berupa karbohidrat, lemak, protein, kalsium, fosfor, zat besi, vitamin A, vitamin B, Vitamin C dan air [Dep Kes, 1979]. Menurut Govindarajan [1985], semakin matang cabe merah maka jumlah komponen karbohidrat, lemak, dan protein akan semakin bertambah.

Produksi cabe merah di Indonesia pada tahun 1993 dan 1994 berturut-turut mencapai 315.385 ton, dan 320.575 ton, dengan jumlah cabe merah yang diekspor mencapai 550,461 ton dengan nilai 123.992 US\$ dan 564,015 ton dengan nilai 149.766 US\$. Sedangkan ekspor cabe kering pada tahun yang sama masing-masing sebanyak 98,105 ton dengan nilai 51.688 US\$, dan 63,4 ton dengan nilai 85.141 US\$ [BPS, 1994].

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakteristik isoterm sorpsi bubuk cabe merah dengan menggunakan model BET dan GAB. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dipergunakan sebagai acuan dalam menentukan kondisi lingkungan simpan yang optimum agar tetap mutu produk dapat dipertahankan selama proses penyimpanan.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah cabe merah lokal yang diperoleh dari pasar tradisional di kabupaten Bogor, Jawa Barat. Setelah melalui proses sortasi diperoleh bahan penelitian dengan ukuran dan mutu yang relatif seragam dengan kadar air awal sekitar 75% bb. Peralatan yang digunakan adalah sebuah model ruang simpan yang dilengkapi dengan peralatan yang dapat mengatur kondisi suhu di dalamnya, beberapa buah wadah terbuat dari bahan gelas yang digunakan untuk penempatan contoh bahan yang akan disimpan, timbangan, desikator, oven, dan beberapa alat bantu lainnya.

Pelaksanaan penelitian

Kegiatan penelitian ini dilakukan dengan perlakuan dua buah parameter, yaitu parameter suhu udara penyimpanan dengan tiga level perlakuan [30, 35, dan 40°C], dan parameter kelembaban udara penyimpanan dengan empat level perlakuan [30, 45, 60, dan

75%]. Kelembaban relatif udara di dalam wadah gelas dikondisikan dengan menggunakan beberapa jenis garam jenuh. Garam jenuh yang digunakan adalah $MgCl_2$, K_2CO_3 , $NaNO_2$, dan $NaCl$. Berat contoh untuk masing-masing perlakuan sebanyak 150 g dikeringkan dengan cara dijemur sampai diperoleh berat konstan. Cabe merah kering tersebut kemudian digerus sampai diperoleh ukuran partikel sekitar 60 mesh. Ulangan untuk masing-masing perlakuan dilakukan sebanyak 5 kali. Contoh bahan penelitian dari masing-masing perlakuan ditimbang setiap hari sampai diperoleh berat tetap. Untuk mengetahui kadar air di dalam contoh bahan tersebut, maka dilakukan analisis kadar air dengan metode gravimetri.

Data kadar air kesetimbangan yang diperoleh dari contoh bahan uji dipergunakan untuk membentuk kurva isoterm sorpsi dengan menggunakan model isoterm sorpsi **BET** [Brauneur, Emmet, & Teller] sebagaimana ditampilkan pada **persamaan 1**, dan model isoterm sorpsi **GAB** [Guggenheim-Andersson-DeBoer] sebagaimana ditampilkan pada **persamaan 2**.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bubuk cabe merah memiliki kadar air yang rendah dan ukuran partikel yang cukup halus sehingga bersifat higroskopis. Kondisi tersebut menyebabkan bubuk cabe akan mudah menyerap air selama periode penyimpanan yang pada akhirnya akan mengakibatkan penurunan mutu. Penurunan mutu dapat dilihat dari perubahan warna menjadi kecokelatan, menurunnya rasa pedas, maupun timbulnya bau tengik yang merupakan penyimpangan mutu akibat kerusakan lemak [Syarief & Halid, 1993].

Nilai konstanta c dan m_0 hasil analisa model sorpsi isotermi BET, dan nilai konstanta c_1 , c_2 , dan m_0 hasil analisa model sorpsi isotermi GAB ditampilkan pada **Tabel 1**, **Gambar 1.A**, **2.A**, dan **3.A**. Hasil analisis sorpsi isotermi model BET menghasilkan persamaan regresi linier dengan nilai gradien m , dan nilai intercept c , sedangkan kurva yang terbentuk dari sorpsi isotermi model GAB adalah kurva polinomial ordo dua dengan nilai konstanta c_1 , c_2 , dan m_0 .

Tabel 1. Persamaan garis, nilai m_0 , dan konstanta c , c_1 serta c_2 dari model BET dan GAB

| No. | Suhu , °C | Persamaan garis | Koef. korelasi [r ²] | Nilai | | |
|------------------------------|-----------|-------------------------------------|----------------------------------|---------|----------------|--------------|
| | | | | m_0 | C atau c_1 | C_2 |
| I Sorpsi isotermi model BET | | | | | | |
| a. | 30 | $Y = 0,1541X - 0,0087$ | 0,9756 | 6,8776 | - 16,7126 | - |
| b. | 35 | $Y = 0,1693X - 0,0026$ | 0,9887 | 5,9988 | - 64,1154 | - |
| c. | 40 | $Y = 0,2639X - 0,0226$ | 0,9760 | 4,1442 | - 10,6770 | - |
| II Sorpsi isotermi model GAB | | | | | | |
| a. | 30 | $Y = -0,0476X^2 + 0,0538X + 0,0167$ | 0,9551 | 12,8309 | 0,7227 | 6,4580 |
| b. | 35 | $Y = -0,1876X^2 + 0,1909X - 0,0071$ | 0,9102 | 5,6691 | 1,0215 | - 24,3208 |
| c. | 40 | $Y = -0,0839X^2 + 0,1023X + 0,0204$ | 0,9839 | 7,6003 | 0,7175 | 8,9893 |

Keterangan : $X = a_w$, dan $Y = a_w/M.[1-a_w]$ untuk model BET atau a_w/M untuk model GAB

Dengan menggunakan analisis sorpsi isotermi model BET terlihat bahwa semakin tinggi suhu udara penyimpanan, maka akan memberikan persamaan regresi linier dengan nilai gradien yang semakin tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa penyimpanan bubuk cabe merah pada RH kesetimbangan yang sama, dengan semakin tinggi suhu penyimpanan maka kadar air bahan akan semakin rendah. Artinya bahwa air yang terdapat dipermukaan bubuk cabe merah akan semakin sedikit atau berkurang karena adanya penguapan, hal tersebut ditunjukkan dengan nilai M_e yang mengecil. Semakin rendah nilai kadar air kesetimbangan [M_e] dan aktivitas air [a_w] di dalam produk pangan selama penyimpanan, maka energi aktivasi yang dibutuhkan untuk proses pelepasan molekul-molekul air akan semakin tinggi. Parameter energi aktivasi tersebut ditunjukkan dengan nilai konstanta c dari persamaan yang terbentuk. Nilai konstanta c yang diperoleh dari hasil analisis model BET menunjukkan nilai -16,7 untuk suhu penyimpanan 30°C, sedangkan pada suhu penyimpanan 40°C diperoleh nilai -10,6. Namun demikian, nilai konstanta c pada perlakuan suhu penyimpanan 35°C ternyata lebih kecil jika dibandingkan nilai konstanta c baik pada perlakuan suhu penyimpanan 30°C maupun 40°C.

Dengan menggunakan analisis sorpsi isotermi model GAB diperoleh bahwa pada perlakuan suhu penyimpanan bubuk cabe merah 30°C, puncak kurva diperoleh pada nilai aktivitas air [a_w] 0,54-0,59 dengan nilai a_w/M_e 0,0319. Pada perlakuan suhu penyimpanan 35°C, puncak kurva diperoleh pada nilai aktivitas air [a_w] 0,50-0,51 dengan nilai a_w/M_e 0,0415, sedangkan puncak kurva pada perlakuan suhu penyimpanan 40°C diperoleh pada nilai aktivitas air [a_w] 0,59-0,62 dengan nilai a_w/M_e 0,0516. Hal tersebut menunjukkan bahwa dengan semakin tinggi suhu penyimpanan yang digunakan, maka nilai kadar air kesetimbangan [M_e] di dalam bahan pangan akan semakin rendah. Sebagai contoh adalah pada nilai aktivitas air [a_w] bubuk cabe merah yang sama yaitu 0,59, maka akan diperoleh nilai kadar air kesetimbangan pada suhu 30°C, 35°C, dan

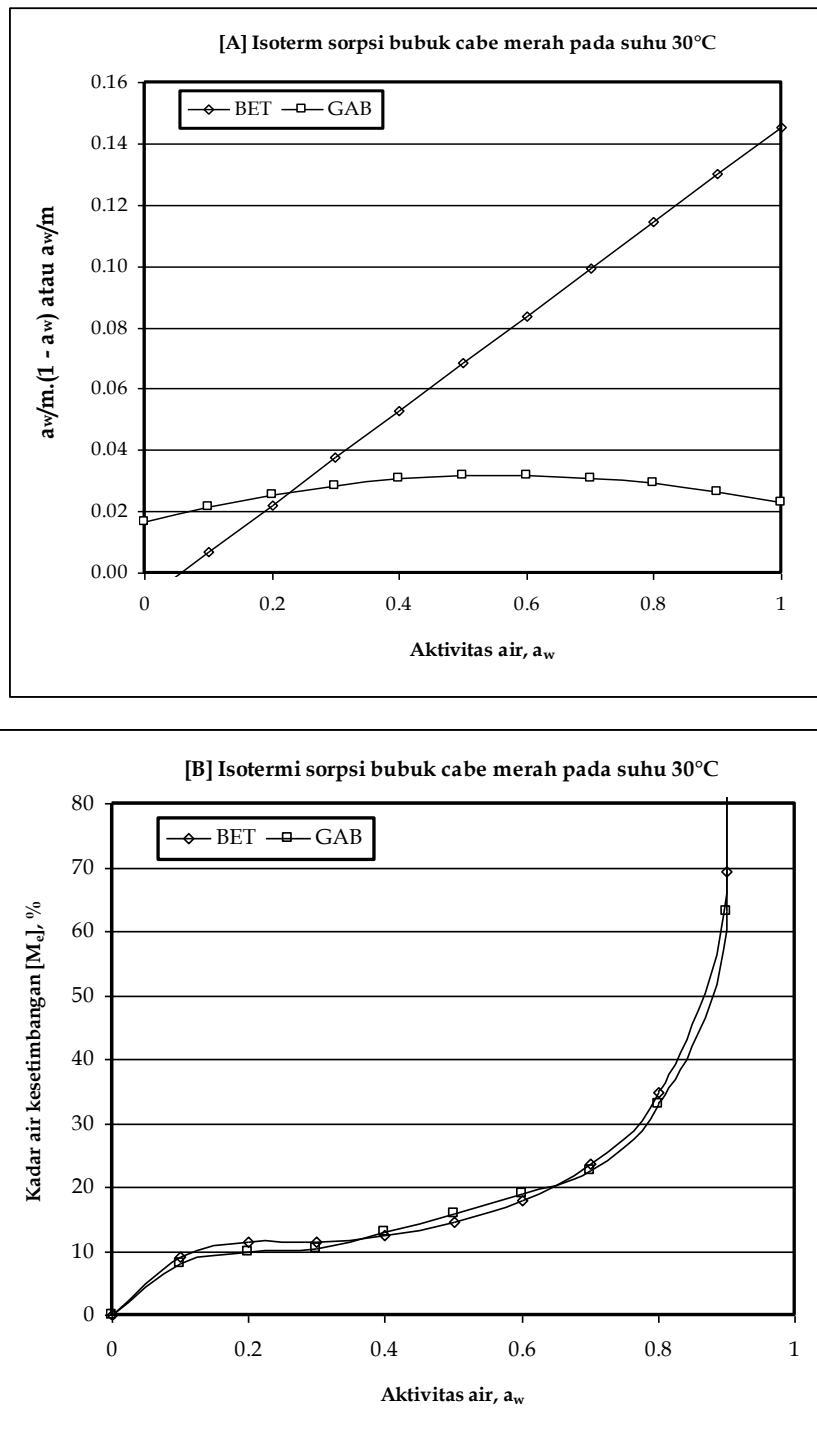
40°C masing-masing sebesar 18,5%, 14,6%, dan 11,4%. Dengan demikian energi yang dibutuhkan untuk melepas sejumlah air yang sama dari dalam bahan pangan pada suhu penyimpanan yang lebih tinggi akan lebih besar jika dibandingkan dengan bahan pangan yang disimpan pada suhu yang lebih rendah. Parameter energi aktivasi tersebut atau energi yang diperlukan ditunjukkan oleh nilai konstanta c pada persamaan polinomial ordo dua yang terbentuk dari sorpsi isotermi model GAB. Hal tersebut ditunjukkan oleh nilai konstanta c_2 pada perlakuan suhu penyimpanan 30°C diperoleh nilai 6,4; sedangkan pada perlakuan suhu penyimpanan 40°C diperoleh nilai konstanta c_2 sebesar 8,9.

Menurut Gregg & Syng [1967] secara umum model sorpsi isotermi air bahan pangan adalah sebuah kurva sigmoid [menyerupai huruf S]. Sejalan dengan pembagian tersebut, Syarief & Halid [1993] dan Rockland [1957] menyebutkan pada masing-masing daerah sorpsi menggambarkan adanya perbedaan macam interaksi molekul air dengan komponen kimia bahan pangan. Daerah sorpsi I menunjukkan adsorpsi molekul air pada tingkat satu lapis [*monolayer*] terjadi pada kisaran a_w 0-0,2 dimana jika air ditambahkan pada bahan pangan kering, molekul-molekul diadsorpsi oleh permukaan bahan hingga seluruh menyerap air yang ditambahkan tersebut. Daerah *multilayer* atau daerah adsorpsi II yang berada pada kisaran a_w 0,2-0,7, dan daerah teraman berada pada kisaran a_w 0,2-0,5. Air yang terkandung di daerah multilayer kurang kuat terikat jika dibandingkan dengan air yang terikat di daerah monolayer. Sedangkan daerah kondensasi kapiler atau daerah adsorpsi III berada pada kisaran a_w lebih besar dari 0,7, yaitu daerah dimana terkandung air bebas yang cukup banyak sehingga cukup optimal bagi beberapa reaksi biokimia, mikroba dan reaksi fisik.

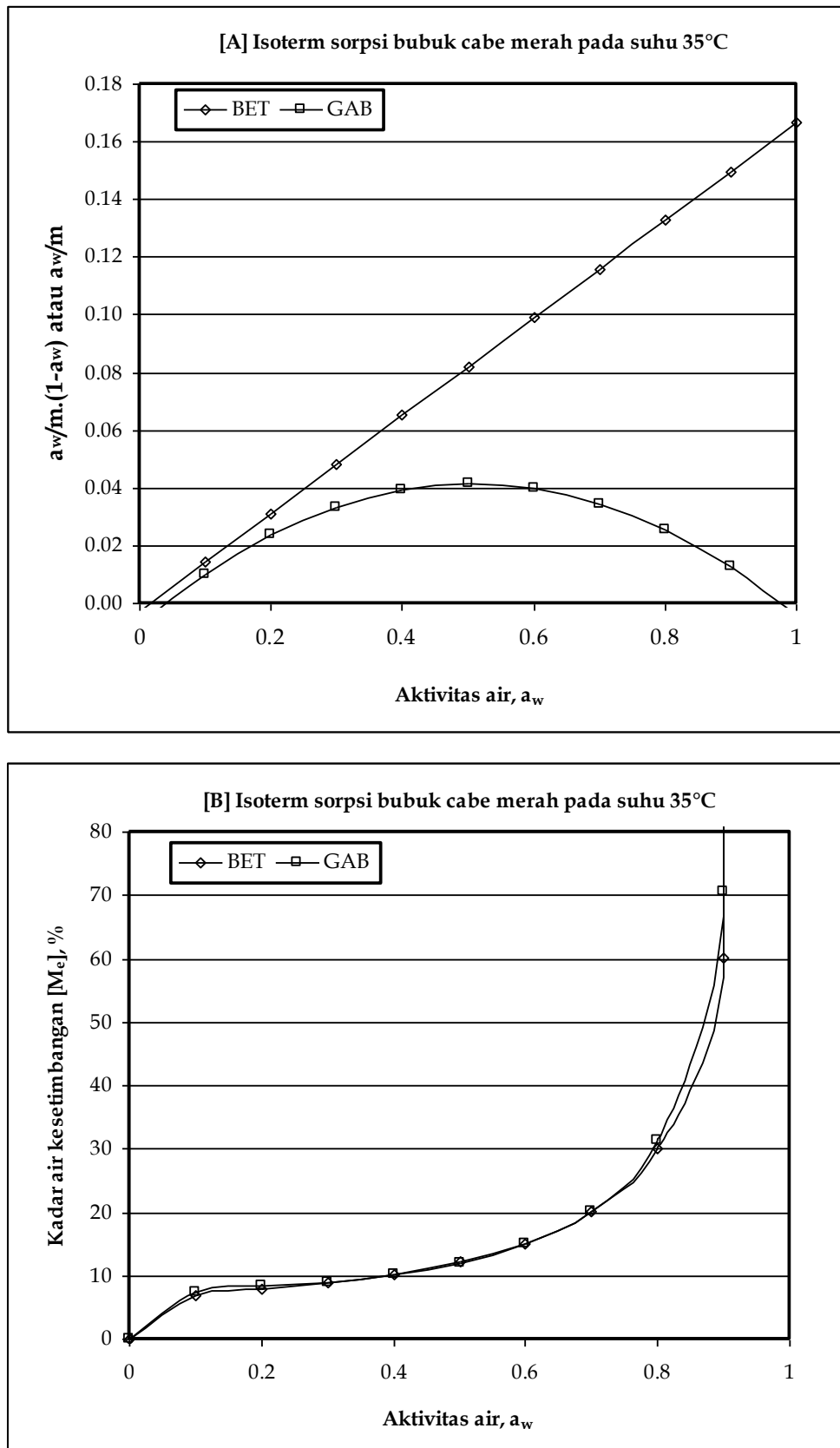
Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa model kurva isothermal sorpsi air bahan pangan tidak semulus seperti yang diramalkan Gregg & Syng [1967]. Hasil penelitian Rockland [1957] terhadap biji walnut [*Juglans regia*] memperlihatkan adanya dua buah titik belok kurva.

Secara umum kurva sigmoid yang terbentuk dari hasil analisis sorpsi isotermi model BET dan GAB adalah mendekati sama, atau hampir berhimpit. Hasil analisis sorpsi isotermi model BET dan GAB untuk bubuk

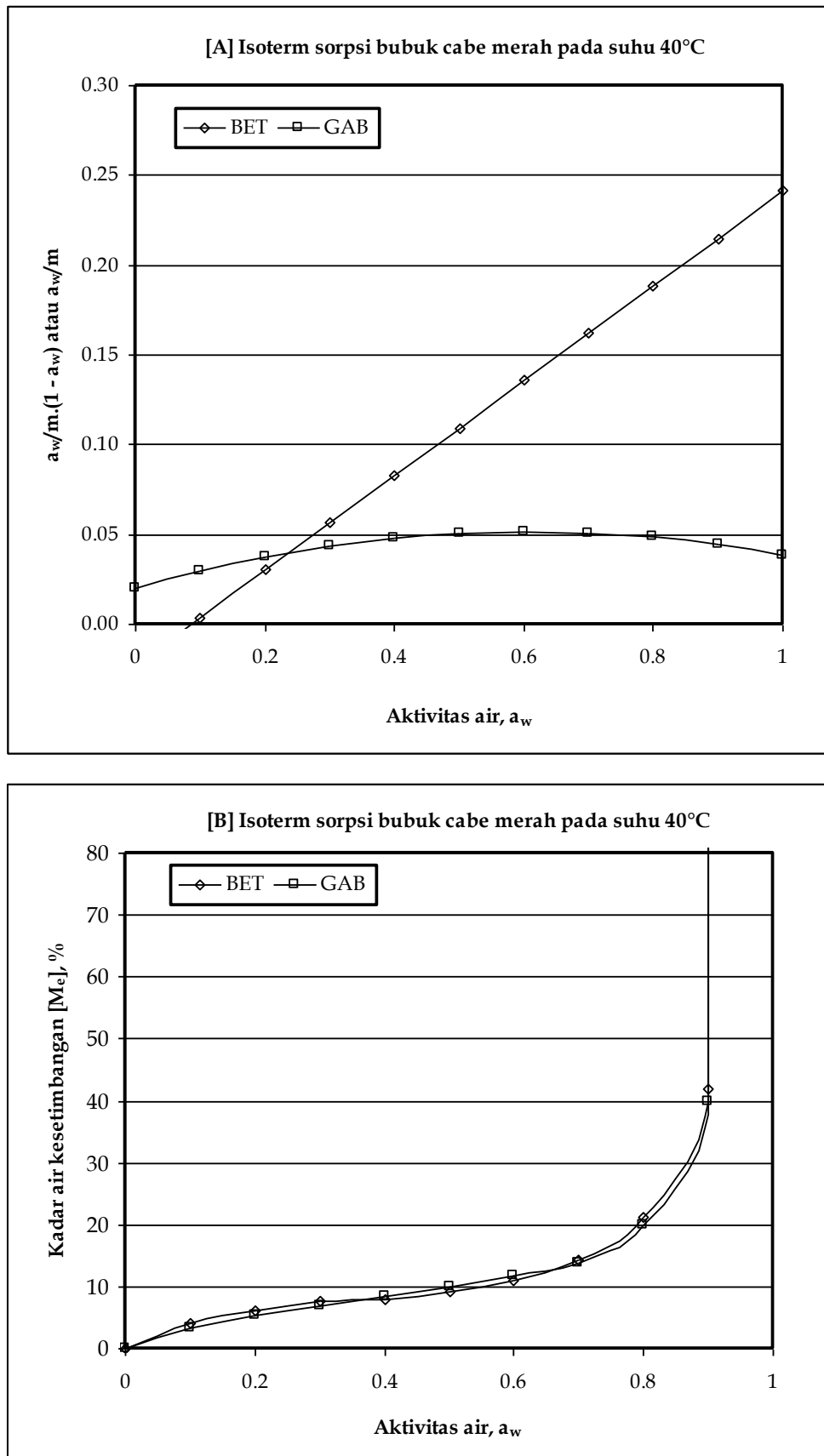
cabe merah yang membentuk kurva sigmoid ditampilkan pada **Gambar 1.B, 2.B, dan 3.B.**



Gambar 1. Model sorpsi isotermi BET dan GAB untuk bubuk cabe merah pada suhu 30°C



Gambar 2. Model sorpsi isotermi BET dan GAB untuk bubuk cabe merah pada suhu 35°C



Gambar 3. Model sorpsi isothermi BET dan GAB untuk bubuk cabe merah pada suhu 40°C

Berdasarkan pembagian daerah sorpsi sebagaimana tersebut di atas, hasil analisis persamaan garis sorpsi isotermi model BET menunjukkan bahwa pada suhu penyimpanan 30°C, 35°C, dan 40°C diperoleh kadar air pada daerah monolayer [$a_w = 0,2$] masing-masing sebesar 6,8%, 5,9%, dan 4,1%. Sedangkan jika menggunakan sorpsi isotermi model GAB diperoleh kadar air pada daerah monolayer masing-masing sebesar 12,8%, 5,6%, dan 7,6%. Pada kondisi demikian air yang terkandung adalah air yang terikat pada permukaan yang sangat stabil dan hanya cukup untuk melindungi produk dari senyawa O_2 [Syarief & Halid, 1993].

Kadar air pada daerah monolayer bubuk cabe merah hasil analisis model BET memberikan nilai yang lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil analisis model GAB. Iglesias & Chirife [1976] mengemukakan bahwa daerah sorpsi dipengaruhi oleh jenis interaksi molekul air dalam bahan pangan, walaupun demikian hasil perhitungan matematis terhadap model sorpsi tidak memberikan petunjuk tentang jenis interaksi molekul air dalam bahan pangan.

Untuk sorpsi isotermi model GAB perbedaan terjadi pada suhu penyimpanan 35°C dimana diperoleh kadar air pada daerah monolayer [m_o] sebesar 5,6% yaitu lebih rendah 2% jika dibandingkan pada kondisi suhu penyimpanan 40°C. Hal ini dapat terjadi karena pada kondisi kelembaban relatif keseimbangan [RH_E] 70%, nilai a_w/M_e pada suhu penyimpanan 35°C sebesar 0,035 sedangkan pada suhu penyimpanan 40°C sebesar 0,051 sehingga diperoleh nilai M_e 20% untuk suhu 35°C, dan 13,7% untuk suhu 40°C.

Menurut Syarief & Halid [1993] daerah teraman untuk penyimpanan bahan pangan adalah pada nilai a_w 0,625 dimana merupakan titik kritis ambang batas toleransi minimum pertumbuhan kapang dan khamir. Pada nilai a_w tersebut dari hasil analisis sorpsi isotermi model BET diperoleh kadar air kesetimbangan [M_e] bubuk cabe merah pada suhu 30°C, 35°C, dan 40°C masing-masing sebesar 19,02%, 16,15%, dan 11,71%. Sedangkan dengan metode GAB diperoleh nilai kadar air kesetimbangan [M_e] bubuk cabe merah pada suhu 30°C, 35°C, dan 40°C sedikit lebih tinggi

yaitu masing-masing sebesar 19,7%, 16,05%, dan 12,12%. Pada kadar air kesetimbangan [M_e] tersebut bubuk cabe merah akan relatif aman dari serangan mikroba jenis kapang dan khamir sehingga mutunya akan tetap baik sampai pada saat dikonsumsi atau proses pengolahan selanjutnya.

Menurut Labuza [1980] persamaan BET dengan sempurna dapat menggambarkan proses sorpsi air pada selang $a_w = 0,20-0,35$. Hasil analisis data diperoleh bahwa proses sorpsi isotermi bubuk cabe merah dengan model BET dan GAB akan sempurna pada selang $a_w = 0,3-0,7$. Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai kadar air kesetimbangan [M_e] yang diperoleh dimana dengan menggunakan kedua metode tersebut pada kisaran nilai aktivitas air [a_w] 0,3-0,7 memberikan nilai yang mendekati sama atau berhimpit. Rahmawati [2003] melaporkan bahwa kadar air yang aman untuk penyimpanan cabe merah antara 8-15%. Kadar air cabe merah yang diperoleh dari proses pengeringan dengan pengering kabinet pada laju aliran udara 0,75 m/detik dengan suhu udara pengering 40°C adalah 7,5%. Selain itu, pada kurva sigmoid akan diperoleh fenomena histerisis diperlihatkan oleh perbedaan harga-harga kadar air setimbang yang diperoleh dari proses absorpsi dan desorpsi. Umumnya pada kelembaban nisbi atau aktivitas air [a_w] yang sama, kadar air setimbang yang diperoleh dari proses desorpsi lebih besar dari proses absorpsi [Rockland & Nishi, 1980].

KESIMPULAN

1. Persamaan BET dan GAB dapat digunakan untuk menduga karakteristik sorpsi isotermi dari bubuk cabe merah selama penyimpanan dengan baik.
2. Kurva sigmoid yang terbentuk dari persamaan BET maupun GAB dari bubuk cabe merah hampir berhimpit, dan akan memberikan pendugaan karakteristik sorpsi isotermi yang baik pada kisaran aktivitas air [a_w] antara 0,3-0,7. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyimpanan bubuk cabe merah sebaiknya dilakukan pada kisaran nilai aktivitas air [a_w] antara 0,7-0,8.

3. Penyimpanan bubuk cabe merah pada RH kesetimbangan yang sama, dengan semakin tinggi suhu penyimpanan maka kadar air yang terdapat di dalam bahan akan semakin rendah. Semakin rendah nilai kadar air kesetimbangan [M_e] dan aktivitas air [a_w] di dalam bubuk cabe merah selama penyimpanan, maka energi aktivasi yang dibutuhkan untuk proses pelepasan molekul-molekul air akan semakin tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- BPS [1994]. Statistik Perdagangan Luar Negeri Indonesia. Biro Pusat Statistik Indonesia, 1329 halaman.
- Brauneur, S., P.H. Emmet, & E. Teller [1938]. Adsorption of Gases in Multi Molecular Layer. J.Am.Chemical.Soc. 60: 309.
- Depkes [1979]. Daftar komposisi bahan makanan. Direktorat Gizi. Departemen Kesehatan RI, Jakarta.
- Freunlich, H. [1926]. Colloid Capillary Chemistry. In : Textbook of Physical Chemistry. D.Van Nostrand Company Inc., New York.
- Govindarajan, V.S.[1985]. Capsicum production, technology, chemistry, and quality. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida. Pp. 196-205.
- Gregg, S.J. & K.S. Syng [1967]. Adsorption of Surface Area and Porosity. Academic Press. New York.
- Harkin, W.D. & G. Jura [1944]. Surfaces of Solid. XIII. A Vapor Adsorption Method for The Determination of The Area of A Solid without The Assumption of Mole Color Area, and The Area Occupied by Nitrogen. Chem.Soc. 66:1366-1373.
- Iglesias, H.A. & J. Chirife [1976]. On Three Local Isotherm Concept and Modes of Moisture Binding in Food Products. J. Agricultural Food Chemical. 24: 77.
- Kadir, S., M.A. Nur, & M. Syachri [1982]. Pengontrolan dan Pengukuran Aw [Aktivitas Air] dari Ikan Pindang Dalam Rangka Meningkatkan Mutu dan Stabilitasnya dengan Menggunakan NaCl Sebagai Humectant. Laporan Penelitian. Bagian Kimia. Institut Pertanian Bogor.
- Labuza, T.P. [1975]. Sorption Phenomena in Foods: Theoretical and Practical Aspects, In : Storage Stability and Improvement of Intermediate-Moisture Foods. Texas.
- Labuza, T.P. [1980]. Effects of Water Activity on Reaction Kinetics of Food Deterioration. J. Food Technology. 42: 36.
- Langmuir, I. [1918]. Adsorption of Gases on Plane Surface of glass, Mika, and Platinum. J.Am.Chem.Soc. 40: 1361-1403.
- Ochse, J.J. [1961]. Tropical and subtropical agriculture. The McMillan Co., New York. P.580.
- Polanyi, M. [1918]. Anwendung des Langmuischen Theorie auf die Adsorption von Gasen on Holzhle. Z.Physik.Chem. 138: 459-462.
- Rahmawati, U.S. [2003]. Mempelajari pengeringan cabe merah [*Capsicum annum* L.] dengan pengering kabinet berpemanas lampu inframerah. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian, IPB, Bogor.
- Rockland, L.B. & S.K. Nishi [1980]. Influence of Water Activity on Food Product Quality and Stability. J.Food Technology. 42: 46-48.
- Rockland, L.B. [1957]. A New Treatment of Hygroscopic Equilibria : Application to Walnute [*Juglans regia*] and Other Foods. J.Food.Res. 22: 604.
- Roos, Y.H [tanpa tahun]. Phase Transitions in Foods. Academic Press, San Diego, New York, Boston, London, Sydney, Tokyo, Toronto.
- Soeseno, S. [1971]. Lombok merah sebagai palawija. Majalah Pertanian Trubus. 21:15-17.
- Syarief, R. & H. Halid [1993]. Teknologi penyimpanan pangan lanjut. Cetakan I. Penerbit Arcan. Jakarta.
- Zsigmondy, R. [1911]. Uber die Struktur des Gels des Kieselsure. Theorie der Endwasserof. Z Arory Chem. 71:356-377.