

III. DENSITAS, POROSITAS, LUAS PERMUKAAN, DAN SHRINKAGE

PENGANTAR

Pada bahasan ini akan dipelajari tentang prinsip-prinsip densitas, porositas, luas permukaan, serta shrinkage suatu bahan makanan. Metode-metode pengukurannya juga akan dibahas secara terperinci. Massa jenis/densitas adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Massa jenis rata-rata setiap benda merupakan total massa dibagi dengan total volumenya. Sebuah benda yang memiliki massa jenis lebih tinggi (misalnya besi) akan memiliki volume yang lebih rendah daripada benda bermassa sama yang memiliki massa jenis lebih rendah (misalnya air). Densitas sangat diperlukan dalam perencanaan / desain alat pengolahan, terutama yang berhubungan dengan kebutuhan dimensi maupun kekuatan. Porositas merupakan perbandingan antara ruang kosong dengan volume, sehingga semakin banyak ruang pori, maka nilai porositas semakin tinggi. Porositas digunakan sebagai parameter mutu produk seperti keripik, biskuit, roti, dll. Luas permukaan penting dalam perencanaan proses seperti pindah panas, pindah massa, pengeringan, pelapisan, respirasi, dll. Shrinkage merupakan penyusutan bahan setelah di olah, yaitu merupakan rasio volume hasil pengolahan terhadap volume awal.

TUJUAN

1. Tujuan Instruksional Umum (TIU)

Setelah menyelesaikan materi diharapkan mahasiswa akan mendapatkan pengetahuan mengenai densitas, porositas, luas permukaan, dan shrinkage.

2. Tujuan Instruksional Khusus (TIK)

- Mahasiswa dapat mendefinisikan densitas, porositas, luas permukaan, dan shrinkage
- Mahasiswa dapat menyebutkan pentingnya data densitas, porositas, luas permukaan dan shrinkage
- Mahasiswa dapat mengetahui pemecahan persoalan mengenai densitas, luas permukaan, dan shrinkage.

3.1. DEFINISI

A. Densitas

Kualitas bahan makanan dapat dinilai dengan mengukur densitas. Data densitas makanan dibutuhkan dalam proses pemisahan, seperti sentrifugasi, sedimentasi, pneumatik, transportasi hidrolik bubuk dan partikulat. Selain itu, mengukur kepadatan untuk cairan diperlukan untuk menentukan daya yang diperlukan untuk memompa.

Kepadatan dapat dihitung setelah mengukur massa dan volume benda karena didefinisikan sebagai massa per satuan volume. Dalam sistem SI, satuan kerapatan adalah kg/m^3 . Dalam sebagian besar masalah rekayasa, padatan dan cairan diasumsikan inkompresibel, yaitu, kepadatan hampir tidak terpengaruh oleh perubahan moderat dalam suhu dan tekanan. Gas yang kompresibel kepadatan mereka dipengaruhi oleh perubahan suhu dan tekanan. Kepadatan gas menurun dengan meningkatnya temperatur sedangkan mereka meningkat dengan peningkatan tekanan. Dalam kondisi moderat, sebagian besar gas mematuhi hukum gas ideal. Berat molekul gas di setiap kg (1 kg-mole menempati $22,4 \text{ m}^3$ pada 273^0K dan 1 atm. Sebagai contoh, densitas udara dapat dihitung dari:

$$\rho_{\text{Udara}} = \frac{29 \text{ kg}/\text{kgmole}}{22.4 \text{ m}^3/\text{kgmole}} \dots\dots\dots (1)$$

Kepadatan cairan dapat ditentukan dengan menggunakan piknometer. Luas mulut botol dapat digunakan untuk bahan yang sangat kental seperti pasta tomat, adonan, atau madu. Densitas cairan juga dapat diukur dengan menempatkan hidrometer dalam sebuah gelas kimia diisi dengan sampel cairan (Gambar 3.1). Hidrometer memiliki batang yang memanjang dari bola berbentuk tubular. Diameter batang kira-kira sama dengan diameter termometer. Bagian menggembung seperti bola lampu dapat diisi dengan bahan padatan untuk memberikan berat yang tepat sehingga hidrometer tenggelam keseluruhan dalam cairan uji sedemikian kedalaman batang dikalibrasi. Kedalaman hidrometer yang tenggelam tergantung pada kerapatan fluida yang dipindahkan. Semakin tenggelam hidrometer, semakin rendah kepadatan dari larutan. hidrometer berat konstan bekerja pada prinsip bahwa tubuh mengambang menggusur beratnya sendiri cairan. Kepadatan cairan dihitung dari rasio berat hidrometer untuk volume cairan yang dipindahkan:

$$\rho_1 = \frac{W}{AX+V} \dots\dots\dots(2)$$

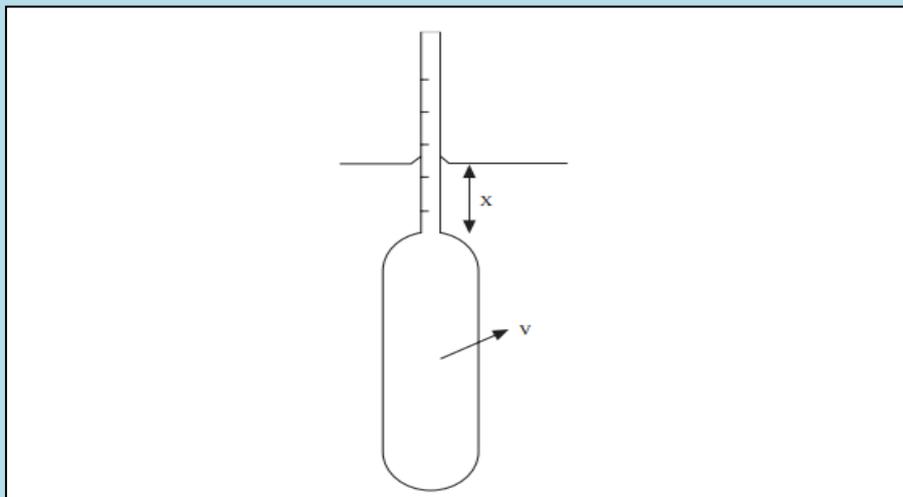
Dimana :

W = Berat Hygrometer

A = Irisan melintang dari batang (m²)

X = panjang batang yang terendam (m),

V = Volume dari bagian seperti bola lampu pada hydrometer. (m³)



Gambar 3.1. Hydrometer

Kepadatan Hydrometer kadang-kadang disiapkan untuk kisaran pengukuran yang sempit oleh karena itu sensitif terhadap perubahan kecil dalam kepadatan. Nama-nama tertentu diberikan kepada jenis-jenis hidrometer seperti lac-tometers untuk susu dan oleometers untuk minyak. hidrometer Twaddell digunakan untuk cairan kental. Skala Baume memiliki dua skala, salah satunya adalah untuk cairan kental dan yang lainnya adalah untuk cairan ringan. Berbagai hidrometer juga tersedia untuk tujuan tertentu selain kepadatan, seperti saccharometers brix untuk persentase sukrosa berdasarkan berat dalam larutan, alcoholometers untuk persentase alkohol menurut volume, dan salometers untuk penentuan saturasi persentase larutan garam.

Kepadatan bahan padatan dapat dihitung dari berat dan volume mereka. Metode pengukuran volume telah dibahas dalam Bagian sebelumnya. Kepadatan dapat dinyatakan dalam bentuk yang berbeda. Misalnya, untuk bahan partikulat seperti biji-bijian, seseorang mungkin tertarik pada kepadatan partikel individu atau kepadatan sebagian besar materi yang meliputi

volume tertentu. Dalam literatur, definisi kepadatan berbeda satu sama lain. Oleh karena itu, bentuk kepadatan harus didefinisikan dengan baik sebelum penyajian data. Definisi yang paling sering digunakan adalah:

True density (ρ_T) adalah densitas suatu zat murni atau bahan komposit dihitung dari kepadatan komponen yang mempertimbangkan kekekalan massa dan volume. Jika kepadatan dan volume atau fraksi massa konstituen diketahui, kepadatan dapat ditentukan dari:

$$\rho_T = \sum_{i=1}^n X_i^v \rho_i = \frac{1}{\sum_{i=1}^n X_i^w / \rho_i} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

ρ_i = Densitas dari komponen ke i ($\frac{kg}{m^3}$)

X_i^v = fraksi Volume dari komponen ke - i ,

X_i^w = fraksi masa dari komponen ke - i

n = Jumlah komponen

Solid density (ρ_s) adalah densitas bahan padat (termasuk air), termasuk setiap pori-pori interior yang dipenuhi dengan udara. Hal ini dapat dihitung dengan membagi berat sampel dengan volume yang solid ditentukan dengan metode perpindahan gas di mana gas mampu menembus semua pori-pori terbuka hingga diameter molekul gas.

Material (substance) density (ρ_m) adalah kepadatan bahan diukur ketika material ini telah dipecah menjadi potongan-potongan kecil yang cukup untuk memastikan bahwa tidak ada pori-pori tertutup.

Particle density (ρ_p) adalah kepadatan partikel yang belum dimodifikasi secara struktural. Ini mencakup volume dari semua pori-pori tertutup tetapi tidak yang terhubung dari luar. Hal ini dapat dihitung dengan membagi berat sampel dengan volume partikel yang ditentukan oleh piknometer gas.

Apparent density (ρ_{app}) adalah kepadatan zat termasuk semua pori-pori dalam bahan (pori-pori internal). Kerapatan nyata pada geometri biasa dapat ditentukan dari volume yang dihitung dengan menggunakan dimensi karakteristik dan pengukuran massa. Kerapatan nyata dari sampel berbentuk tidak teratur dapat ditentukan dengan metode perpindahan padat atau cair.

Bulk density (ρ_{bulk}) adalah kepadatan bahan ketika dikemas atau ditumpuk dalam jumlah besar. Kepadatan bulk suatu padatan partikulat diukur dengan membiarkan sampel untuk dituangkan ke wadah yang dimensinya diketahui. Perhatian khusus harus diambil karena metode pengisian dan dimensi kontainer dapat mempengaruhi pengukuran. Hal ini tergantung pada densitas atau kerapatan padatan, geometri, ukuran, sifat permukaan, dan metode pengukuran. Hal ini dapat dihitung dengan membagi berat sampel dengan volume bulk.

Kepadatan bahan makanan tergantung pada suhu dan suhu tergantung pada kepadatan komponen pangan utama [air murni, karbohidrat (CHO), protein, lemak, abu dan es] telah disajikan oleh Choi dan Okos (1986) sebagai berikut:

$$\rho_{air} = 997.18 + 3.1439 \times 10^{-3}T - 3.7574 \times 10^{-3} T^2 \dots\dots\dots(4)$$

$$\rho_{CHO} = 1599.1 - 0.31046 T \dots\dots\dots(5)$$

$$\rho_{Protein} = 1330 - 0.5184 T \dots\dots\dots(6)$$

$$\rho_{Lemak} = 925.59 - 0.41757 T \dots\dots\dots(7)$$

$$\rho_{abu} = 2423.8 - 0.28063 T \dots\dots\dots(8)$$

$$\rho_{Es} = 916.89 - 0.1307 T \dots\dots\dots(9)$$

dimana densitas atau kepadatan (ρ) adalah dalam kg/m^3 and suhu (T) adalah dalam derajat celsius dan bervariasi antara -40 dan $150^{\circ}C$.

Contoh : Hitung true density bayam pada $20^{\circ} C$ yang memiliki komposisi yang diberikan dalam Tabel 1

Pemecahan :

Menggunakan persamaan temperature dependent density (4-5), kepadatan komponen pada $20^{\circ}C$ dihitung dan diberikan dalam Tabel .1. Mengambil massa total bayam sebagai 100 g, fraksi massa dari masing-masing komponen dalam bayam ditemukan dan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Komposisi dari bayam	
Componen	Komposisi (%)
Air	91.57
Protein	2.86
lemak	0.35
Karbohidrat	1.72
Abu	3.50

Komponen	Densitas	X_{wi}^w
Air	995.74	0.9157
Protein	1319.63	0.0286
Lemak	917.24	0.0035
Karbohidrat	1592.89	0.0172
Abu	2418.19	0.0350

True density dari bayam dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (10):

$$\rho_T = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{X_i^w}{\rho_i}} \dots \dots \dots (10)$$

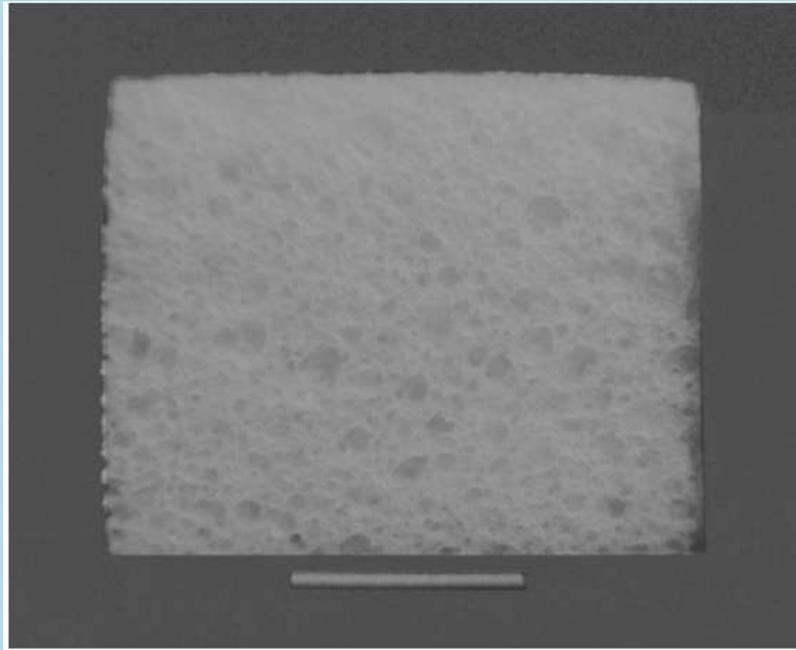
$$\rho_T = \frac{1}{\frac{0.9157}{995.74} + \frac{0.0286}{1319.63} + \frac{0.0035}{917.24} + \frac{0.0172}{1592.89} + \frac{0.035}{2418.19}} = 1030.53 \frac{kg}{m^3}$$

B. Porositas

Porositas adalah properti fisik penting yang mempengaruhi karakteristik tekstur dan kualitas kelembaban kering dan menengah makanan. data porositas sangat diperlukan dalam pemodelan dan desain berbagai perpindahan panas dan massa seperti pengeringan, penggorengan, pemanasan, pendinginan dan ekstrusi. Ini merupakan parameter penting dalam memprediksi sifat difusi makanan seluler. Porositas (ϵ) didefinisikan sebagai fraksi volume udara atau fraksi kekosongan dalam sampel dan diekspresikan sebagai berikut:

$$Porositas = \frac{(Volume Pori)}{Total Volume} \dots \dots \dots (11)$$

Ada berbagai metode untuk penentuan porositas, yang dapat diringkas sebagai berikut:



Gambar 3.2. Gambar sampel roti (skala mewakili 1 cm)

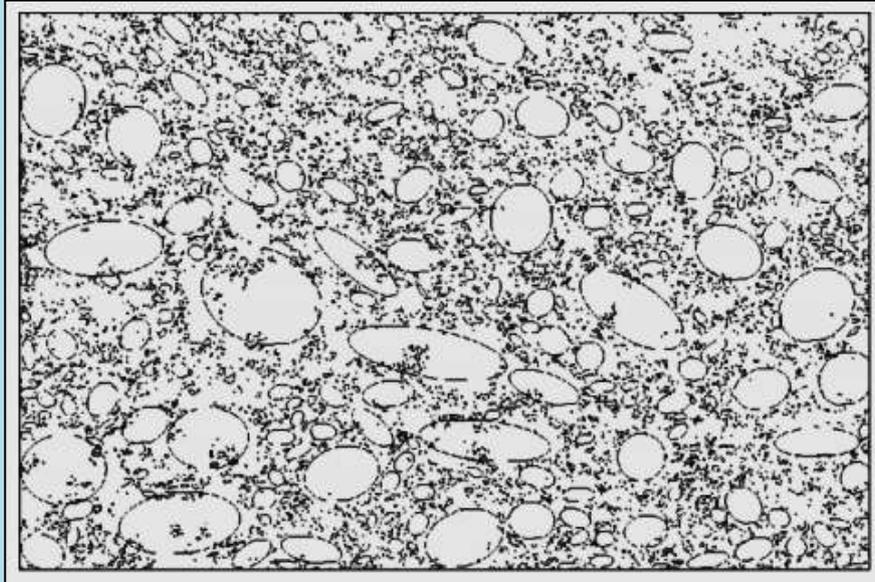
1. Direct method: Dalam metode ini, porositas ditentukan dari selisih volume bulk dari sepotong bahan berpori dan volumenya setelah penghancuran semua rongga dengan cara kompresi. Metode ini dapat diterapkan jika bahan yang sangat lembut dan tidak ada kekuatan yang menarik atau repulsif yang hadir antara partikel padat.

2. Optical method: dalam metode ini, porositas ditentukan dari tampilan mikroskopis dari bagian media berpori. Metode ini cocok jika porositas yang seragam di seluruh sampel, yaitu, porositas sectional mewakili porositas sampel keseluruhan. Distribusi ukuran pori dapat ditentukan jika perangkat lunak yang cocok digunakan untuk menganalisis gambar. Image J (<http://rsb.info.nih.gov/ij/>) adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menganalisis pori-pori dan untuk menentukan wilayah distribusi ukuran berbasis pori, diameter pori median, dan fraksi persen daerah pori-pori. Perangkat lunak ini menggunakan kontras antara dua fase (pori-pori dan bagian padat) dalam gambar (Abramoff, Magelhaes, & Ram, 2004). Pertama, gambar diperoleh. Kemudian, gambar warna dipindai diubah ke skala abu-abu dengan menggunakan software ini. Menggunakan batang panjang, nilai pixel menjadi unit jarak. Gambar 3.2 menunjukkan citra sampel roti. Dari gambar, daerah pori yang diambil oleh perangkat lunak (gambar 3.3). Porositas berdasarkan fraksi daerah untuk sampel roti ditentukan menjadi 0,348. Daerah-berbasis distribusi ukuran pori untuk roti ditunjukkan pada Gambar. 3.4.

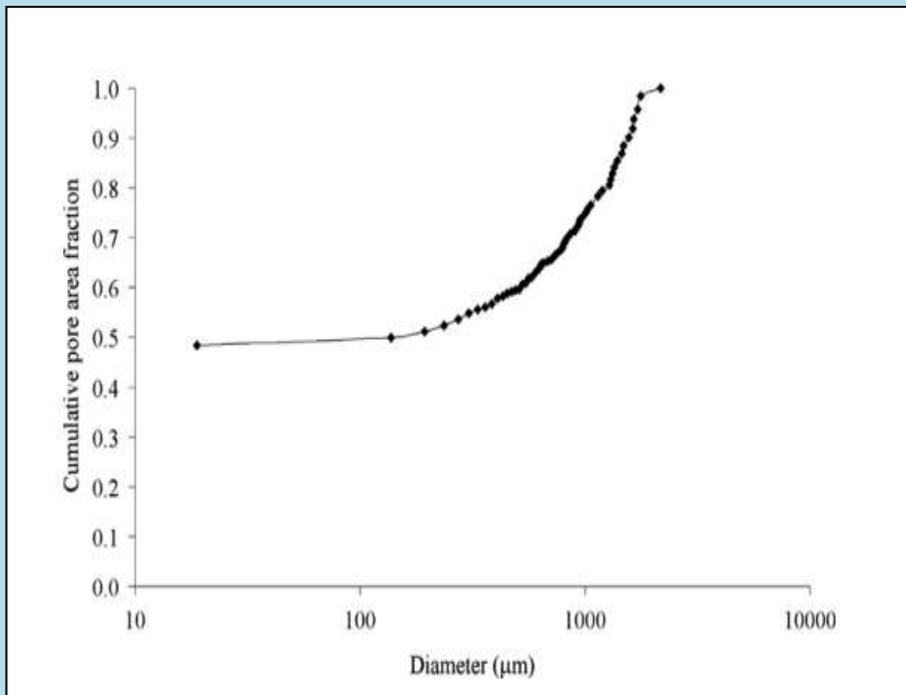
3. Density method: Dalam metode ini, porositas dihitung dari kepadatan yang terukur. Porositas akibat ruang udara tertutup dalam partikel diberi nama porositas nyata atau porositas

apparent (ϵ_{app}) dan didefinisikan sebagai rasio ruang udara total tertutup atau volume void dibanding volume total. Hal ini juga dapat diberi nama internal porositas. Porositas apparent dapat dihitung dari padatan yang terukur (ρ_s) dan kepadatan nyata (ρ_{app}) data sebagai:

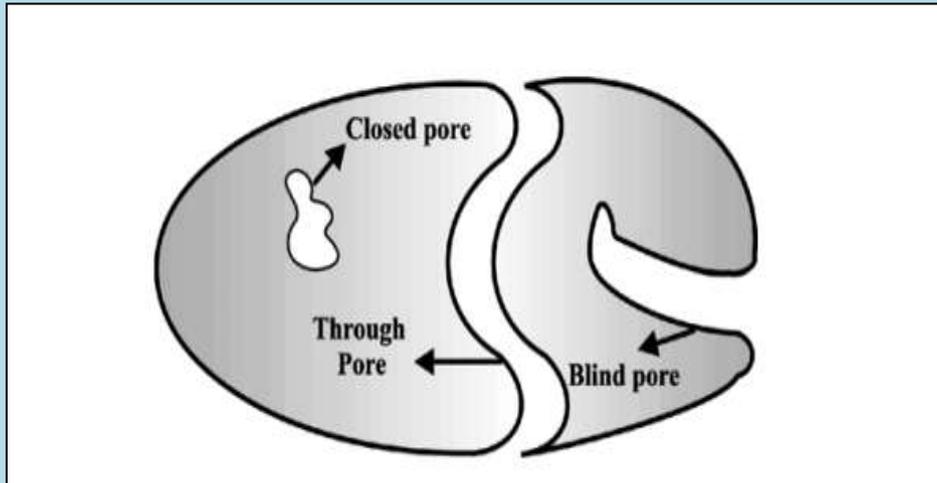
$$\epsilon = 1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_s} \dots\dots\dots(12)$$



Gambar 3.3. Pori-pori yang diekstraksi menggunakan image J



Gambar 3.4. Distribusi kumulatif ukuran pori



Gambar 5. Macam-macam pori.

atau dari volume padatan tertentu (\bar{V}_s) and volume apparent (\bar{V}_{app}) adalah sebagai berikut:

$$\epsilon_{app} = 1 - \frac{\bar{V}_s}{\bar{V}_{app}} \dots\dots\dots(13)$$

Bulk porosity atau porositas bulk (ϵ_{bulk}), yang juga dapat disebut porositas eksternal atau porositas interparticle, termasuk volume kosong di luar batas partikel individu ketika ditumpuk sebagai bulk dan dihitung menggunakan kepadatan bulk dan kepadatan nyata atau apparent sebagai berikut :

$$\epsilon_{bulk} = 1 - \frac{\rho_{bulk}}{\rho_{app}} \dots\dots\dots(14)$$

Atau dari volume specific bulk (\bar{V}_{bulk}) dan volume apparent (\bar{V}_{app}) sebagai berikut:

$$\epsilon_{bulk} = 1 - \frac{\bar{V}_{app}}{\bar{V}_{bulk}} \dots\dots\dots(15)$$

Kemudian, total porositas ketika material dikemas atau ditumpuk sebagai bulk yaitu :

$$\epsilon_{Total} = \epsilon_{app} + \epsilon_{bulk} \dots\dots\dots(16)$$

Pori-pori dalam bahan makanan (pori-pori internal) dapat dibagi menjadi tiga kelompok: pori-pori tertutup yang tertutup dari semua sisi, pori-pori buta atau blind pore

yang memiliki salah satu ujung tertutup, dan pori-pori terbuka atau pori-pori di mana bisa terjadi sebuah aliran (Gambar 3.5). Oleh karena porositas nyata adalah karena ruang udara tertutup di dalam partikel sehingga ada tiga bentuk yang berbeda dari pori-pori dalam partikel, dapat ditulis sebagai:

$$\epsilon_{app} = \epsilon_{CP} + \epsilon_{OP} + \epsilon_{BP} \dots \dots \dots (17)$$

Dimana :

- ϵ_{CP} = porositas disebabkan oleh pori-pori tertutup,
- ϵ_{OP} = porositas disebabkan oleh pori-pori terbuka,
- ϵ_{BP} = Porositas disebabkan oleh pori-pori blind.

Kemudian, porositas total dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\epsilon_{app} = \epsilon_{CP} + \epsilon_{OP} + \epsilon_{BP} + \epsilon_{bulk} \dots \dots \dots (18)$$

4. Metode gas pycnometer: Porositas dapat diukur secara langsung dengan mengukur fraksi volume udara dengan menggunakan piknometer perbandingan udara. Mengingat Persamaan. (19)

$$V_{a2} = V_2 - V_s = V_1 \frac{P_1 - P_2}{P_2} \dots \dots \dots (19)$$

Porositas dapat diukur dengan menggunakan persamaan. (20) sebagai berikut:

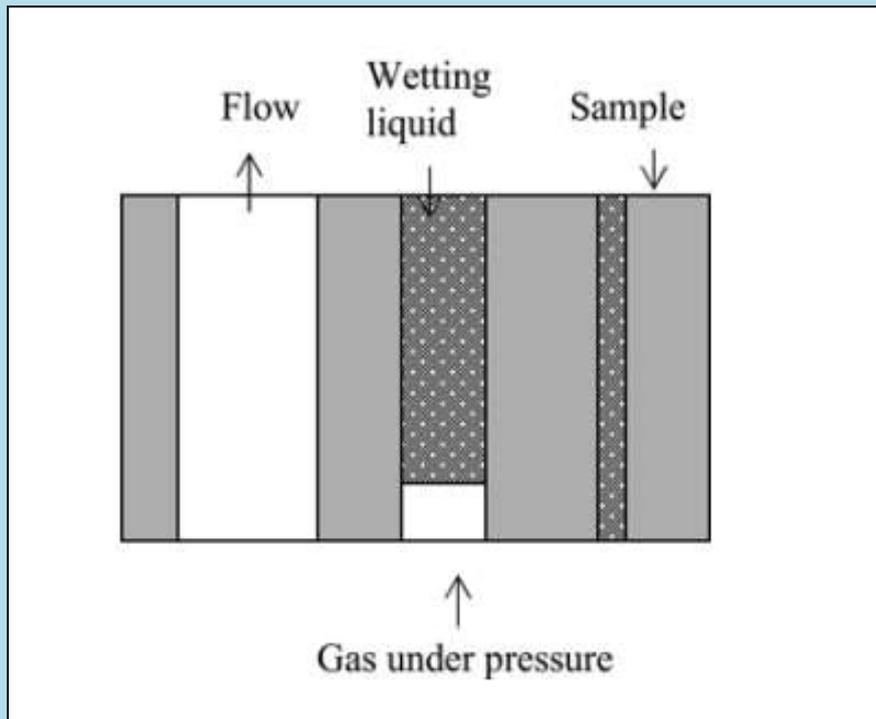
$$\epsilon = \frac{V_{A2}}{V_1} = \frac{P_1 - P_2}{P_2} \dots \dots \dots (20)$$

5. Menggunakan porosimeters: Porositas dan distribusi ukuran pori dapat ditentukan dengan menggunakan porosimeters, yang merupakan instrumen didasarkan pada prinsip intrusi cair ke pori-pori atau ekstrusi cairan dari pori-pori. Tekanan diterapkan untuk memaksa cairan, seperti air, minyak, atau merkuri, ke pori-pori karena cairan tidak dapat mengalir secara spontan dalam pori-pori. Untuk porosimetry ekstrusi, cairan pembasahan

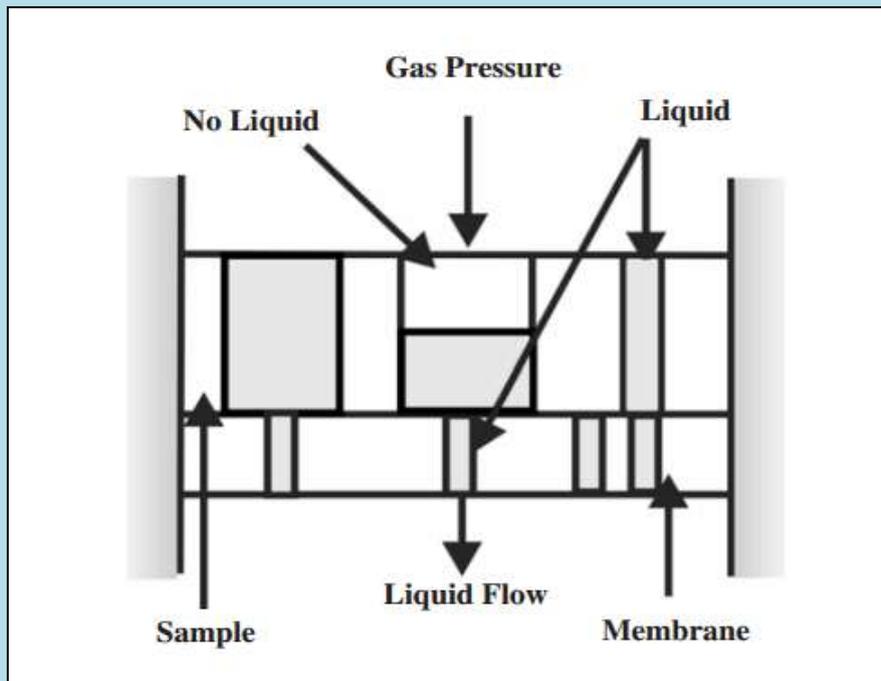
digunakan untuk mengisi pori-pori dalam bahan berpori. Liquid dipindahkan dari pori-pori dengan menerapkan tekanan diferensial pada sampel dan volume cairan diekstrusi yang diukur. Ukuran distribusi pori roti daging yang mengandung protein kedelai (Kassama, Ngadi, & Raghavan, 2003), roti dan kue sampel (Hicsasmaz & Clayton, 1992), produk tanaman pertanian (Karathanos, Kanellopoulos, & Belessioits, 1996) dan bahan pati (Karathanos & Saravacos, 1993) telah diukur dengan menggunakan porosimeter intrusi merkuri.

Dalam porosimetry intrusi, seperti intrusi merkuri cair, minyak, air yang digunakan, cairan dipaksa masuk pori-pori di bawah tekanan dan volume intrusi dan tekanan yang terukur. Porosimetry intrusi merkuri dapat mengukur pori-pori dalam berbagai ukuran dari 0,03-200 μm . sementara nonmercury porosimetry intrusi dapat mengukur pori-pori dalam berbagai ukuran dari 0,001 sampai 20 μm . Metode ini dapat mendeteksi volume pori, diameter pori, dan luas permukaan mealui pori-pori blind. Karena tekanan yang sangat tinggi yang dibutuhkan dalam intrusi merkuri, struktur pori sampel dapat terdistorsi.

Metode ekstrusi dapat dikategorikan sebagai porosimetry aliran kapiler dan porosimetry ekstrusi cair. Porosimetry aliran kapiler adalah metode ekstrusi cair di mana diferensial tekanan gas dan laju aliran melalui sampel basah dan kering diukur (Gbr. 3.6). Sebuah sampel basah dimasukkan ke dalam ruangan. Setelah ruangan disegel, gas mengalir ke ruang belakang sampel. Titik ketika tekanan dapat mengatasi aksi kapiler fluida dalam pori-pori terbesar dicatat sebagai titik gelembung. Pori terbesar harus membuka pada tekanan terendah. Untuk alasan ini, tekanan pada titik gelembung ditentukan dan diameter pori dihitung dari tekanan ini adalah pori terbatas terbesar. Setelah titik gelembung ditemukan, tekanan meningkat dan laju aliran diukur sampai semua pori-pori kosong. Diameter pori, berarti diameter aliran pori, luas permukaan melalui pori, dan cairan dan permeabilitas gas ditentukan dengan metode ini. Porosimetry aliran kapiler dapat mengukur ukuran pori antara 0,013 dan 500 μm (Jena & Gupta, 2002).



Gambar 3.6. Prinsip porosimetry aliran kapiler.



Gambar 3.7. Prinsip porosimetry aliran kapiler.

Untuk ukuran pori besar, ekstrusi porosimetry cair lebih disukai. Ekstrusi porosimetry cair dapat digunakan untuk ukuran pori 0,06 sampai 1000 μm . Skema dari ekstrusi porosimetry cair ditunjukkan pada Gambar 3.7. Dalam ekstrusi porosimetry cair, tekanan

gas diterapkan dan jumlah cairan yang mengalir keluar dari membran diukur. Tekanan yang dibutuhkan untuk menggantikan cairan dari pori-pori yang ditemukan dengan menyamakan kerja yang dilakukan oleh gas untuk peningkatan energi permukaan, diberikan oleh persamaan berikut:

$$P = \frac{4\sigma \cos \theta}{D} \dots\dots\dots(21)$$

Dimana P adalah perbedaan tekanan di pori-pori, σ adalah tegangan permukaan cairan pembasahan, θ adalah sudut kontak cairan dengan sampel, dan D diameter pori. Sebagai cairan, tegangan permukaan cairan rendah seperti galwick dapat digunakan. Seperti yang ditunjukkan oleh Persamaan. (21), tekanan terendah akan mendorong keluar cairan dari pori-pori terbesar, dan tekanan yang lebih tinggi akan mengosongkan pori-pori tekanan kecil. Dengan demikian, tekanan gas yang diperlukan untuk mengosongkan pori-pori sampel tidak dapat menghapus cairan dari pori-pori membran sedangkan yang cair didorong keluar dari sampel dapat melewati membran. Dari tekanan diukur dan volume yang sesuai cairan dikumpulkan, distribusi volume pori sebagai fungsi diameter dihitung. Diameter pori median adalah diameter di mana volume sama dengan setengah dari volume total cairan diekstrusi. Tekanan mekanis tinggi yang digunakan dalam ekstrusi pasta telah ditemukan untuk mengurangi porositas dan difusivitas kelembaban tepung terigu (Andrieu & Stamatopoulos, 1986). Pembentukan pori-pori dalam makanan selama pengeringan dapat menunjukkan tren yang berbeda (Rahman, 2003). Porositas dapat menunjukkan maksimum atau minimum sebagai fungsi dari kadar air. Hal ini juga dapat menurunkan atau meningkatkan secara eksponensial selama pengeringan tanpa menunjukkan titik optimum. Porositas kue cincin apel meningkat secara linear ketika kadar air menurun selama pengeringan dan kemudian mencapai nilai konstan (Bai, Rahman, Perera, Smith, & Melton, 2002). Sebuah peningkatan linier dalam porositas bulk juga diamati selama pengeringan sampel pati (Marousis & Saravacos, 1990). mengembangkan sebuah model teoritis untuk memprediksi porositas dalam makanan selama pengeringan dengan asumsi bahwa volume pori-pori yang terbentuk adalah sama dengan volume air yang dikeluarkan selama pengeringan.

Kehadiran pori-pori dan derajat porositas mempengaruhi sifat mekanik bahan makanan. Telah menunjukkan bahwa sifat mekanik produk makanan diekstrusi dipengaruhi

oleh porositas (Guraya & Toledo, 1996). Mandala dan Sotirakoglou (2005) menyebutkan bahwa remah dan tekstur kerak roti bisa berhubungan dengan porositas. Sebuah model regresi orde ketiga digunakan untuk mengekspresikan variasi porositas roti selama pembakaran dalam oven kombinasi inframerah-microwave dan model itu ditemukan secara signifikan tergantung pada daya microwave dan daya lampu halogen yang ditempatkan di bagian atas oven (Demirekler, Sumnu, & Sahin, 2004). Roti dipanggang dalam oven dengan kombinasi inframerah-microwave memiliki porositas tinggi dari pada yang dipanggang dalam oven konvensional.

Porositas juga penting dalam menggoreng, karena mempengaruhi penyerapan minyak produk. Hubungan linier ditemukan antara penyerapan minyak selama penggorengan dan porositas sebelum menggoreng (Pinthus, Weinberg, & Saguy, 1995). Porositas meningkat selama menggoreng produk kentang direstrukturisasi dan setelah periode awal, itu ditemukan secara linear berhubungan dengan penyerapan minyak. Peningkatan porositas selama menggoreng chicken nugget juga diamati oleh Altunakar, Sahin, dan Sumnu (2004). Itu juga mengamati bahwa formulasi adonan penting dalam mengendalikan porositas dan penyerapan minyak selama deep-fat frying. Pati jagung ditemukan untuk memberikan porositas tertinggi dibandingkan dengan amylo maize pati, praelatinisasi tepung tapioka, dan pati jagung lilin. Dogan, Sahin, dan Sumnu (2005a) menunjukkan bahwa porositas chicken nugget dilapisi dengan nasi adonan yang mengandung dan tepung kedelai meningkat selama penggorengan namun penurunan diamati pada tahap selanjutnya dari menggoreng. Hal ini mungkin akibat intrusi minyak ke dalam pori-pori dan kapiler awalnya diisi oleh udara atau uap yang dihasilkan dari air menguap. Perkembangan porositas di gorengan chicken nugget ditemukan menjadi fungsi dari jenis protein yang digunakan dalam persiapan adonan (Dogan, Sahin, & Sumnu, 2005b). Penambahan isolat protein kedelai menghasilkan produk yang paling berpori, sedangkan batters yang protein whey dan telur albumin telah ditambahkan tidak berbeda nyata dari batters kontrol. Porositas dimodelkan sebagai fungsi linear dari hilangnya kelembaban pada saat menggoreng daging (Kassama & Ngadi, 2005). Model eksponensial yang digunakan untuk menggambarkan porositas dalam hal penyerapan minyak untuk menggoreng suhu yang berbeda. Rahman dan Potluri (1990) menggunakan model kuadrat untuk memprediksi porositas sebagai fungsi dari kadar air dalam daging mantel cumi.

C. Luas Permukaan

Dua jenis luas permukaan yang digunakan dalam proses perhitungan: batas permukaan terluar dari sebuah partikel atau benda, dan luas permukaan pori untuk bahan berpori. Sebuah objek dapat dicirikan dengan menggunakan geometri Euclidian atau geometri non-Euclidian. Bentuk geometris Euclidian selalu memiliki karakteristik dimensi dan memiliki keganjilan umum penting dari kehalusan permukaan, contoh termasuk bola, kubus, dan ellipsoids.

- **Bola** : $V = \frac{4}{3}\pi r^3$, dan $A = 4\pi r^2$
- **Silinder** : $V = \pi r^2 L$, dan $A = 2\pi r^2 L + 2\pi r L$
- **Kubus** : $V = a^3$, dan $A = 6a^2$
- **Balok** : $V = abc$, dan $A = 2(ab + bc + ca)$
- **Prolate spheroid** : $V = \frac{4}{3}(\pi a b^2)$ dan $A = 2\pi b^2 + \frac{2\pi a b}{e} \sin^{-1} e$
- **Oblate spheroid** : $V = \frac{4}{3}(\pi a^2 b)$ dan $A = 2\pi a^2 + \frac{\pi b^2}{e} \ln\left(\frac{1+e}{1-e}\right)$
- **Frustam right cone** : $V = \frac{\pi}{3}L(r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2)$ dan $A = \pi(r_1 + r_2)\sqrt{L^2 + (r_1 - r_2)^2}$

Dimana $e = \sqrt{1 - (b/a)^2}$

r_1 dan r_2 adalah jarijari atas dan bawah, L adalah tinggi

D. Shrinkage/ pengerutan

Penyusutan adalah penurunan volume makanan selama pengolahan seperti pengeringan. Ketika kelembaban dihilangkan dari makanan selama pengeringan, ada ketidakseimbangan tekanan antara di dalam dan di luar makanan. Hal ini menghasilkan tekanan kontrak mengarah ke penyusutan material atau hancurnya makanan (Walikota & Sereno, 2004). Penyusutan mempengaruhi koefisien difusi material dan karena itu memiliki efek pada tingkat pengeringan. penyusutan nyata atau penyusutan apparent didefinisikan sebagai rasio dari volume nyata atau volume apparent pada kadar air yang diberikan dengan volume apparent awal bahan sebelum pengolahan:

Waktu (menit)	V_{app}	V_s	Porositas
10	81.5	61.5	0.25
20	95.4	43.1	0.55
30	113.8	30.8	0.73

$$S_{app} = \frac{V_{app}}{V_{appo}} \dots\dots\dots(22)$$

Dimana :

V_{app} = Volume nyata pada kadar air tertentu (m^3)

V_{appo} = Volume nyata mula – mula (m^3)

Penyusutan juga didefinisikan sebagai perubahan persen dari volume awal apparent. Dua jenis penyusutan biasanya diamati pada bahan makanan. Jika ada penyusutan seragam dalam semua dimensi materi, itu disebut penyusutan isotropik. Penyusutan tidak seragam dalam dimensi yang berbeda, di sisi lain, adalah penyusutan calledanisotropic. penyusutan pengeringan dimodelkan dalam literatur dengan menggunakan model empiris dan mendasar. Model empiris berkorelasi dengan penyusutan kadar air. Model linear dapat digunakan jika pengembangan porositas selama pengeringan diabaikan. Mulet, Tarrazo, Garcia-Reverter, dan Berna (1997) menunjukkan bahwa jika porositas meningkat tajam selama tahap akhir pengeringan, penyusutan dapat dijelaskan dengan baik oleh model eksponensial. Model Fundamental memungkinkan prediksi kadar air dan / atau perubahan volume yang akan diperoleh tanpa perhitungan matematika yang rumit. Beberapa model dasar termasuk variasi porositas selama proses pengeringan diberikan di bawah berikut ini (Walikota & Sereno, 2004; Perez & Calvelo, 1984; Rahman, Perera, Chen, Driscoll, & Potluri, 1996):

$$\frac{V}{V_0} = \frac{1}{1-\varepsilon} \left(1 + \frac{\rho_0(X-X_0)}{\rho_w(1+X_0)} \right) \dots\dots\dots(23)$$

Dimana X adalah kadar air dalam basis kering, ρ adalah densitas, subscript 0 menunjukkan kondisi awal, dan subscript w menunjukkan air. Model yang diusulkan oleh Perez dan Calvelo (1984) tidak perlu data komposisi dari fase padat untuk menghitung penyusutan. Model ini ditingkatkan dengan mengambil porositas awal materi ke persamaan

$$\frac{V}{V_0} = \frac{1}{1-\varepsilon} \left(1 + \frac{\rho_0(X-X_0)}{\rho_w(1+X_0)} - \varepsilon_0 \right) \dots\dots\dots(24)$$

Sebagian besar model dasar mengasumsikan penambahan volume dari fase yang berbeda dalam sistem. Pengecualian untuk penambahan volume terlihat pada model yang diajukan oleh Rahman et al. (1996). Interaksi antara fase bahan dicatat dengan cara volume berlebih akibat interaksi fase komponen.

$$\frac{V}{V_0} = \frac{\rho_0}{\rho} \left(\frac{1+X}{1+X_0} \right) \text{ (Rahman et al., 1996)} \dots\dots\dots (25)$$

Dimana X_i^w adalah fraksi massa dan $\rho = \frac{1-\varepsilon_{ex}-\varepsilon}{\sum_{i=1}^m \frac{X_i^w}{(\rho T)_i}}$

Fraksi volume berlebih (ε_{ex}) adalah rasio dari volume berlebih, yang didefinisikan sebagai perubahan volume yang dihasilkan dari campuran komponen murni pada temperatur tertentu dan tekanan terhadap volume total.

Referensi

- Abramoff, M.D., Magelhaes, P.J., & Ram, S.J. (2004). Image processing with Image J. *Biophotonics International*, 11,36–42.
- Altunakar, B., Sahin, S., & Sumnu, G. (2004). Functionality of batters containing different starch types for deep-fat frying of chicken nuggets. *European Food Research and Technology*, 218,318–322.
- Bai, Y., Rahman, M.S., Perera, C.O., Smith, B., & Melton, L.D. (2002). Structural changes in apple rings during convection air-drying with controlled temperature and humidity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50,3179–3185.
- Choi, Y., & Okos, M.R. (1986). Effects of temperature and composition on the thermal properties of foods. In M. Le Maguer, & P. Jelen (Eds.), *Food Engineering and Process Applications*, Vol. 1: Transport Phenomena. New York: Elsevier.
- Demirekler, P., Sumnu, G., & Sahin, S. (2004). Optimization of bread baking in halogen lamp-microwave combination oven by response surface methodology. *European Food Research and Technology*, 219,341–347.
- Dogan, S.F., Sahin, S., & Sumnu, G. (2005a). Effects of soy and rice flour addition on batter rheology and quality of deep-fat fried chicken nuggets. *Journal of Food Engineering*, 71,127–132.
- Dogan, S.F., Sahin, S., & Sumnu, G. (2005b). Effects of batters containing different protein types on quality of deep-fat fried chicken nuggets. *European Food Research and Technology*, 220,502–508.
- Guraya, H.S., & Toledo, R.T. (1996). Microstructural characteristics and compression resistance as indices of sensory texture in a crunchy snack product. *Journal of Texture Studies*, 27,687–701.
- Jena, A., & Gupta, K. (2002). Characterization of pore structure of filtration media. *Fluid Particle Separation Journal*, 4, 227–241.
- Karathanos, V.T., & Saravacos, G.D. (1993). Porosity and pore size distribution of starch materials. *Journal of Food Engineering*, 18,259–280.
- Karathanos, V.T., Kanellopoulos, N.K., & Belessiotis, V.G. (1996). Development of porous structure during air drying of agricultural plant products. *Journal of Food Engineering*, 29,167–183.

- Kassama, L.S., & Ngadi, M.O. (2005). Pore development and moisture transfer in chicken meat during deep-fat frying. *Drying Technology*, 23, 907–923.
- Kassama, L.S., Ngadi, M.O., & Raghavan, G.S.V. (2003). Structural and instrumental textural properties of meat patties containing soy protein. *International Journal of Food Properties*, 6, 519–529.
- Mandala, I.G., & Sotirakoglou, K. (2005). Effect of frozen storage and microwave reheating on some physical attributes of fresh bread containing hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*, 19, 709–719.
- Marousis, S.N., & Saravacos, G.D. (1990). Density and porosity in drying starch materials. *Journal of Food Science*, 55, 1367–1372.
- Mayor L., & Sereno, A.M. (2004). Modelling shrinkage during convective drying of food material: A review. *Journal of Food Engineering*, 61, 373–386.
- Mulet, A., Tarrazo, J., Garcia-Reverter, J., & Berna A. (1997). Shrinkage of cauliflower florets and stems during drying. In R. Jowitt (Ed.), *Engineering of Food at ICEF 7* (pp. 97–100). Sheffield, UK: Sheffield Academic Press.
- Pinthus, E.J., Weinberg, P., & Saguy, I.S. (1995). Oil uptake in deep fat frying as affected by porosity. *Journal of Food Science*, 60, 767–769.
- Rahman, M.S. (2003). A theoretical model to predict the formation of pores in foods during drying. *International Journal of Food Properties*, 6, 61–72.
- Rahman, M.S. (2005). Mass-volume-area-related properties of foods. In M.A. Rao, S.S.H. Rizvi & A.K. Datta (Eds.), *Engineering Properties of Foods*, 3rd ed. (pp. 1–39). Boca Raton, FL: CRC Press Taylor & Francis.
- Rahman, M.S., & Potluri, P.L. (1990). Shrinkage and density of squid flesh during air drying. *Journal of Food Engineering*, 12, 133–143.
- Rahman, M.S., Perera, C.O., Chen, X.D., Driscoll, R.H., & Potluri, P.L. (1996) Density, shrinkage and porosity of calamari mantle meat during air drying in a cabinet dryer as a function of water content. *Journal of Food Engineering*, 30, 135–145.

Propagasi

A. Latihan dan Diskusi (Propagasi vertical dan Horizontal)

1. Carilah contoh bahan makanan yang berpori, kemudian carilah penyelesaian untuk mendefinisikan nilai densitas, porositas, luas permukaan dan shrinkage-nya

B. Pertanyaan (Evaluasi mandiri)

1. Hitung kebulatan dari buah persik yang memiliki masing-masing diameter besar, diameter menengah, dan diameter kecil 58,2 mm, 55,2 mm, dan 48,8 mm.
2. Tentukan porositas bawang Vidali manis, yang mengandung 93.58% air, 1,04% protein, 0,45% lemak, 4,48% karbohidrat, dan 0,46% abu. Apparent densitas bawang diukur dengan metode perpindahan cairan. Toluena digunakan sebagai cairan piknometer karena potongan bawang mengapung di atas air. Semua pengukuran dilakukan pada suhu 20⁰C dan kepadatan toluena yang diketahui 865 kg / m³. Data yang diperoleh dari pengukuran perpindahan cair adalah sebagai berikut:

Bobot piknometer kosong: 75,87 g

Bobot piknometer diisi dengan toluena: 126,58 g

Bobot piknometer mengandung bawang satunya: 85.87 g

Berat piknometer yang mengandung bawang merah dan
diisi dengan toluena:

127,38 g

Hitung porositas bawang Vidalia manis.