

PENGUKURAN VOLUME BENDA PADAT BERBAGAI BENTUK DENGAN BERDASARKAN VOLUME DESAKAN PADA BAHAN CURAH

B. Rahardjo¹⁾, B. Suratmo¹⁾ dan R. Kushendarti²⁾

ABSTRACT

Some of the standard methods to measure the solid volume are based on fluid displacement. However, most of agricultural products are absorbable to water and certain fluids. Therefore the use of fluids to determine the volume of agricultural products can cause error. Where as bulk materials on certain condition behave and flow such as fluids but are not absorbable to products. Accordingly the objectives of the research were to evaluate the accuracy of volume measurement of solid particles with several shapes using bulk materials and to determine the measurement error and its relation to the pertinent parameters. The volume determined using bulk materials were compared with that measured using standard methods. The errors of the measurements were related to the pertinent parameters such as granular size and solid particle size. Samples used were spheres, cylinders, cubes, prisms and any shapes of solid particles made from wood, glass, bronzes or stone with any shapes. The bulk material was sand found on rivers around the city of Yogyakarta. The results indicate that the particle volume can be determined using bulk materials. However, volume measured using bulk materials was higher than that determined using standard methods. The volume errors increases as the granular size increases and as the solid particle size decreases. The error can be related to the granular particle size ratio quite well. The corrected volume with the estimated error was closely similar to the volume determined using standard methods. Bulk materials consisting of small size, smooth surface and sphere like shape granules are likely ideal medium for solid volume measurements.

Kata kunci : Sifat fisikawi, volume benda, bahan curah, pengukuran volume.

PENDAHULUAN

Pengukuran volume produk pertanian merupakan salah satu cara untuk menentukan sifat fisikawi benda padat. Beberapa sifat fisikawi berkaitan dengan volume benda padat seperti halnya densitas, berat jenis, konsentrasi, angka muai, luas permukaan dan lainnya. Beberapa penggunaan berkaitan dengan sifat fisikawi bahan tersebut telah banyak dipublikasikan. Perubahan densitas sering digunakan untuk menentukan kemasakan buah dan umbi (Gould, 1957). LaBelle (1964) menghubungkan tekstur dan kelunakan buah dengan densitas buah. Davis (1962) menghubungkan berat jenis buah dengan porositas daging buah. Frechette dan Zahradink (1966) menghubungkan volume, berat dan luas permukaan pada apel McIntosh. Pengukuran volume juga digunakan sebagai unsur dalam merancang kemasan berlekuk buah-buahan tunggal (Peleg, 1987). Beberapa penelitian melaporkan hubungan kinerja peralatan dan perilaku produk pertanian dengan beberapa sifat fisikawi yang berhubungan dengan volume (Mohsenin, 1987).

Beberapa bentuk benda padat dapat diukur berdasarkan ukuran fisik bentuknya atau berdasarkan ukuran sisi sisinya. Volume balok, silinder atau bola dapat dihitung berdasarkan ukuran fisiknya. Namun beberapa jenis bahan pertanian cenderung berbentuk tidak menentu sehingga volumenya tidak dapat dihitung berdasarkan ukuran fisiknya. Untuk menentukan volume produk pertanian tersebut perlu digunakan cara pengukuran selain berdasarkan ukuran fisiknya. Berdasarkan cara baku telah dikembangkan untuk menentukan volume benda berbentuk tak menentu (Mohsenin, 1987; Lewis, 1987; Peleg dan Bagley, 1983).

Cara baku yang lazim digunakan adalah berdasarkan prinsip desakan benda padat pada benda cair seperti air, air raksa dan toluene (Mohsenin, 1987; Lewi, 1987). Penggunaan desakan air banyak digunakan karena selain air mudah didapat juga karena berat jenis air yang relatif ringan sehingga kebanyakan benda padat mudah tenggelam. Namun umumnya bahan pertanian merupakan benda sarang (porus) sehingga air cenderung meresap kedalam benda padat yang mengakibatkan dapat terjadi kesalahan ukur. Untuk mengatasi peresapan tersebut sebelumnya benda padat dicelupkan pada lilin atau vaselin cair kemudian baru direndamkan ke dalam air. Dalam hal ini volume benda didapatkan setelah volume desakan dikoreksi dengan volume lilin yang menempel pada benda padat. Pencelupan dengan lilin selain mencegah terjadinya peresapan juga dapat mencegah terjadinya pengebakan udara dipermukaan benda akibat bentuk yang tidak teratur dan dapat menimbulkan kesalahan ukur. Namun demikian metode pengukuran baku tersebut ini sering dianggap sangat repot dan kurang praktis.

Penggunaan air raksa dapat mencegah peresapan bahan cair kedalam bahan sarang. Namun air raksa mempunyai berat jenis yang tinggi (13.600 kg/m^3), sehingga untuk bahan pertanian yang cenderung lebih ringan ($\pm 1.100 \text{ kg/m}^3$) akan sulit tenggelam dan perlu ditekan untuk menenggelamkannya. Disamping itu karena sifat kohesi air raksa lebih tinggi dari pada sifat adhesinya maka air raksa sulit untuk mengisi ruang sempit atau celah celah pada permukaan sehingga dapat menyebabkan terjadinya kesalahan ukur volume.

Cairan toluene ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$) sering digunakan dalam menentukan berat jenis biji-bijian. Cairan ini dibandingkan dengan cairan lainnya mempunyai beberapa kelebihan, yaitu kemungkinan untuk meresap kecil, tegangan permukaan rendah sehingga dapat mengalir merata di permukaan, kemungkinan reaksi dengan lemak dan minyak rendah, titik didih tinggi, dalam udara terbuka tidak banyak mengalami perubahan densitas dan viscositas, serta mempunyai densitas rendah. Namun dalam pengadaan bahan cair ini tidak

¹⁾ Fakultas Teknologi Pertanian UGM

²⁾ Alumni Fakultas Teknologi Pertanian UGM

semudah seperti pengadaan air murni maupun air raksa (Mohsenin, 1987; Wirakartakusumah et. al., 1992).

Benda curah sendiri sebenarnya tersusun dari benda padat yang berbentuk bulir atau butir. Namun karena tersusun tidak terikat maka masing-masing butir bebas bergerak sendiri. Dengan bentuk ini maka benda curah akan cenderung dapat menyesuaikan bentuknya dengan tempat dan ruangan yang ada seperti halnya benda cair. Dalam batas tertentu bahan curahpun dapat mengalir menyerupai bahan cair (Lewis, 1987; Brooker et. al., 1992). Dilihat dari kecenderungan butir bahan curah yang dapat mengikuti bentuk ruangan yang ada maka bahan curah tersebut mempunyai kemungkinan digunakan untuk mengukur volume benda padat berdasarkan volume perpindahan pada bahan cair. Namun informasi tentang penggunaan bahan curah untuk mengukur volume benda padat terbatas dan tidak mudah didapatkan (Mohsenin, 1987; Lewis, 1987; Peleg dan Bagley, 1983).

Berdasarkan hal tersebut maka tujuan penelitian ini adalah untuk menguji ketepatan pengukuran volume benda padat dengan berdasarkan prinsip perpindahan bahan curah serta mencari hubungan empiris kesalahan ukur dengan parameter penentu kesalahan. Setelah dilakukan koreksi pada volume hasil ukur benda padat berdasarkan desakan bahan curah dengan menggunakan kesalahan ukur seperlunya maka hasil koreksinya dibandingkan dengan hasil ukur dengan cara baku.

METODOLOGI

Teori. Volume benda cair cenderung akan tetap sebagaimana bentuk tempat penampungannya. Sedangkan bahan curah cenderung berubah volumenya bila dipindahkan ke tempat penampungan yang berbeda. Perubahan volume tersebut terjadi karena adanya perubahan kepadatan penyusunan butir-butir bahan curah atau kesarangannya. Kesarangan bahan curah selain dipengaruhi oleh cara penyusunan butir juga ditentukan oleh pengukuran butir bahan curah. Makin besar diameter butir akan makin besar kesarangan bahan curah. Oleh karena itu ukuran volume benda padat dengan menggunakan bahan curah akan menghasilkan volume yang berbeda dengan hasil pengukuran volume menggunakan metode baku berdasarkan desakan bahan cair. Kesalahan ukur volume ϵ didefinisikan sebagai nisbah beda ukur volume dengan kedua cara tersebut dan hasil ukur menggunakan bahan curah atau sebagai berikut (Kushendarti, 1997):

$$\epsilon = \frac{V_m - V_0}{V_m} \quad 1)$$

Besar kesalahan ukur volume ϵ akan dipengaruhi oleh ukuran butir bahan curah dan ukuran partikel bahan padat yang diukur. Bilamana benda padat dianggap sebagai bola dan ukuran dinyatakan dengan diameter bahan curah d dan diameter bola D maka secara matematis kesalahan ukur volume ϵ dapat dinyatakan sebagai berikut (Mohsenin, 1987):

$$\epsilon = f(d, D) \quad 2)$$

Dengan menggunakan metoda analisis dimensi maka akan didapatkan dua bilangan tak berdimensi yaitu kesalahan ukur ϵ dan nisbah ukuran d/D . Dengan menggunakan kedua bilangan tak berdimensi tersebut maka kesalahan ukur volume ϵ dapat dikemukakan dengan persamaan empiris sebagai berikut (Lewis, 1987) :

$$\epsilon = \alpha \left(\frac{d}{D} \right)^{\beta} \quad 3)$$

Untuk benda padat berbentuk selain bola maka diameter D merupakan diameter setara D_{eq} yang didapatkan berdasarkan hasil pengukuran volume dengan bahan curah atau dapat dikemukakan sebagai berikut (Rahardjo dan Sastry, 1993) :

$$D_{eq} = \sqrt[3]{\frac{6V_m}{\pi}} \quad 4)$$

Modifikasi persamaan kesalahan ukur 3) dengan berdasarkan diameter setara D_{eq} dengan demikian dapat dikemukakan sebagai berikut :

$$\epsilon = \alpha \left(\frac{d}{D_{eq}} \right)^{\beta} \quad 5)$$

Kedua konstanta α dan β dicari secara empiris berdasarkan data hasil pengamatan. Bilamana kesalahan ukur ϵ dapat ditentukan dengan persamaan 5) maka volume hasil ukur dapat dikoreksi berdasarkan persamaan 1) sebagai berikut :

$$V_0 = V_m (1 - \epsilon) \quad 6)$$

Hasil pengukuran volume dengan bahan curah yang telah dikoreksi tersebut akan setara dengan volume hasil pengukuran dengan cara baku.

Sampel. Sebagai sampel untuk penelitian ini digunakan benda padat berbentuk bola, silinder, balok, limasan segitiga dan berbentuk tak menentu. Sampel berbentuk bola, silinder, balok dan segitiga limasan dibuat dari kayu, gelas, atau logam yang didapatkan di pasar bebas. Sedangkan untuk benda berbentuk tak menentu diambilkan batu sembarang dengan bentuk sesuai kebutuhan.

Bahan curah. Bahan curah yang digunakan untuk pengukuran volume berupa pasir kali yang didapatkan dari beberapa tempat di sekitar kota Yogyakarta. Pasir kali dipilih dengan pertimbangan bahwa butir pasir kali sudah mengalami abrasi permukaan sehingga permukaannya licin dan bentuknya mendekati bola. Sebelumnya pasir dicuci sehingga bebas dari lumpur dan tanah. Kemudian pasir dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C selama 24 jam sampai kering sehingga butir pasir akan mudah dan bebas bergerak. Pasir diayak dengan saringan bernomor 60, 50, 40, 30, 20 dan 10 yang memisahkan butir pasir dengan masing-masing diameter rata-rata sebesar 1,65 mm, 0,83 mm, 0,59 mm, 0,4 mm dan 0,2 mm (Kushendarti, 1977).

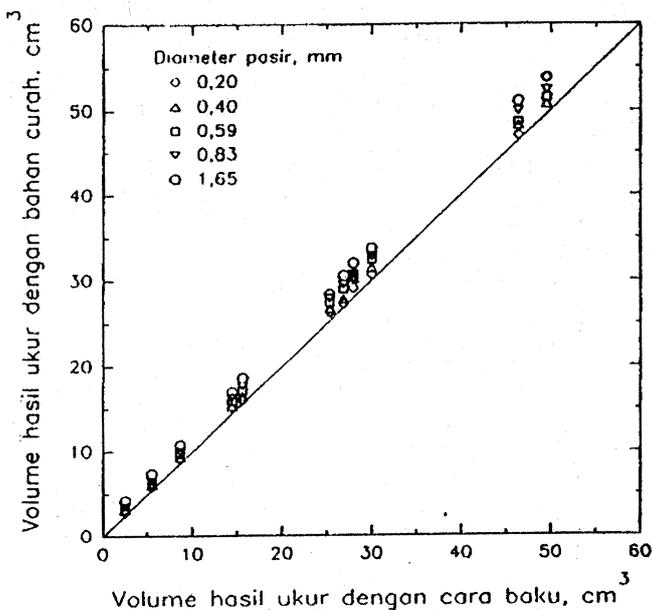
Prosedur Pengukuran. Pasir ditempatkan pada ember yang sudah ditera volumenya. Volume awal pasir diukur dengan memasukkan pasir kedalam ember dan digetarkan beberapa

lama sampai volumenya konstan. Untuk mendapatkan volume akhir maka kemudian sampel dibenamkan kedalam pasir sehingga seluruhnya tertutup pasir dan kemudian digetarkan sampai volume konstan. Volume benda V_m merupakan beda volume akhir pasir dengan volume awalnya. Sebagai volume baku V_0 benda diukur dengan sebelumnya diberi lapisan lilin dan kemudian dicelupkan kedalam air.

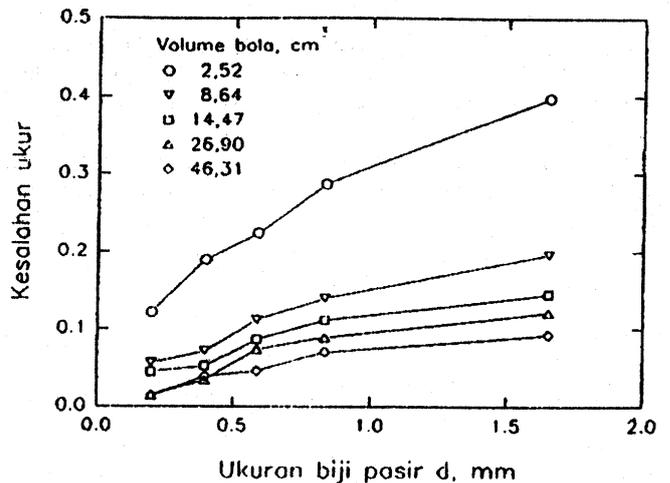
Analisa data. Hubungan kesalahan ukur volume dengan nisbah ukuran dicari dengan menggunakan operasi logaritma pada persamaan (6) sehingga didapatkan hubungan linier. Kedua konstant dicari dengan regresi linier menggunakan program komputer yang ada (Qpro, Borland).

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

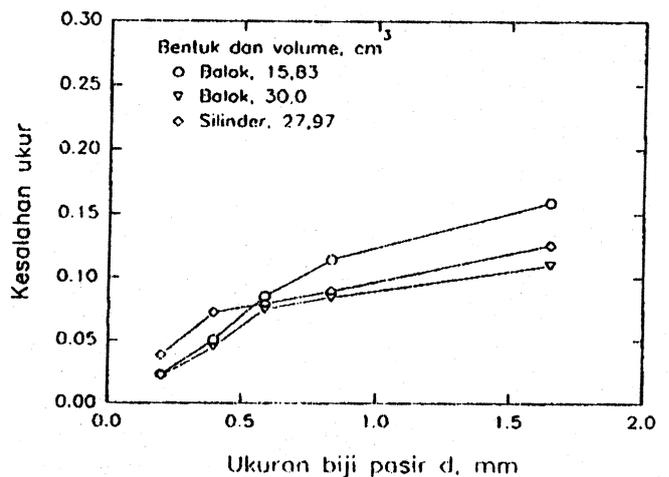
Volume benda padat hasil pengukuran dengan menggunakan bahan curah cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan hasil pengukuran dengan metode baku (Gambar 1). Dalam gambar tersebut kelebihan volume pengukuran dengan bahan curah ditunjukkan dengan titik yang terletak di atas garis diagonal kesamaan volume. Dengan pengertian kesalahan ukur volume seperti pada persamaan 1), maka kesalahan ukur untuk setiap bentuk dan setiap ukuran benda padat ditentukan dengan persamaan tersebut. Gambar 2 menyajikan kesalahan ukur volume benda padat berbentuk bola dengan berbagai ukuran. Sedangkan Gambar 3 menyajikan kesalahan ukur volume untuk benda padat berbentuk balok dan silinder dengan nisbah ukuran diameter dan tinggi sama dengan satu. Gambar 4 memperlihatkan kurva kesalahan ukur benda padat berbentuk limas segitiga dan benda dengan bentuk tak menentu.



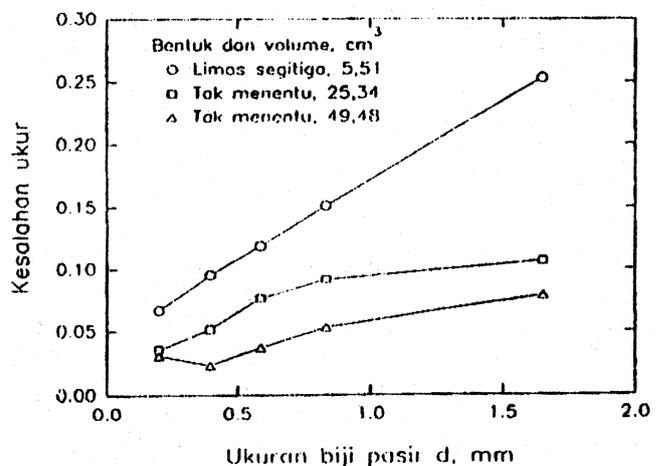
Gambar 1. Plot acak volume hasil pengukuran menggunakan cara baku dan volume hasil pengukuran menggunakan bahan curah.



Gambar 2. Kesalahan ukur pada pengukuran volume benda berbentuk bola dengan berbagai ukuran

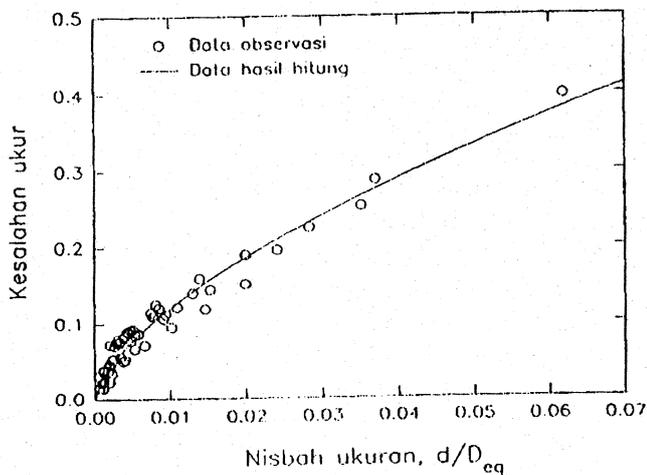


Gambar 3. kesalahan ukur pada pengukuran volume benda berbentuk kubus dan silinder dengan indeks ukuran satu.



Gambar 4. Kesalahan ukur pada pengukuran volume benda berbentuk tak menentu dan limas

Berdasarkan ketiga Gambar 2, 3 dan 4 nampak ada kecenderungan bahwa semakin besar ukuran butir pasir yang digunakan akan semakin besar pula kesalahan ukur volume. Demikian juga nampak bahwa semakin besar volume benda padat yang diukur maka kesalahan ukur volume yang terjadi cenderung akan mengecil. Dengan menghitung diameter setara (equivalent) seperti ditunjukkan dengan persamaan (4) maka dapat ditentukan harga nisbah ukuran pasir d/D_{eq} dan ditentukan hubungannya dengan kesalahan ukur volume ϵ .



Gambar 5. Kurva hubungan kesalahan ukur dengan nisbah ukuran d/D_{eq} pada pengukuran volume benda padat dengan berbagai bentuk dan berbagai ukuran.

Gambar 5 memperlihatkan kurva nisbah ukuran pasir d/D_{eq} terhadap kesalahan ukur volume ϵ bahan padat. Dalam gambar tersebut nampak bahwa kurva kesalahan cenderung berbentuk eksponensial. Kurva tersebut juga memperlihatkan bahwa bentuk benda padat tidak mempengaruhi dengan nyata pada kesalahan ukur volume ϵ dengan bahan curah.

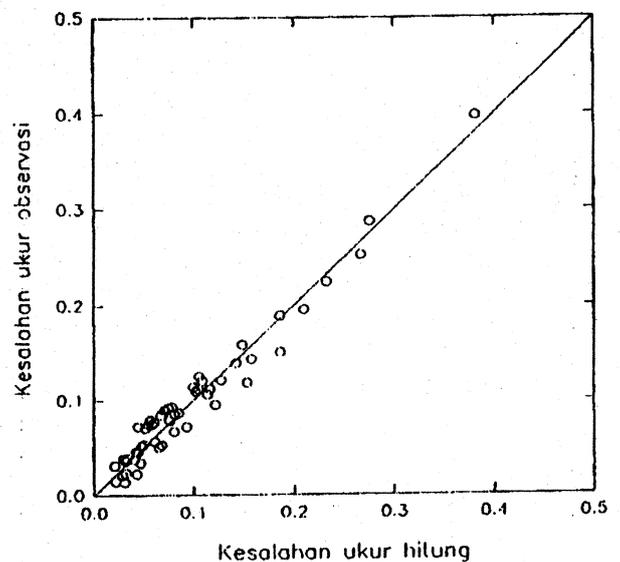
Hasil regresi linier setelah dilakukan operasi logaritma persamaan (6) hubungan kesalahan ukur volume ϵ dengan nisbah ukuran d/D_{eq} didapatkan sebagai berikut :

$$\epsilon = 0,92 \left(\frac{d}{D_{eq}} \right)^{0,63} \quad 7)$$

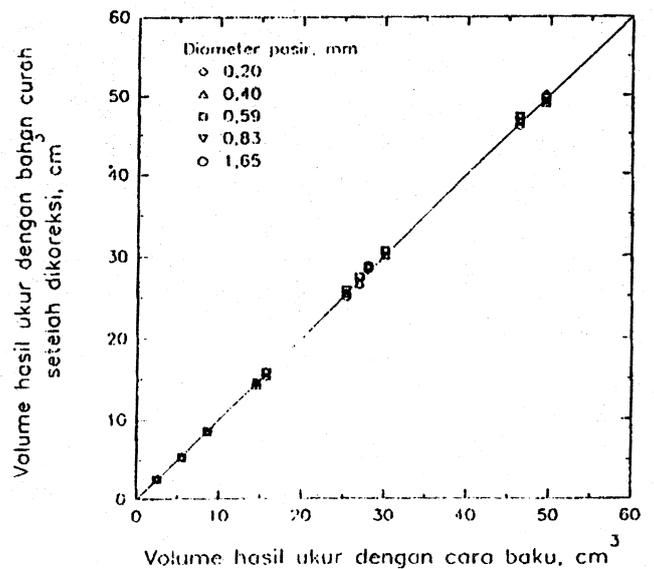
Dari regresi tersebut didapatkan koefisien regresi sebesar 88,6% yang berarti kesalahan ukur volume ϵ dapat diestimasi berdasarkan nisbah ukuran d/D_{eq} dengan cukup baik. Gambar 6 memperlihatkan plot acak kesalahan ukur volume hasil perhitungan dengan persamaan (7) di atas dan kesalahan ukur volume hasil pengamatan.

Hasil pengukuran volume dengan menggunakan bahan curah dapat dikoreksi agar didapatkan volume benda padat yang sebenarnya dengan menggunakan persamaan (6). Gambar 7 memperlihatkan plot acak volume benda padat hasil pengukuran dengan cara baku dan volume benda padat hasil pengukuran dengan bahan curah setelah dikoreksi

menggunakan kesalahan ukur dihitung dengan persamaan (8). Pada gambar tersebut nampak setelah dilakukan koreksi pada volume bahan padat hasil pengukuran dengan bahan curah didapatkan volume yang sangat mendekati hasil pengukuran dengan cara baku. Dengan membandingkan Gambar 7 dengan Gambar 1 nampak bahwa setelah dilakukan koreksi maka titik volume hasil ukur terletak pada garis diagonal kesamaan volume. Setelah dikoreksi kesalahan yang ada hanya satu angka di belakang koma. Kesalahan satu angka di belakang koma mendekati kesalahan yang terjadi pada pengukuran dengan cara baku.



Gambar 6. Plot acak kesalahan ukur hasil perhitungan dan kesalahan ukur hasil observasi



Gambar 7. Plot acak volume hasil pengukuran menggunakan cara baku dan volume hasil pengukuran menggunakan bahan curah setelah dikoreksi dengan kesalahan ukur hasil perhitungan

Cara pengukuran volume dengan bahan curah memberikan hasil ukur yang bagus. Kesalahan yang terjadi dapat dikoreksi secukupnya sehingga didapatkan volume setara dengan hasil pengukuran volume dengan metoda baku. Disamping lebih praktis penggunaannya, cara pengukuran dengan bahan curah tersebut akan lebih cepat dibandingkan dengan cara baku menggunakan pelapisan lilin kemudian dicelupkan kedalam air. Dari hasil pengamatan tersebut nampak ada kecenderungan kesalahan semakin kecil dengan semakin kecilnya ukuran rata-rata pasir yang digunakan. Untuk penerapan hasil penelitian ini diperlukan bahan curah yang tersusun dari butir-butir berdiameter cukup kecil $< 0,01$ mm. Disamping itu bahan curah harus juga bersifat tidak higroskopis agar tidak mudah menyerap uap air sehingga tidak terjadi penggumpalan butir. Pengukuran akan lebih tepat lagi bila digunakan butir-butir dengan permukaan yang halus dan licin. Dengan permukaan yang licin maka bahan curah akan lebih cepat menyesuaikan dengan bentuk ruangan sehingga pengukurannya akan berjalan lebih cepat dan kesalahan ukur akan lebih minimal. Bahan seperti glass bead atau biji kaca nampaknya ideal untuk bahan curah pengukur volume ini. Mungkin bahan curah seperti pasir kuarsa atau pasir pantai dapat digunakan. Selain tidak menyerap air bahan ini mudah didapatkan. Namun mungkin permukaan pasir kuarsa masih berbentuk kristal sehingga perlu dihaluskan dan dilicinkan terlebih dahulu agar didapatkan hasil pengukuran yang baik. Sedangkan untuk pasir pantai kemungkinan sudah mempunyai permukaan yang halus akibat gesekan antar butir dikarenakan oleh gerakan ombak air laut sehingga lebih siap untuk digunakan. Penggunaan bahan curah untuk pengukuran volume benda padat masih perlu dikaji dan dikembangkan lebih lanjut agar didapatkan prosedur baku yang memenuhi persyaratan industri.

KESIMPULAN

Pengukuran volume benda padat dengan menggunakan bahan curah cenderung memberi kesalahan yang cukup besar. Namun begitu kesalahan tersebut dapat diestimasi dengan baik dengan menggunakan nisbah ukuran. Setelah dilakukan koreksi dengan persamaan kesalahan hasil regresi didapatkan hasil ukur volume yang sangat mendekati hasil ukur dengan cara baku. Sehingga dengan demikian cara ini dapat diterapkan untuk dipakai dalam analisis sifat fisikawi benda padat. Bahan curah hendaknya berukuran cukup kecil, tidak higroskopis dan mempunyai permukaan butir yang licin. Pemilihan bahan curah dan prosedur pengukuran masih perlu dikembangkan lebih lanjut agar didapatkan prosedur baku yang memenuhi standar industri.

DAFTAR SIMBUL

- a = diameter rata-rata pasir, mm
D = diameter benda padat, cm

- D_{eq} = diameter bola setara volume hasil ukur, cm^3
 V_0 = volume benda padat hasil pengukuran dengan cara baku, cm^3
 V_m = Volume benda padat hasil pengukuran dengan menggunakan bahan curah, cm^3
 α = konstanta
 β = konstanta
 ϵ = kesalahan ukur volume hasil pengukuran dengan menggunakan bahan curah, desimal

DAFTAR PUSTAKA

- Brooker, D. B., F. W. Bakker-Arkema dan C. W. Hall. 1992. *Drying and Storage of Grains and Oilseeds*. Van Nostrand Vanhold, New York
- Davis, R. M. 1962. Tissue Air Space in Potato : Its Estimation and Relation to Dry Materials and Specific Gravity. *Am. Potato J.* 39 : 298 - 305. Dalam review pustaka "Physical Properties of Foods and Agricultural Materials (Mohsenin, 1987)
- Frechette, R. J. dan J. W. Zahradnik. 1966. Surface Area Weight Relationship of McIntosh Apples. *Trans. of ASAE* 9 (4) : 576-577. Dalam review pustaka "Physical Properties of Foods and Agricultural Materials (Mohsenin, 1987).
- Gould, W. A. 1957. Density Could Be a Tool for Control of Quality. *Food Packer* 38(1) : 30-32. Dalam review pustaka "Physical Properties of Foods and Agricultural Materials (Mohsenin, 1987).
- LaBelle, R. L. 1964. Bulk Density - A Versatile Measure of Food Texture and Bulk. *Food Technology* 18 : 89. Dalam review pustaka "Physical Properties of Foods and Agricultural Materials (Mohsenin, 1987).
- Lewis, M. J. 1987. *Physical Properties of Foods and Food Processing System*. Ellis Horward, London.
- Kushendarti, R. 1997. *Pengukuran Volume Benda Padat dengan Berbagai Bentuk Berdasarkan Volume Desakan pada Bahan Curah*. Skripsi (tidak dipublikasikan). Fak. Teknologi UGM. Yogyakarta.
- Mohsenin, N. N. 1987. *Physical Properties of Foods and Agricultural Materials*. Gordon and Breach. New York.
- Peleg, M dan E. B. Bagley. 1983. *Physical Properties of Foods*. Avi Publishing Company, Inc. Westport.
- Rahardjo, B. dan S. K. Sastry. 1993. Kinetic softening of potato tissues during cooking. *J. Food and Bioproducts Processing*.
- Wirakartakusumah, M. A., Abdullah, K. dan A. M. Syarif. 1992. *Sifat Fisik Pangan*. PAU Pangan dan Gizi. IPB Bogor.