

ANNULAR SPLIT LEVEL SHEAR TESTER SEBAGAI ALAT PENGUKUR KARAKTERISTIK ALIRAN BAHAN PADAT BUTIRAN

Setia Budi Sasongko*

Abstrak

Jenike Shear Tester telah dikenal dengan baik sebagai suatu instrumen untuk mengetahui sifat pengaliran dari suatu bahan padat butiran. Hasil pengukuran bahan berdasarkan Jenike Shear Tester ini telah direkomendasikan sebagai suatu standard. Akan tetapi instrumen ini mempunyai beberapa keterbatasan, antara lain: keterbatasan untuk geseran horizontal demikian juga dengan jumlah titik untuk membuat kurve patahan, diperlukan beberap sample untuk membuat kurve patahan, dan juga adanya ketidak uniform antara bagian yang dekat dengan cincin dengan bagian tengah cincin. Untuk mengatasi hal ini, kemudian Peshel mengembangkan shear tester jenis rotational (RO 200), akan tetapi pada kenyataan masih terdapat beberapa kelemahan. Dengan mengurangi kelemahan yang terdapat pada Peschl Shear Tester, maka pada penelitian ini, dikembangkan Shear Tester jenis Annular Split Level dengan hasil pengukuran yang mendekati hasil Jenike Shear Tester.

Key Word: Shear Tester, Rotational Shear Tester, Annular Split Level Shear Tester

PENDAHULUAN

Salah satu karakteristik yang cukup penting dari bahan padat butiran adalah sifat pengaliran (flowability). Dalam mengembangkan konsep dari sifat pengaliran tersebut, Jenike menggunakan konsep dari *Mohr-Coulomb failure criteria*. Dimana berdasarkan kriteria tersebut gaya geser dari bahan tergantung pada dua sifat, yaitu: sifat gesekan dan sifat kohesi. Guna mendapatkan hubungan dari kedua sifat tersebut, dengan jalan memberi tegangan normal (σ) dan tegangan geser (τ) pada bahan padat butiran, dimana hubungan $\tau = f(\sigma)$ yang dikenal sebagai *yield locus* dinyatakan sbb:

$$\left. \begin{aligned} \tau &= \sigma \cdot \tan \theta + C \\ \tau &= \sigma \cdot \mu + C \end{aligned} \right\} \tau = f(\sigma) \dots\dots(1)$$

Harga C pada persamaan diatas merupakan sifat Kohesi dari bahan yang dapat diartikan sebagai tahanan dari tegangan geser (shear stress) ketika tegangan normalnya sama dengan nol. Dengan demikian, bahan yang mempunyai sifat mudah mengalir akan mempunyai harga C yang kecil.

Berdasarkan pada keadaan tersebut diperlukan suatu alat yang yang dapat mengukur

sifat pengaliran bahan. Alat pengukur sifat pengaliran dari bahan padat butiran pertama kali dikembangkan oleh Jenike yang dikenal dengan nama *Jenike Shear Tester*, dimana sampai saat ini alat tersebut masih digunakan dalam industri. Metoda pengukuran Jenike Shear Tester in telah dinormalisasi oleh CEMA (The Conveyor Equipment Manufacturer's Association) dengan nomer A-12 (Fayed and Otten, 1984). Selain itu sertifikasi pengukuran dengan menggunakan bahan limestone powder dengan alat tersebut juga dikeluarkan oleh Commision of the European Communities (Akers, 1992).

Shear tester ini kemudian dikembangkan oleh beberapa peneliti guna mendapatkan kehandalan sebagai alat pengukuran, kemudahan dalam penggunaan dan juga efisiensi dalam pemakaian bahan yang diukur.

Shear Tester dapat diklasifikasikan berdasarkan kontak langsung atau tidak dari bahan yang diukur yang disebut dengan *direct* dan *indirect shear tester*. Selain itu dibedakan pula berdasarkan banyak bidang yang ditekan pada saat pengukuran, yaitu *mono, bi* atau *triaxial shear tester*. Klasifikasi lain, berdasarkan pada cara gaya geser diberikan pada bahan yang diukur yaitu *translational* dan

Annular Split Level Shear Test (Setia Budi Sasongko)

rotational shear tester. Dari berbagai macam alat shear tester tersebut semuanya mempunyai kelebihan dan kekurangan. Dengan meminimalkan kekurangan dan memaksimalkan atau mempertahankan setiap kelebihan, maka dikembangkan suatu alat ukur baru yang disebut dengan *Annular split level shear tester* yang pada dasarnya merupakan penggabungan dari Jenike (*translational*) shear tester dan Pesch (*rotational-split level*) shear tester.

Jenike (Translational) Shear Tester

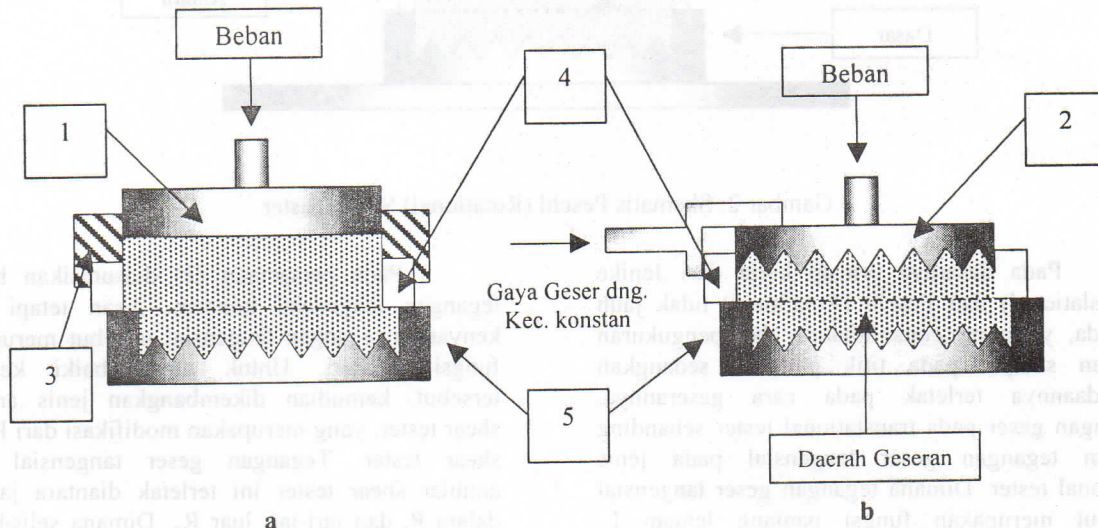
Jenike Shear Tester terdiri dari dasar, cincin dan penutup. Dimana penutup ini dibedakan menjadi dua yaitu penutup pada saat *pre-consolidation* dan penutup pada saat pengukuran. Secara sistematis dapat dilihat pada gambar 1. Prinsip kerja dari alat ini, mula-mula sampel ditempatkan dalam sel yang terdiri dari bagian dasar, cincin antara, cincin *pre-consolidation* yang ditutup dengan penutup *pre-consolidation* yang dapat ditunjukkan pada gambar 1a. Bahan tersebut kemudian dipadatkan dengan diberikan beban dengan berat dan dalam waktu tertentu yang tertentu pula. Keadaan ini disebut dengan *pre-consolidation*. Setelah itu, penutup diganti dengan penutup untuk pengukuran, yang dilanjutkan bahan

digeser dengan kecepatan konstan dan gaya geseran diukur secara kontinyu. Dengan demikian akan didapat hubungan antara tegangan geser sebagai fungsi tegangan normal.

Beberapa permasalahan yang timbul dalam menggunakan Jenike Shear Tester, antara lain:

- Harga konsolidasi minimal tidak boleh lebih kecil dari sepertiga dari konsolidasi maksimal (Chouteau, 1995; Johanson, 1992, Maltby and Enstad, 1993), akibatnya titik-titik untuk membuat kurve patahan sangat terbatas.
- Terdapat keterbatasan untuk geseran horisontal, sehingga diperlukan pengalaman guna mendapatkan titik kritis.
- Diperlukan beberapa sample untuk membuat satu kurve patahan.
- Tegangan geser secara translasional yang diberikan pada sampel akan mengakibatkan tegangan pada bagian ujung dari sampel tidak uniform. Hal ini akan menyebabkan penutup geseran (keterangan 2 Gambar 1) akan miring, sehingga beban vertikal tidak merata.

Berdasarkan pada kekurangan-kekurangan tersebut, kemudian dikembangkan shear tester dengan jenis *rotational* oleh Peschl (Peschl, 1989).



Gambar 1: Skematis Jenike (translational) shear tester
a. Pre-consolidation; b. Pengukuran

Keterangan Gambar 1:

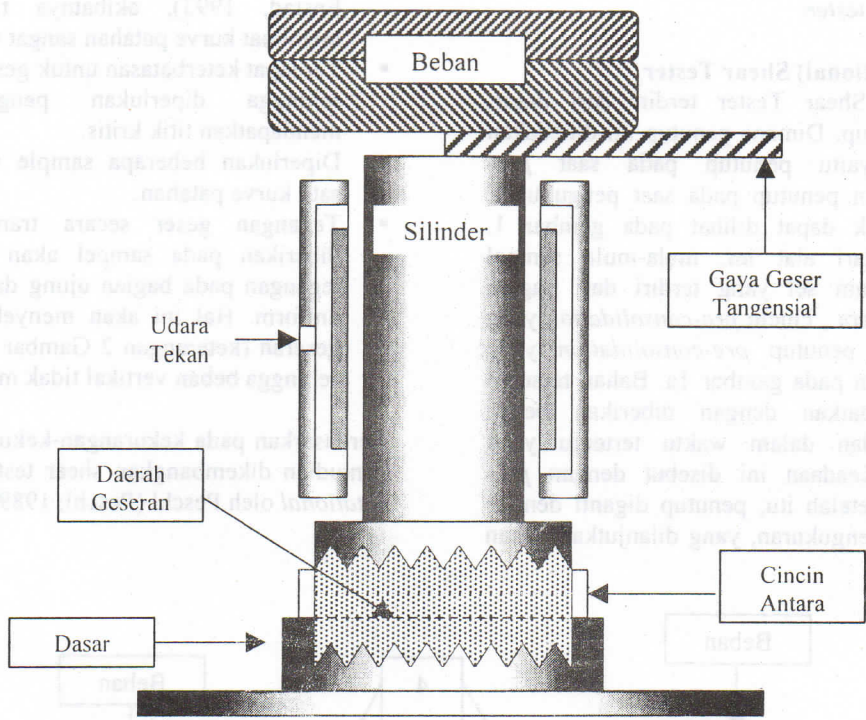
1. Penutup untuk *pre-consolidation*
3. Cincin pengisian (*pre-consolidation*)
5. Sel Dasar

2. Penutup untuk pengukuran
4. Cincin antara

Rotational Shear Tester

Dengan menggunakan Shear Tester jenis Rotational, maka kelemahan-kelemahan shear tester jenis Translational dapat diatasi. Gambar 2 mendeskripsikan secara skematis peralatan Rotational Shear Tester, tipe RO 200. Dengan menggunakan alat ini akan didapat gaya geser

tangensial sebagai fungsi gaya normal, dimana gaya geser tangensial diperoleh dengan jalan memutar bagian dasar dari shear tester tersebut dengan kecepatan tetap. Kelebihan dari Rotational Shear Tester ini menutupi kekurangan yang dalam Translational Shear Tester.



Gambar 2: Skematis Pechl (Rotational) Shear Tester

Pada dasarnya prinsip kerja dari Jenike (Translational) dan Pechl (Rotational) tidak jauh berbeda, yaitu pre-consolidation dan pengukuran geseran sampai pada titik patahan, sedangkan perbedaannya terletak pada cara geserannya. Tegangan geser pada translational tester sebanding dengan tegangan geser tangensial pada jenis rotational tester. Dimana tegangan geser tangensial tersebut merupakan fungsi panjang lengan L, sebagaimana ditampikan pada persamaan (2).

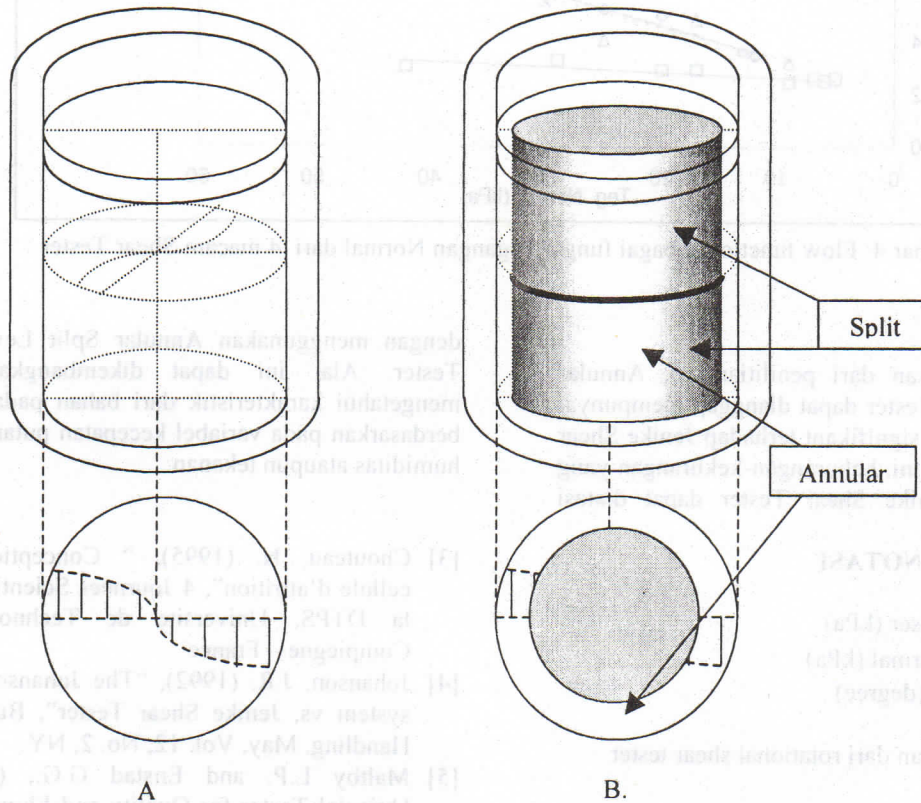
$$\left. \begin{aligned}
 M &= \int_0^R \tau(r) \cdot r \cdot 2\pi \cdot dr \\
 \tau(r) &= \text{konstan} = \tau \\
 M &= F \times L
 \end{aligned} \right\} \tau = \frac{3LF}{2R\pi R^2} \dots(2)$$

Pada persamaan (2) diasumsikan bahwa tegangan tangensial konstan. Akan tetapi pada kenyataan tegangan tangensial tersebut merupakan fungsi jari-jari. Untuk memperbaiki keadaan tersebut, kemudian dikembangkan jenis annular shear tester, yang merupakan modifikasi dari Pechl shear tester. Tegangan geser tangensial pada annular shear tester ini terletak diantara jari-jari dalam R_i dan jari-jari luar R_o . Dimana selisih dari kedua jari-jari tersebut dianggap kecil, maka tegangan geser dapat dianggap konstan, sebagaimana dijelaskan pada persamaan (3).

$$M = \int_{R_i}^{R_o} \tau(r) \cdot r \cdot 2\pi r \cdot dr$$

$$\left. \begin{aligned} \tau(r) &= \text{konstanta} = \tau \\ M &= F \times L \end{aligned} \right\} \tau = \frac{3LF}{2\pi(R_o^3 - R_i^3)} \dots(3)$$

Guna menghindari adanya adanya tegangan geser antara bahan dengan logam, maka pada bagian tengah dari annular, tepat pada bagian geseran dari bahan dibuat terpisah, yang kemudian disebut dengan nama "annular split level shear tester". Gambar 3 menunjukkan distribusi tegangan geser antara Peschl (A) dan annular shear tester (B).



Gambar 3: Distribusi tegangan geser tangensial pada rotational shear tester

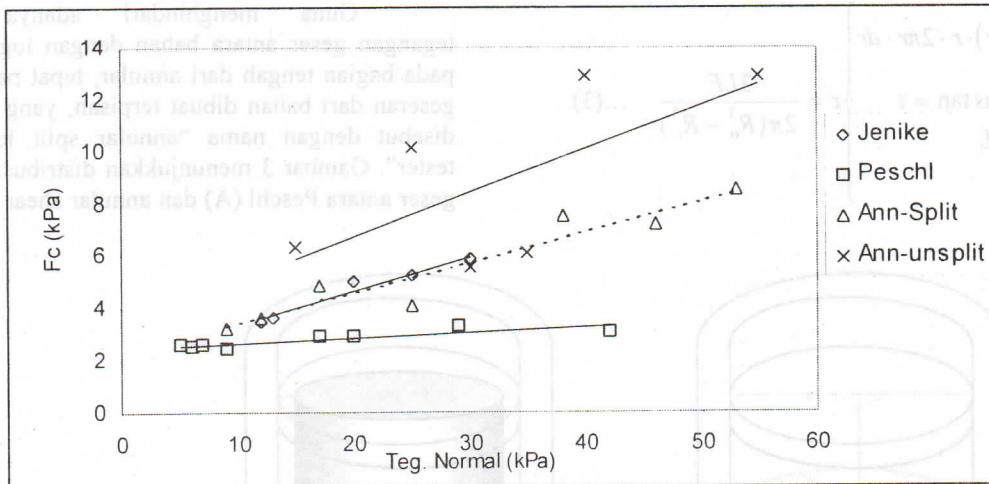
Studi komparasi antara Jenike, Peschl dan Annular Shear Tester

Tujuan daripada studi ini adalah untuk mendapatkan performance dari Shear Tester yang dimodifikasi (Annular Shear Tester) dengan shear tester komersial, yaitu Jenike dan Peschl (RO 200). Sebagai bahan uji yang digunakan adalah CRM 116 yang merupakan powder reference yang telah disertifikasi (Akers, 1992) dan menggunakan prosedur standard untuk shear tester komersil.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4 menunjukkan flow function sebagai fungsi dari Tegangan Normal dari ke-empat shear tester yang diuji. Dengan anggapan bahwa

sebagai referensi alat adalah Jenike shear tester, maka berdasarkan gambar 4 terlihat bahwa Annular Split Level (Ann-Split) dengan Jenike Shear Tester menunjukkan karakteristik pengukuran yang cukup signifikan mendekati. Sedangkan Annular Unsplit level menunjukkan karakteristik pengukuran yang cukup jauh, akan tetapi berdasarkan regresi linear dari flow function terlihat garis dari keduanya relatif sejajar, hal ini disebabkan pada Annular Unsplit level shear tester masih terdapat gesekan antara bahan dengan logam annular. Perbandingan antara Peschl (RO- 200) dengan Jenike Shear tester masih cukup jauh, hal ini disebabkan karena adanya heterogenitas yang cukup besar dalam distribusi tegangan geser tangensial.



Gambar 4: Flow function sebagai fungsi Tegangan Normal dari 4 macam Shear Tester

PENUTUP

Berdasarkan dari penelitian ini, Annular Split level Shear Tester dapat dianggap mempunyai karakteristik yang signifikan terhadap Jenike Shear Tester. Dalam hal ini, kekurangan-kekurangan yang terjadi dalam Jenike Shear Tester dapat diatasi

KETERANGAN NOTASI

- = Tegangan Geser (kPa)
- = Tegangan Normal (kPa)
- = Sudut geser (degree)
- F = Gaya
- L = Panjang Lengan dari rotational shear tester

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada Profesor Pierre Guigon (Kepada DTSPS – Powder and Suspension Technologie Division – UTC – France) beserta seluruh teman-teman Divisi (Bertrand, Natalie, Kamal) demikian juga teknisi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu atas segala bantuan untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Fayed, M.E. and Otten, L. (1984), "Handbook of Powder Science and Technology", Van Nostrand Reinhold Co.
 [2] Akers, R.J. (1992), "The certification of a limestone powder for Jenike Shear Testing CRM 116", Commission of the European Communities.

dengan menggunakan Annular Split Level Shear Tester. Alat ini dapat dikembangkan untuk mengetahui karakteristik dari bahan padat butiran berdasarkan pada variabel kecepatan putaran, suhu, humiditas ataupun tekanan.

[3] Chouteau, N. (1995), " Conception d'une cellule d'attrition", 4 Journees Scientifiques de la DTSPS, Universite de Technologie de Compiègne – France
 [4] Johanson, J.R. (1992), "The Johanson indizer system vs, Jenike Shear Tester", Bulk Solids Handling, May, Vol. 12, No. 2, NY.
 [5] Maltby L.P. and Enstad G.G., (1993), " Uniaxial Tester for Quality and Flow Property Characterization of Powders", Bulk Solids Handling, February, Vol. 13, No. 1, NY
 [6] Peschl, (1989), "Equipment for measurement of mechanical properties of Bulk Materials", Powder Handling & Processing, March, Vol. 1, No. 1, NY