ADHESI TANAH – METAL PADA BERBAGAI TINGKAT PERUBAHAN KEPADATAN DAN KADAR AIR TANAH

(Soil – Metal Adhesion Due To the Variation of Soil Compactness and The Soil Moisture Content)

Gatot Pramuhadi[1] dan Eduard Namaken Sembiring[1]

Abstract

Soil, as the nature body, is very important in supporting the live perpetuity of the living creatures. In farm machinery and equipment application for soil tilling, soil also affects the goal of the soil tillage activities.

When the soil tillage equipment and machinery are to be applied in the field, there will be interaction among the traction device, the blade, and the soil. The soil, which is used as a machine supporter, must have a certain consistency. Consistency is the degree of cohesion and adhesion among soil particles and soil mass resistance to the variation of shape by pressure and strength that affected the soil deformation.

The objective of the research was to study the soil – metal adhesion due to the variation of soil compactness and the soil moisture content.

Results of the research showed that soil - metal adhesion increased by the increasing of soil moisture content from 39.3% to 82.2 %, but it decreased by the increasing of soil compactness from 0.47 g/cc to 0.95 g/cc. THe soil-metal adhesion decreased and decreased again by the increasing of the soil moisture content until it reached a very wet or saturated conditions of the soil.

Soil strength was much more affected by the soil - metal adhesion than by the soil-metal friction. Friction phase, adhesion phase, and lubrication phase occurred when the soil moisture content reached ≤ 40.8 %, 40.8 – 82.2 %, and ≥ 82.2 % respectively. The adhesion showed a high value when the soil moisture content reached the adhesion phase.

Keywords : adhesion, friction, soil compactness, and soil moisture content

PENDAHULUAN

Tanah, sebagai tubuh alam, sangat berperan dalam menopang kelangsungan hidup makhluk hidup. Di bidang budidaya pertanian, tanah amat berperanan dalam hal penyediaan unsur hara dan sebagai tempat tumbuhnya tanaman, dimana dikehendaki tanah mempunyai struktur remah atau kondisi gembur agar tanaman dapat tumbuh dengan baik. Di bidang teknik sipil pertanian, kekuatan tanah menjadi penentu keberhasilan pembangunan konstruksi suatu bangunan karena tanah dipandang sebagai tempat berdiri tegaknya suatu bangunan.

Dalam penerapan alat dan mesin pertanian untuk mengolah tanah maka tanah juga menjadi penentu berhasil tidaknya kegiatan pengolahan tanah. Untuk dapat menerapkan alat dan mesin pengolah tanah maka harus diketahui berapa sebenarnya gaya-gaya reaksi tanah pada saat alat dan

[1] Staf Pengajar Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB Bogor

mesin tersebut digunakan, sehingga perlu diketahui berapa kekuatan tanahnya.

Pada saat suatu alat dan mesin pengolah tanah diaplikasikan di lahan maka akan ada hubungan interaksi antara tanah dengan permukaan kontak bagian penggerak mesin (*traction device*) dan bagian permukaan kontak alat pengolah tanah yang memotong tanah. Suatu studi atau kajian yang secara khusus membahas mengenai hubungan antara tanah dengan mesin adalah teramekanik (*terramechanics*).

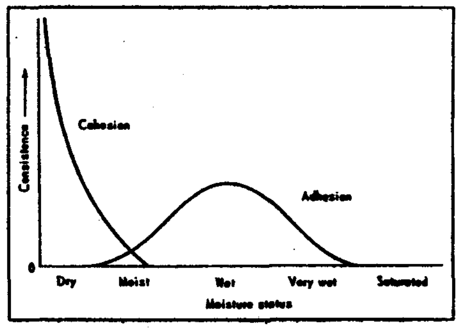
Sudah banyak laporan mengenai suatu kinerja penarikan (*tractive performance*) dan tahanan jalan (*running resistance*) dari kendaraan-kendaraan yang biasa dioperasikan di luar jalan (*off-road vehicles*). Namun demikian, interaksi antara mesin-mesin tersebut dengan suatu permukaan tanah atau kondisi tanah tertentu tidak secara lengkap dijelaskan, meskipun interaksi tersebut merupakan salah satu faktor penting bagi kinerja mesin. Hal ini berkaitan dengan kompleksitas, ketidakseragaman dan keragaman sifat-sifat tanah (Oida, 1992).

Kinerja penarikan dan jalan (*tractive and running performance*) kendaraan "*off-road*", seperti traktor, sangat dipengaruhi oleh kondisi landasan (*ground*) dan spesifikasi mesinnya, seperti bobot, jenis roda, tekanan ban, dan sebagainya (Oida, 1992).

Faktor-faktor tanah atau landasan (ground) yang mempengaruhi kinerja mesin dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori. Pertama adalah sifat-sifat fisik tanah, seperti diameter butiran tanah, *specific gravity*, distribusi partikel tanah, kadar air, nisbah hampa (*void ratio*) dan *permeabilitas*. Kedua adalah kedudukan atau kondisi landasan, seperti ketidakrataan, tinggi guludan, kemiringan, lebar dan dalam alur, air, kedalaman lumpur, gulma atau rerumputan dan vegetasi (Oida, 1992). Nichols (1931) membagi sifat-sifat tanah menjadi dua, yaitu sifat-sifat tanah primer, seperti diameter butiran, *specific gravity*, distribusi partikel tanah, kadar air dan distribusi partikel, dan sekunder (sifat dinamik tanah), seperti gaya geser, kompresibilitas, kohesi dan adhesi. Bekker (1957) membuat sistematisasi hubungan kinerja mesin dan faktor-faktor mekanik tanah.

Tanah yang digunakan sebagai landasan / tumpuan bagi mobilitas mesin harus mempunyai konsistensi. Konsistensi tanah adalah derajat kohesi dan adhesi di antara partikel-partikel tanah dan ketahanan massa tanah terhadap perubahan bentuk oleh tekanan dan berbagai kekuatan yang mempengaruhi bentuk tanah (Darmawijaya, 1980).

Efek lengas tanah terhadap besarnya kohesi dan adhesi dalam konsistensi tanah dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram skematik efek lengas (kadar air) tanah terhadap dua komponen pokok konsistensi tanah (Kohnke, 1968)

Gaya kohesi ialah gaya tarik menarik sesama zarrah (partikel tanah) akibat selaput lengas, sedang gaya adhesi ialah gaya tarik menarik fasa cair di permukaan fasa padat. Gaya kohesi bervariasi tergantung ukuran dan bentuk zarrah serta tebal tipis selaput lengas antar zarrah (Baver, 1956). Dapat pula dikatakan bahwa adhesi ialah daya lekat antar partikel heterogen dan zat-zat kimia penyusunnya dalam tanah.

Diantara gaya-gaya yang bekerja pada permukaan kontak antara dua blok padatan (*rigid body*) yang berbeda materialnya terdapat suatu gaya yang sering diperlukan untuk menarik dan memisahkan kedua padatan tersebut. Gaya tarik menarik antara dua material yang berbeda dinamakan adhesi (Gill dan Vanden Berg, 1967). Menurut standard ISTVS (International Society for Terrain-Vehicle Systems) disebutkan bahwa adhesi (Ca) ialah tahanan geser antara tanah dan material lainnya ketika tekanan luar yang diaplikasikan bernilai nol.

Pengukuran adhesi didasarkan atas pengukuran serempak ketiga parameter, yaitu : (1) tegangan gesek, (2) pergerakan tangensial tanah pada sisi-sisi yang berhadapan, dan (3) beban normal di permukaan. Payne dan Fountaine (1954) memvisualisasikan adhesi tanah sebagai suatu parameter tambahan dalam suatu persamaan gesekan antara tanah dan metal, seperti terlihat pada persamaan (1).

$$S' = C_a + \sigma \tan \delta \qquad (1)$$

dimana :

S' = tegangan geser tanah
Ca = adhesi
σ = tegangan normal
δ = sudut gesek antara tanah dan metal

TUJUAN

Penelitian bertujuan untuk menelaah "Adhesi Tanah – Metal pada Berbagai Tingkat Perubahan Kepadatan dan Kadar Air Tanah". Adapun tanah yang dijadikan objek penelitian adalah tanah Latosol di Darmaga, Bogor, sedangkan metal berupa pelat besi baja (*steel*).

PENDEKATAN TEORITIS

Pada permukaan dua buah benda yang bersentuhan maka terdapat dua kemungkinan (Pakpahan, 1982), yaitu : (1) permukaan licin, dan (2) permukaan kasar (tidak licin). Dalam hal gesekan juga dikenal dua macam, yaitu : (a) gesekan kering (gesekan Coulomb), dan (b) gesekan basah (gesekan cairan).

Ketika dua blok tanah bergerak berlawanan satu dengan yang lainnya maka gaya-gaya beraksi pada kedua permukaan kontak blok tersebut. Di sini berlaku Hukum Coulomb tentang gesekan, tetapi gaya-gaya gesek alami secara tepat belum diketahui (Gill dan Vanden Berg, 1967). Prosedur umum yang digunakan untuk memisahkan gaya-gaya yang bekerja normal terhadap permukaan dan tangensial terhadap permukaan sebagaimana ditunjukkan oleh persamaan (2) dan Gambar 2.

$$\mu = F/N = \tan \psi \qquad (2)$$

dimana :

μ = koefisien gesek antara tanah dengan tanah
F = gaya gesek tangensial terhadap permukaan
N = gaya normal yang tegak lurus terhadap permukaan
ψ = sudut tangen dari μ

Gambar 2. Gaya normal dan gaya gesek di antara dua blok tanah (Gill dan Vanden Berg, 1967)

Untuk menggerakkan blok tanah bagian atas maka suatu gaya harus diaplikasikan. Besarnya gaya yang diaplikasikan tersebut harus lebih besar dari gaya F sebelum memulai pergerakan, sehingga μ merupakan suatu parameter persamaan yang berhubungan dengan gaya-gaya selama pergerakan suatu blok tanah di atas blok tanah lainnya. Koefisien gesek μ sebagai suatu sifat dinamik tanah.

Koefisien gesek μ jangan sampai dikacaukan oleh sudut gesek dalam (ϕ) dalam persamaan (3) untuk kohesi, karena kedua persamaan ini menggambarkan fenomena yang berbeda.

$$\tau = C + \sigma \tan \phi \quad \text{.....................} \quad (3)$$

dimana :

τ = tegangan geser tanah (kuat geser tanah)

C = kohesi tanah (kekohesifan tanah)

σ = tegangan normal

ϕ = sudut gesek antar tanah (sudut gesek dalam)

Persamaan (3) menggambarkan keruntuhan suatu massa tanah akibat geseran yang baru saja terjadi. Setelah keruntuhan terjadi maka permukaan yang patah / retak menghasilkan dua massa tanah yang berbeda. Kedua massa tanah tersebut dapat diuraikan sebagai blok-blok tanah, dan pergerakan blok-blok tanah tersebut relatif antara satu dengan yang lainnya sepanjang permukaan yang dinyatakan sebagai gesekan peluncuran, seperti tertulis pada persamaan (2). Kedua model matematika di atas adalah sangat berbeda, oleh karena tidak akan mungkin kedua nilai gesekannya sama. Sayangnya, antara ψ dan ϕ biasanya biasanya dgan prosedur percobaan yang sama sehingga tidak dapat dipisahkan secara nyata, dan kebingungan sering terjadi ketika nilai-nilai tersebut diaplikasikan untuk disain.

Gaya-gaya adhesif antara tanah dan beberapa material lainnya ditentukan oleh selaput-selaput tipis lengas. Tegangan lengas dan tegangan permukaan cairan tanah muncul untuk menjelaskan karakteristik gaya-gaya adhesi (Gill dan Vanden Berg, 1967).

Haines (1925) memperagakan pentingnya adhesi pada gesekan luncur metal–tanah pada persamaan (4).

$$\mu' = \frac{F}{N} = \tan \delta \quad \text{.....................} \quad (4)$$

dimana :

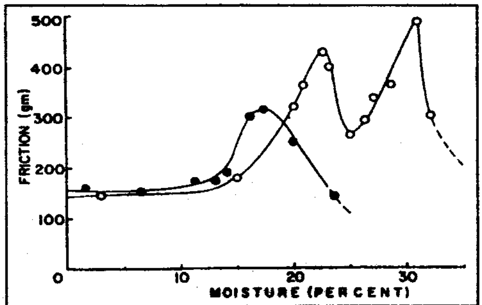
μ' = koefisien gesek luncur

F = gaya yang menyebabkan peluncuran

N = gaya normal pada permukaan luncur

δ = sudut gesek antara tanah dan metal

Haines (1925) mengukur gaya yang diperlukan untuk menarik suatu peluncur di atas tanah-tanah yang berbeda dengan suatu kisaran kadar lengas yang lebar. Haines juga menghitung koefisien gesekan luncur nyata μ', yang secara khas ditunjukkan dalam Gambar 3.



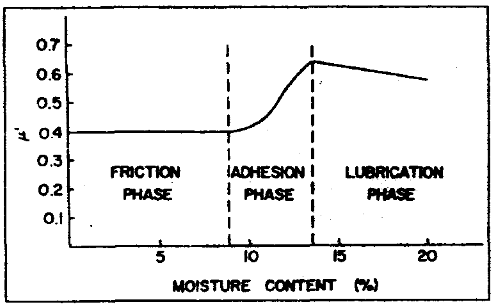
●: tanah pasir–metal O: tanah liat–metal

Gambar 3. Pengaruh kadar lengas tanah terhadap koefisien gesek tanah (Haines, 1925)

Pada umumnya, kurva-kurva tersebut dapat dijelaskan berdasarkan prinsip-prinsip adhesi. Pada tanah kering maka awal kurva bagian datar sesuai dengan koefisien gesekan luncur yang sesungguhnya, sebagaimana ditunjukkan dalam persamaan (2). Apabila air ditambahkan maka selaput-selaput tipis lengas berada di antara peluncur dan tanah, sehingga adhesi bertambah. Haines (1925) tidak mengukur pertambahan gaya adhesif dan pertambahan beban normal, namun menghitung koefisien gesekan luncur yang nyata μ', sebagaimana dinyatakan dalam persamaan (4).

Selama sudut geseknya sama dan kurva-kurva beban normal versus gaya gesek berperilaku sangat dekat dengan asal, maka disimpulkan bahwa adhesi beraksi ketika ada suatu beban normal yang diaplikasikan, dan kenyataan menunjukkan bahwa adhesi ekuivalen dengan beban-beban normal yang diaplikasikan pada berbagai bobot dalam kisaran tegangan lengas tanah rendah.

Nichols (1931) telah mengklasifikasikan fase-fase umum gesekan tanah. Fase-fase tersebut sangat ditentukan oleh kadar lengas tanah, sebagaimana terlihat dalam Gambar 4.

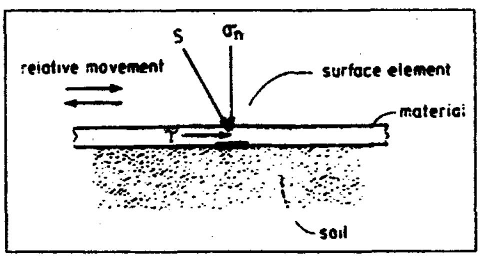


Gambar 4. Fase-fase umum gesekan tanah untuk mengidentifikasikan reaksi-reaksi tanah pada berbagai kadar lengas tanah (Nichols, 1931)

Berdasarkan klasifikasi Nichols (1931) maka fase gesekan diperoleh ketika tanah dalam keadaan kering. Apabila lengasnya ditambah maka adhesi mulai nampak dan koefisien gesek bertambah. Fase adhesif diperoleh ketika ada cukup air yang menyebabkan adhesinya tinggi tetapi tidak cukup untuk menyediakan permukaan air bebas.

Dalam pengolahan tanah dan lalulintas lapang, permukaan-permukaan batas terjadi antara tubuh-tubuh tanah dan material lainnya seperti baja dan karet, dan juga antara tubuh-tubuh tanah yang berdekatan. Suatu elemen kecil permukaan tersebut dapat dipandang sebagai suatu batas antara dua padatan. Kadang-kadang hal itu merupakan pergerakan (perpindahan) relatif dalam elemen permukaan tersebut, tidak terjadi pada saat yang lain, tetapi umumnya terdapat suatu tegangan yang bekerja pada elemen permukaan di antara dua tubuh tersebut. Komponen tangensial tegangan tersebut adalah tegangan geser akibat gesekan pada elemen permukaan tersebut.

Tegangan geser tersebut timbul bila terjadi pergerakan relatif yang cukup. Kadang-kadang pergerakan relatif tersebut tidak besar dan tegangan geser tersebut relatif bernilai rendah. Sebaliknya, apabila suatu tegangan geser kecil diaplikasikan, maka suatu pergerakan relatif yang kecil akan terjadi dan letaknya akan dipulihkan. Aplikasi suatu tegangan geser yang lebih besar mengawali suatu pergerakan relatif yang kemudian berlanjut.



Gambar 5. Tegangan-tegangan pada suatu elemen permukaan tanah yang meluncur sepanjang suatu material (Koolen dan Kuipers, 1983)

Pada Gambar 5 ditunjukkan suatu tegangan geser τ yang didesak oleh suatu material pada suatu tubuh tanah. Tegangan total S mempunyai suatu komponen normal σ_n. Ketika terjadi pergerakan relatif yang signifikan di dalam antarmuka, maka tegangan geser τ muncul. Tegangan geser ini akan ditunjukkan sebagai tegangan luncur τ_s. Diasumsikan bahwa elemen permukaan tetap tak berubah terhadap tanah.

Sifat-sifat gesekan untuk suatu permukaan batas biasanya diukur dengan cara mengukur τ_s pada berbagai nilai σ_n yang berbeda-beda. Pada umumnya, τ_s pada suatu momen tertentu dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan (5), atau lebih akurat dengan menggunakan persamaan (6).

$$\tau_s = \mu\sigma_n \qquad (5)$$

$$\tau_s = a + \mu'\sigma_n \qquad (6)$$

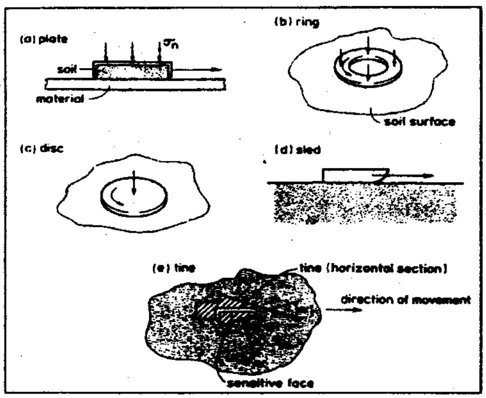
dimana :

μ = koefisien gesek antara tanah dan metal

a = adhesi tanah – metal

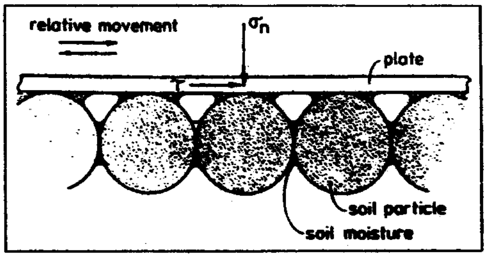
μ' = koefisien gesek antara tanah dan metal yang sesungguhnya

Koolen dan Kuipers (1983) menyebutkan bahwa ada beberapa metode pengukuran karakteristik gesekan tanah – material, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 6, yaitu : (a) metode plat, (b) metode cincin, (c) metode cakram, (d) metode papan luncur (sled method), dan (e) metode gigi garpu / taji (tine method).



Gambar 6. Metode-metode pengukuran karakteristik gesekan tanah–material(Koolen dan Kuipers, 1983)

Kadar air (lengas) tanah memungkinkan berpengaruh besar terhadap perilaku gesekan. Secara kasar, hukum gesekan diinterpretasikan secara matematis dengan menggunakan persamaan (6) dan secara fisik dengan melihat Gambar 7 berikut ini.



Gambar 7. Peranan air tanah di dalam gesekan antara tanah dan material (Koolen dan Kuipers, 1983)

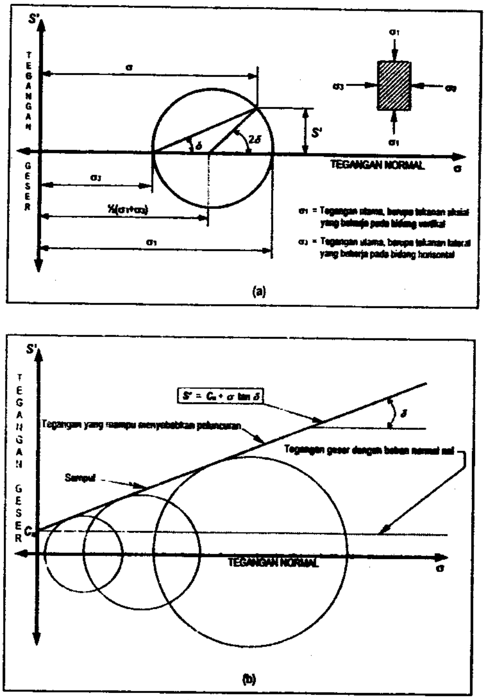
METODA PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan mulai bulan Januari 2001 hingga Februari 2001 di Laboratorium Teknik Mesin Budidaya Pertanian, Jurusan Teknik Pertanian, Fateta, IPB, Bogor.

B. Metoda Pengukuran Adhesi

Analog dengan penentuan kohesi tanah maka penentuan adhesi dapat dilakukan dengan menerapkan Teori MOHR yang didasarkan atas hubungan fungsional antara tegangan normal (σ) dan tegangan geser (S'), seperti terlihat dalam Gambar 8.

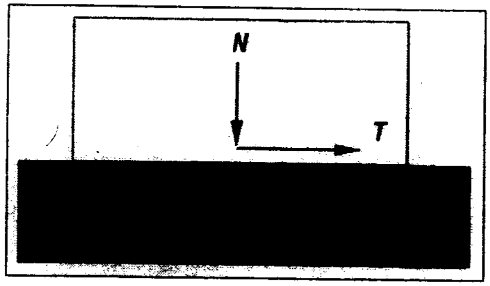


Gambar 8. Tegangan-tegangan tanah dilukiskan dalam bentuk lingkaran Mohr (a) dan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser dalam sampul Mohr (b)

Sekumpulan tegangan hanya mampu menyebabkan peluncuran pada material yang berbeda dan kedudukan ini diplot sebagai suatu kelompok lingkaran Mohr, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 8(b). Apabila ditarik garis singgung lingkaran-lingkaran tersebut, maka akan terbentuk suatu sampul garis singgung lingkaran sehingga akan dapat diketahui tegangan geser tanahnya. Kelinieran hubungan σ dan S' menunjukkan bahwa tahanan gesek tubuh tanah adalah analog dengan Hukum COULOMB untuk gesekan peluncuran tubuh tanah dengan metal.

Hukum Coulomb : "Tahanan gesek dari suatu tegangan tangensial, yang cenderung untuk meluncurkan satu blok padatan datar di atas yang lainnya, adalah sebanding dengan tegangan normal yang menekan blok padatan tersebut secara bersama-sama".

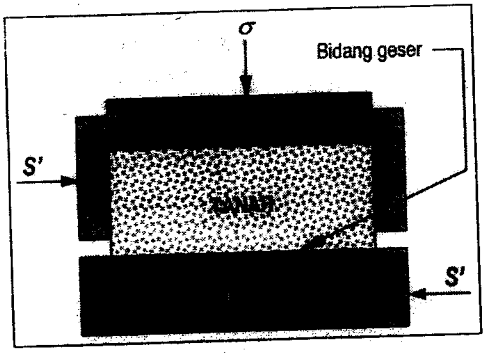
Hukum Coulomb di atas dapat diilustrasikan dalam Gambar 9.



Gambar 9. Ilustrasi Hukum Coulomb (Gaya tangensial T melawan tahanan gesek untuk peluncuran blok-blok padatan datar di atas yang lainnya adalah proporsional dengan gaya normal N yang bekerja pada bidang, sehingga diperoleh T = μN, dimana μ adalah koefisien gesek)

Atas dasar analogi di atas, maka sudut δ sering disebut sebagai sudut gesek tanah–metal (*angle of soil-metal friction*), sedangkan Ca, yang merupakan perpotongan antara sumbu tegangan geser dan garis sampul Mohr, digambarkan sebagai tegangan geser yang diperlukan untuk menyebabkan peluncuran (sliding) pada beban normal nol, dan sering disebut sebagai adhesi tanah. Hubungan keempat parameter, yakni S', Ca , σ, dan δ, secara umum diekspresikan pada persamaan (1).

Penentuan keempat parameter di atas dapat dilakukan dengan cara melakukan pengukuran menggunakan alat uji geser langsung (*direct shear apparatus*). Dengan menggunakan alat tersebut, seperti terlihat pada Gambar 10, maka suatu tubuh tanah akan mendapat tegangan normal, σ, dan digeser dengan tegangan geser sebesar S'.



Gambar 10. Direct shear apparatus untuk menentukan adhesi tanah–metal

Ketika tegangan normal diaplikasikan dan tanah pada bidang geser digeser dengan laju penggeseran konstan, maka selama penggeseran tersebut tanah akan terdeformasi dan tegangan geser tanah akan semakin besar hingga suatu saat mencapai tegangan geser tertinggi (maksimum) hingga akhirnya tanah tidak mampu lagi melawan gaya geser, yang ditandai dengan menurunnya tegangan geser tanah.

Perlakuan pembebanan dengan tegangan normal yang semakin besar akan menghasilkan tegangan geser maksimum yang semakin besar sehingga diperoleh beberapa pasangan hasil pembebanan σ dan S'max, selanjutnya pasangan-pasangan tersebut dibuat kurva sehingga membentuk suatu kurva garis linier dan mengikuti bentuk persamaan (1). Berdasarkan kurva tersebut maka dapat ditentukan nilai Ca dan δ. Penentuan nilai Ca dan δ dapat pula ditempuh dengan menggunakan analisis regresi linier sederhana.

Penentuan adhesi tanah dapat dilakukan pada berbagai jenis permukaan bidang geser material non-tanah dengan cara mengganti material non-tanah tersebut dengan yang lainnya. Perlakuan penentuan adhesi tanah yang lain juga bisa dilakukan dengan mengubah-ubah tingkat kepadatan tanah, tingkat kadar air tanah, dan jenis tanah atau tekstur tanahnya.

C. Alat dan Bahan

1. Peralatan uji geser langsung yang terdiri atas bagian-bagian :
   a. kotak geser
   b. pemberi beban normal
   c. pengukur beban (*proving ring*) + 2 strain gages di sisi luar dan sisi dalam ring
   d. pengukur geseran
   e. peralatan geser
2. Peralatan pembuat contoh tanah, berupa tabung ring + silinder pejal pendorong tanah
3. Neraca / timbangan analitis
4. Peralatan pengukur kadar air tanah
5. Ayakan Ø 2 mm
6. Dongkrak hidrolis
7. Bridge box + handy strain meter
8. Pencatat waktu (*stopwatch*)
9. Plat metal datar (landasan permukaan bidang geser tanah – metal) terbuat dari bahan besi baja (*steel*) berukuran 15 x 15 x 2.5 cm^3 dengan karakteristik sifat mekanik : nilai modulus elastisitas geseran sebesar 79300 N/mm^2, berat volume 0.0000768 N/mm^3, dan koefisien ekspansi linier 0.0000117 mm/(mm °C) (Spotts, 1985)
10. Gelas ukur
11. Contoh tanah kering udara (jenis tanah Latosol) dari lahan Kebun Percobaan Leuwikopo, Darmaga dengan karakteristik tanahnya adalah : fraksi liat 31.38 %, debu 24.68 %, dan pasir 43.94 % (kelas tekstur *clay loam*), batas cair 80.82 %, batas plastis 43.96 %, dan indeks plastisitas 36.86 % (Sembiring dan Sapei, 1998)

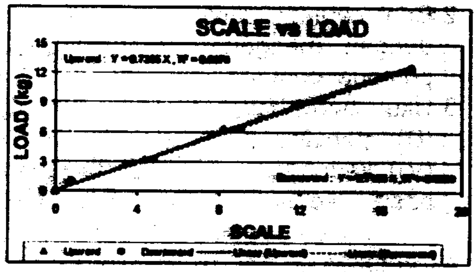
D. Prosedur Pengukuran

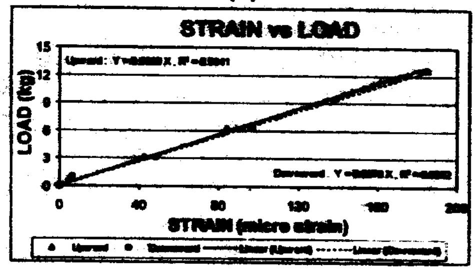
Kaliberasi alat uji geser langsung

Oleh karena alat uji geser langsung yang digunakan ini adalah alat uji geser langsung hasil modifikasi sehingga bisa digunakan untuk mengukur kohesi dan adhesi, maka perlu dilakukan kaliberasi agar datadata hasil pengukurannya sesuai dengan data-data yang sebenarnya. Kaliberasi tersebut dilakukan untuk mensetarakan data skala yang terbaca pada *proving ring* pembebanan (R) dengan beban sebenarnya. Di bagian sisi sebelah dalam dan luar dari ring tersebut dilekatkan strain gages, sehingga pada saat melakukan kaliberasi diperoleh dua model hasil pengukuran, yaitu : (1) hasil pengukuran skala *proving ring* (R) versus beban (*load*), dan (2) hasil pengukuran regangan *proving ring* versus beban. Regangan *proving ring* terbaca pada instrumen handy strain meter dalam satuan micro strain (με). Adapun hasil kaliberasi *proving ring* yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 11.

Tabel 1. Hasil kaliberasi pembebanan *proving ring* alat uji geser langsung

LOAD (kg)	SCALE		STRAIN (με)	
	Upward	Downward	Upward	Downward
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
1.000	0.87	0.77	6.17	6.50
3.155	4.35	4.78	42.50	48.17
6.320	8.23	9.10	84.17	96.67
12.648	17.53	17.53	184.67	184.67





Gambar 11. Hasil kaliberasi skala (a) dan regangan (b) *proving ring*

Untuk membuat suatu kondisi contoh tanah yang mempunyai bobot isi kering (*bulk density*) yang sama berkadar air berbeda, maka dua atau lebih contoh tanah berbobot sama namun berkadar air berbeda ditekan (dipadatkan) dalam suatu wadah (tabung silinder) berdiameter sama hingga mencapai ketinggian penekanan yang sama. Sedangkan, untuk membuat contoh tanah berbobot isi yang berbeda berkadar air sama, maka dua atau lebih contoh tanah berbobot sama ditambahkan dengan air yang sama banyaknya kemudian ditekan dengan tinggi penekanan yang berbeda. Alat penekan contoh tanah tersebut adalah dongkrak hidrolis.

Perlakuan Percobaan

Untuk mengetahui adhesi tanah–metal pada berbagai tingkat perubahan kepadatan dan kadar air tanah maka sebelum dilakukan pengukuran adhesi terlebih dahulu dilakukan pemadatan terhadap contoh tanah dengan tingkat kepadatan tertentu, kemudian diukur kadar airnya. Contoh tanah yang hendak diberi perlakuan tersebut adalah contoh tanah lolos saringan (ayakan) Ø 2 mm.

Cara Pengukuran

Pengukuran adhesi tanah–metal dengan menggunakan alat uji geser langsung yang ditempuh dengan cara sebagai berikut :

1. Buat contoh tanah dengan perlakuan percobaan seperti di atas (bobot isi kering tanah sama, berkadar air berbeda, dan bobot isi kering beda, berkadar air sama)

2. Buat cetakan contoh tanah nomor 1 dengan menggunakan tabung ring pembuat contoh tanah
3. Ukur berat (W), dimensi (diameter (D), panjang (L), luas (A), volume (V)), kadar air basis basah (wwb) dan basis kering (wdb)contoh tanah nomor 2 untuk tiap perlakuan
4. Tentukan bobot isi basah (ρt) dan bobot isi kering (ρd) tiap contoh tanah nomor 2
5. Letakkan/masukkan contoh tanah nomor 2 ke dalam kotak geser
6. Set pengukur beban *proving ring* (R) pada deformasi = 0
7. Beri beban normal (σ) sebanyak minimal 3 macam, supaya bisa dibuat kurva linier antara tegangan normal (σ) dan geser (S'), yaitu :
   a. 0.2 kg/cm^2 ($\sigma_{0.2}$)
   b. 0.5 kg/cm^2 ($\rho_{0.5}$)
   c. 1.0 kg/cm^2 ($\rho_{1.0}$)

   Oleh karena diameter contoh tanah nomor 2 adalah sebesar 6.35 cm maka untuk memberikan tegangan normal sebesar 0.2 kg/cm^2 diperlukan beban normal seberat 6.33 kg, 15.84 kg untuk 0.5 kg/cm^2, dan 31.67 kg untuk 1.0 kg/cm^2
8. Beri beban geser dengan laju pembebanan 2 %/menit.

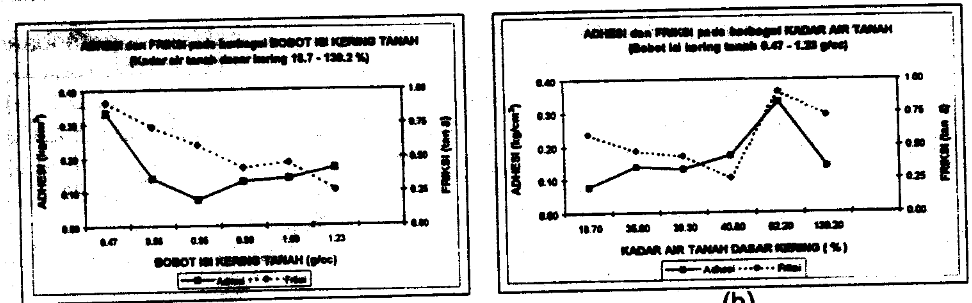
   Oleh karena alat uji geser langsung ini mempunyai laju pembenanan 2 kali lebih besar dari alat uji geser langsung konvensional (standard sebesar 1 %/menit) maka pengukuran deformasi atau *displacement* penggeseran (peluncuran) tanah di atas permukaan bidang geser sukar dilakukan (karena pembacaannya terlampau cepat), sehingga untuk itu diatasi dengan cara membaca beban ukur (R) tiap waktu geser (TS) 10 detik dengan asumsi bahwa *displacement* tanah tiap 10 detik tersebut adalah sama
9. Catat beban ukur *proving ring* (R) pada setiap waktu 10 detik dengan nilai konstanta pembebanan (k) = 0.7305 kg/skala R dan atau k = 0.0699 kg/$\mu\varepsilon$
10. Pengukuran dihentikan ketika nilai R menurun sebanyak minimal 5 kali penurunan
11. Hitung tegangan geser (S') dengan rumus : S' = R.k/A, dimana A = $\frac{1}{4}\pi D^2$
12. Tentukan S'max tiap kurva S' vs TS untuk setiap S' pada $\sigma_{0.2,\ 0.5,\ 1.0}$
13. Buat kurva hubungan S'max vs σ dengan menggunakan metode regresi linier sederhana sehingga diperoleh suatu garis lurus, dan diperoleh nilai adhesi tanah (Ca) dan sudut gesek tanah–metal (δ).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran perubahan adhesi tanah pada berbagai tingkat kepadatan dan kadar air tanah dengan menggunakan alat uji geser langsung dilakukan pada berbagai perlakuan terhadap contoh tanah, yaitu pada bobot isi kering tanah sama berkadar air tanah berbeda dan berbobot isi kering beda berkadar air tanah sama. Adapun variasi atau kombinasi perlakuan percobaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2, sedangkan hasil percobaan beserta hasil analisisnya dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 2. Kombinasi perlakuan bobot isi kering dan kadar air tanah

Kombinasi perlakuan		Bobot isi kering tanah		
		A	B	C
Kadar air tanah	A	A–A	B–A	C–A
	B	A–B	B–B	C–B
	C	A–C	B–C	C–C



(a) (b)

Gambar 12. Kurva hubungan bobot isi kering tanah dengan adhesi dan friksi pada kisaran kadar air tanah basis kering sebesar 18.7 % hingga 139.2 % (a), dan kurva hubungan kadar air tanah dasar kering dengan adhesi dan friksi pada kisaran bobot isi kering tanah sebesar 0.47 hingga 1.23 g/cc (b)

Tabel 5. Adhesi dan friksi tanah – metal serta tegangan geser tanah pada bobot isi kering tanah sebesar 0.47 g/cc hingga 1.23 g/cc

Perlakuan	Bobot isi (g/cc)	Kadar air (%)	Adhesi (kg/cm^2)	Friksi ($\tan \delta$)	Tegangan geser (kg/cm^2) pada		
					$\sigma = 0.2$	$\sigma = 0.5$	$\sigma = 1.0$
B – C	0.95	18.7	0.0759	0.5919	0.1943	0.4690	0.6678
C – C	1.08	35.6	0.1384	0.4613	0.2307	0.3691	0.5997
B – A	0.98	39.3	0.1290	0.4237	0.2137	0.3409	0.5527
A – C	1.23	40.8	0.1685	0.2589	0.2203	0.2980	0.4278
A – A	0.47	82.2	0.3309	0.9085	0.5126	0.7852	1.2394
A – B	0.58	139.2	0.1383	0.7261	0.2835	0.5014	0.8644

Tabel 6. Adhesi dan friksi tanah – metal serta tegangan geser tanah pada kadar air tanah basis kering sebesar 18.7 % hingga 139.2 %

Perlakuan	Bobot isi (g/cc)	Kadar air (%)	Adhesi (kg/cm^2)	Friksi ($\tan \delta$)	Tegangan geser (kg/cm^2) pada		
					$\sigma = 0.2$	$\sigma = 0.5$	$\sigma = 1.0$
B – C	0.95	18.7	0.0759	0.5919	0.1943	0.4690	0.6678
C – C	1.08	35.6	0.1384	0.4613	0.2307	0.3691	0.5997
B – A	0.98	39.3	0.1290	0.4237	0.2137	0.3409	0.5527
A – C	1.23	40.8	0.1685	0.2589	0.2203	0.2980	0.4278
A – A	0.47	82.2	0.3309	0.9085	0.5126	0.7852	1.2394
A – B	0.58	139.2	0.1383	0.7261	0.2835	0.5014	0.8644

Tabel 3. Hasil percobaan pada berbagai perlakuan percobaan

PARAMETER TERUKUR		PERLAKUAN					
		A – A	A – B	A – C	B – A	B – C	C – C
Kadar air basis basah (%)		45.1	58.2	29.0	28.2	15.8	26.3
Kadar air basis kering (%)		82.2	139.2	40.8	39.3	18.7	35.6
Bobot isi basah tanah (g/cc)		0.86	1.39	1.73	1.37	1.13	1.47
Bobot isi kering tanah (g/cc)		0.47	0.58	1.23	0.98	0.95	1.08
S'_{max} (kg/cm^2) atas dasar pembacaan skala beban *proving ring* pada	σ_n 0.2	0.48	0.32	0.22	0.25	0.20	0.23
	σ_n 0.5	0.83	0.44	0.30	0.28	0.37	0.37
	σ_n 1.0	1.22	0.89	0.43	0.58	0.67	0.60
Adhesi tanah–metal (kg/cm^2)		0.33	0.14	0.17	0.13	0.08	0.14
Sudut gesek tanah–metal (°)		42.26	35.98	14.52	22.96	30.62	24.76
S'_{max} (kg/cm^2) atas dasar pembacaan regangan (*strain*) *proving ring* pada	σ_n 0.2	0.50	0.35	0.23	0.26	0.21	0.26
	σ_n 0.5	0.88	0.45	0.32	0.28	0.40	0.41
	σ_n 1.0	1.29	0.94	0.45	0.62	0.78	0.65
Adhesi tanah–metal (kg/cm^2)		0.34	0.15	0.18	0.12	0.07	0.17
Sudut gesek tanah–metal (°)		43.99	37.13	15.34	25.55	34.52	25.76

Tabel 4. Persamaan garis dan koefisien determinasi hasil analisis regresi linier

Perlakuan	Atas dasar skala *R*		Atas dasar regangan ε	
	Persamaan garis lurus	r^2	Persamaan garis lurus	r^2
A – A	$S' = 0.9085\sigma + 0.3309$	0.99	$S' = 0.9653\,\sigma + 0.3440$	0,99
A – B	$S' = 0.7261\sigma + 0.1383$	0.97	$S' = 0.7572\,\sigma + 0.1507$	0,96
A – C	$S' = 0.2589\sigma + 0.1685$	1.00	$S' = 0.2743\,\sigma + 0.1800$	1.00
B – A	$S' = 0.4237\sigma + 0.1290$	0.90	$S' = 0.4781\,\sigma + 0.1168$	0.90
B – C	$S' = 0.5919\sigma + 0.0759$	1.00	$S' = 0.6878\,\sigma + 0.0649$	1.00
C – C	$S' = 0.4613\sigma + 0.1384$	1.00	$S' = 0.4826\,\sigma + 0.1665$	1.00

Untuk mengetahui perubahan adhesi tanah pada berbagai tingkat perubahan kepadatan dan kadar air tanah maka dibuat kurva hubungan antara bobot isi kering tanah versus adhesi pada kisaran kadar air tertentu, dan kurva hubungan antara kadar air tanah versus adhesi pada kisaran bobot isi kering tertentu pula, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 5 dan Tabel 6, serta Gambar 12.

Adhesi tanah–metal berindikasi menurun ketika kepadatan tanah meningkat dari 0.47 hingga 1.23 g/cc pada kisaran kadar air tanah basis kering sebesar 18.7 % hingga 139.2 %. Penurunan adhesi dari 0.3309 kg/cm^2 hingga 0.0759 kg/cm^2 terjadi ketika kepadatan tanahnya naik dari 0.47 g/cc hingga 0.95 g/cc. Namun, ketika kepadatan tanahnya dinaikkan lagi hingga 1.23 g/cc maka adhesinya juga naik lagi hingga 0.1685 kg/cm^2. Pola yang sama juga diikuti pada pola hubungan antara kepadatan tanah dan kuat geser tanah (S'), sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 5. Apabila dikaitkan dengan gesekan (friksi) yang timbul antara tanah dan metal maka ketika kepadatan tanahnya dinaikkan dari 0.47 hingga 1.23 kg/cm^2 diperoleh friksi (tan δ) yang menurun dari 0.9085 hingga 0.2589.

Ketika kadar air tanah meningkat dari 18.7% hingga 82.2% pada kisaran bobot isi kering tanah sebesar 0.47 kg/cm^2 hingga 1.23 kg/cm^2, menunjukkan bahwa adhesi tanah – metal berindikasi naik dari 0.0759 kg/cm^2 hingga 0.3309 kg/cm^2. Namun, ketika kadar air tanahnya dinaikkan lagi hingga 139.2% maka adhesinya justru turun hingga 0.1383 kg/cm^2. Hal ini sesuai dengan keterangan yang disampaikan oleh Kohnke (1968) dalam Gambar 1, yaitu adhesi akan meningkat ketika kadar air tanahnya dinaikkan dari kondisi lembab ke basah, namun akan menurun hingga hilang (tak ada adhesi lagi) ketika kadar air tanahnya dinaikkan hingga kondisi tanahnya amat basah, atau apalagi jenuh. Pola yang sama juga diikuti pada pola hubungan antara kadar air tanah dan kuat geser tanah (S'), sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 6. Apabila dikaitkan dengan gesekan (friksi) yang timbul antara tanah dan metal maka ketika kadar air tanahnya dinaikkan dari 40.8 hingga 82.2% diperoleh friksi (tan δ) yang naik dari 0.2589 hingga 0.9085. Kecenderungan naiknya friksi akibat bertambahnya kadar air tanah mengikuti pola naiknya adhesi pada kadar air tanah tersebut.

Dengan mengkaji fenomena-fenomena yang terjadi ketika kepadatan dan kadar air tanah ditingkatkan maka dapat dikemukakan bahwa ketika kepadatan tanah dinaikkan dari 0.47 hingga 0.95 g/cc menyebabkan adhesinya turun, dan adhesi akan meningkat ketika kadar air tanah dinaikkan dari 40.8 % hingga 82.2 %; begitu pula kuat geser tanahnya. Pola ini tidak diikuti oleh besarnya gesekan (friksi) antara tanah dan metal. Dengan demikian, terungkap bahwa ketika kepadatan dan kadar air tanahnya ditingkatkan maka besarnya kuat geser tanah (S') akan lebih banyak dipengaruhi oleh besarnya adhesi tanah – metal dibanding pengaruh besarnya friksi antara tanah dan metal tersebut.

Di lain hal, pola naik turunnya adhesi akibat berubahnya tingkat kepadatan dan kadar air tanah, juga diikuti oleh pola naik turunnya friksi, meskipun tidak begitu tegas. Ketika adhesi menurun maka hal ini menunjukkan semakin lemahnya gaya tarik menarik antara tanah dan metal pada bidang geser sehingga gesekan yang timbul antara tanah dan metal juga semakin berkurang; begitu pula sebaliknya. Hal ini ternyata berperilaku sama dengan pola fase-fase umum gesekan tanah yang dikemukakan oleh Nichols (1931), sebagaimana terlihat dalam Gambar 4. Apabila diakurkan antara kurva dalam Gambar 12(a) dan kurva dalam Gambar 4, maka akan nampak jelas kesamaan perilaku kurvanya. Bisa dianggap bahwa fase friksi terjadi ketika kadar air tanahnya ≤ 40.8 %, fase adhesi ketika kadar air tanahnya 40.8 – 82.2%, dan fase lubrikasi ketika kadar air tanahnya ≥ 82.2 %. Pada fase friksi maka friksi lebih berperanan dalam menentukan besarnya kuat geser tanah dibanding adhesi. Hal ini bisa dilihat dengan adanya friksi sebesar 0.4237 , sedangkan adhesinya hanya sebesar 0.1290 kg/cm^2. Pada fase adhesi maka adhesi meningkat cukup tinggi, yaitu dari 0.1685 kg/cm^2 hingga 0.3309 kg/cm^2 dimana friksi juga meningkat sangat tinggi dari 0.2589 hingga 0.9085. Ketika mencapai fase lubrikasi maka adhesinya mulai menurun; begitu pula friksinya. Hal ini disebabkan karena bertambahnya kadar air tanah akan menambah banyaknya selaput tipis lengas di antara tanah dan metal yang bertindak seolaholah seperti pelumas, sehingga akan mengurangi friksi dan adhesi oleh karena menurunnya koefisien gesek dan terganggunya gaya tarik menarik antara tanah dan metal tersebut.

Pola naiknya adhesi pada kisaran kadar air dari 40.8 hingga 82.2 % ternyata juga bersesuaian dengan kondisi kadar air tanah dari batas plastis hingga batas cair untuk tanah

Latosol Darmaga yaitu sebesar 43.96 % dan 80.82 % (Sembiring dan Sapei, 1998). Ini berarti bahwa adhesi tanah – metal bernilai tinggi pada fase adhesi, yaitu ketika kohesi tanah sudah melemah hingga sebelum banyak selaput tipis lengas menyelimuti di permukaan kontak tanah – metal.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang bisa dikemukakan untuk mengetahui perubahan adhesi metal–tanah Latosol Darmaga pada berbagai tingkat perubahan kepadatan dan kadar air tanah, yaitu :

1. Adhesi tanah – metal meningkat dengan meningkatnya kadar air tanah dari 39.3% hingga 82.2%, namun menurun dengan meningkatnya kepadatan tanah dari 0.47 hingga 0.95 g/cc. Kenaikan adhesi tersebut terjadi ketika kadar air tanah tersebut diasumsikan terletak pada kondisi tanah lembab hingga basah, sebagaimana yang pernah diungkapkan oleh Kohnke (1968)
2. Adhesi tanah – metal akan semakin menurun dengan meningkatnya kadar air tanah hingga mencapai kondisi amat basah atau jenuh, oleh karena semakin banyaknya selaput tipis lengas (water film) di antara tanah dan metal yang menyebabkan semakin berkurangnya gaya tarik menarik tanah – metal
3. Kekuatan geser tanah (S') lebih banyak dipengaruhi oleh besarnya adhesi tanah – metal dibanding oleh besarnya friksi (gesekan) antara tanah dan metal
4. Fase friksi hasil percobaan terhadap tanah Latosol ini terjadi ketika kadar air tanahnya ≤ 40.8 %, fase adhesi ketika kadar air tanahnya 40.8 – 82.2 %, dan fase lubrikasi ketika kadar air tanahnya ≥ 82.2 %. Adhesi meningkat cukup tinggi ketika kadar air tanahnya mencapai fase adhesi.

DAFTAR PUSTAKA

A.S.T.M. 1952. Symposium on the Direct Shear Testing of *Soils*. Spec.Tech.Pub.131, 87pp., Philadelphia, USA

Baver, L.D., W.H. Gardner, and W.R. Gardner. 1956. *Soil* Physics. 3rd Edition. John Willey & Sons, Inc. New York

Bekker, M.G. 1957. Theory of Land Locomotion. 520 pp. Ann Arbor, Michigan

Darmawijaya, M.I. 1980. Klasifikasi Tanah. BPTK, Bandung

Gill, W.R., and G.E. VandenBerg. 1967. *Soil* Dynamics in Tillage and Tractions. Agriculture Handbook No.316. Ag.Res.Ser., USDA

Haines, W.B. 1925. Studies in the Physical Properties of *Soils*. I. Mechanical Properties Concerned in Cultivation. Jour. Agr. Sci. 15 : 178 – 200

Kohnke, Helmut. 1968. *Soil* Physics. McGrawHill Book Company, New York

Koolen, A.J., and H. Kuipers. 1983. Agricultural *Soil* Mechanics. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany

Nichols, M.L. 1931. The Dynamic Properties of *Soil*. II. *Soil* and Metal Friction. Agric. Engineering. 12 : 321 – 324

Oida, Akira. 1992. Terramechanics. Dep. of Agric. Engineering, Faculty of Agriculture, Kyoto University, Japan

Pakpahan, D. 1982. Statika dan Dinamika. Jurusan Keteknikan Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

Payne, P.C.J., and E.R. Fountaine. 1954. The Mechanism of Scouring for Cultivation Implements. Natl. Inst. Agr. Engin. Tech. Memo. 116, 11 pp

Sembiring, E.N., dan A. Sapei. 1998. Model Rheologi dan Kekuatan Tanah Latosol dan Podzolik Merah Kuning pada Perubahan Kadar Air dan Densitas Tanah. Laporan Akhir Penelitian Dasar Nomor : 13 / PPIPD / 1997/1997. Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Spotts, M.F. 1985. Design of Machine Elements. 6th Edition. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey 07632, USA