DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS HASANUDDIN
LPI
PERPUSTAKAAN



PERPUSTAKAAN FAKULTAS PERTANIAN UNHAS

Tgl. Terima	29 - 04 - 04
Asal Dari	pertanian
Banyaknya	1 (satu) Exp
Harga	Hadiah
No. Inventaris	0404029 75
No. Klas	20757(2)

JURUSAN ILMU TANAH
FAKULTAS PERTANIAN DAN KEHUTANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2004

KEMAMPUAN BUTIR AIR TUNGGAL DENGAN ENERGI KINETIK RENDAH MENDIFERENSIASI KETAHANAN AGREGAT BEBERAPA JENIS TANAH

Oleh

NURHASANAH
G 211 99 024

Laporan praktek sebagai salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar Sarjana Pertanian

Pada

Jurusan Ilmu Tanah
Fakultas Pertanian dan Kehutanan
Universitas Hasanuddin
Makassar

Disetujui Oleh

Dr.Ir.SIKSTUS GUSLI, M.Sc	Dr.Ir.DAMARIS KALASUSO, M.S
Dosen Pembimbing	Dosen Pembimbing

RINGKASAN

NURHASANAH (G 21199024). Kemampuan Butir Air Tunggal Dengan Energi Kinetik Rendah Mendiferensiasi Ketahanan Agregat Beberapa Jenis Tanah (Di bawah bimbingan SIKSTUS GUSLI dan DAMARIS KALASUSO).

Butir air pada energi kinetik tinggi mempunyai daya rusak yang besar, sehingga pengaruhnya pada tanah yang stabilitasnya berbeda dapat dengan mudah ditunjukkan. Namun pada energi kinetik rendah kemampuan penghancuran butir air berkurang, sehingga diferensiasi ketahanan agregat tanah terhadap daya hancur butir air mungkin sulit dilakukan. Padahal, untuk kepentingan pengujian di laboratorium, penggunaan energi kinetik rendah lebih praktis dan mudah dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari daya hancur butir air pada energi kinetik rendah terhadap agregat beberapa jenis tanah.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fisika Tanah Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian dan Kehutanan Universitas Hasanuddin, berlangsung dari awal Juli hingga akhir Agustus 2003. Pada penelitian ini digunakan peralatan sederhana yang dapat menghasilkan butir air berdiameter 5,1 mm dan *head* dapat diatur. Tinggi jatuh dipasang pada 75 mm, sehingga energi kinetik yang dihasilkan adalah konstan $5{,}03.10^{-5}$ J. Perlakuan yang dicobakan adalah tinggi *head* 50, 100 dan 150 mm. *Head* yang digunakan menentukan intensitas butir air sedangkan diameter dan tinggi jatuh menentukan energi kinetik dari butir air. Ketiga tinggi *head* dicobakan pada agregat dari lima sampel tanah

yang diujikan (Vertisol Bangkala, Alfisol Mandale dan Polongbangkeng, Inceptisol Mappakasunggu dan Marioriwawo).

Hasil percobaan ini menunjukkan bahwa, jumlah energi kinetik yang dibutuhkan untuk memecahkan agregat tanah berbeda untuk setiap jenis tanah. Pada energi kinetik rendah ini, pengaruh perbedaan fluks energi kinetik akibat perbedaan tinggi *head* dapat terbaca yakni semakin tinggi head (150 mm) maka fluks energi kinetik yang dihasilkan semakin besar pula (0,12 Joule). Nilai fluks energi kinetik tertinggi menyebabkan penurunan jumlah drop yang dibutuhkan untuk memecahkan agregat tanah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Bismillahir Rohmanir Rahim

Alhamdulillahi Rabbil Alamin, segala puji dan syukur kehadirat Ilahi Rabbi atas rahmat dan hidayah-Nya yang senantiasa tercurah kepada penulis sehingga penyusunan laporan ini dapat terselesaikan.

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada Bapak Dr. Ir. Sikstus Gusli, M.Sc dan Ibu Dr. Ir. Damaris Kalasuso, M.S. sebagai pembimbing yang dengan penuh kesungguhan hati meluangkan waktu dan pikirannya membimbing penulis mulai dari awal penelitian hingga selesainya laporan ini.

Secara khusus penulis ucapkan terima kasih yang tulus kepada almarhum ayahanda Bakri, ibunda Hj.Atiah serta kakak-kakakku tercinta Abd. Rahman, S.Sos, Muh. Basri, SE ak, dan Muh. Iqbal yang tidak kenal lelah memberikan sokongan material, moril, doa dan harapan yang tiada pernah terputus dalam penyelesaian studi penulis pada Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian dan Kehutanan Universitas Hasanuddin.

Kepada teman-teman *"Agregat 99"*, khususnya Zaitun Wahyuni SP,Suryani SP, Irmayani B, A.Lely, Fatmawati, Tita, Alfian, Ahmad L, Lewi dan lain-lain yang tidak sempat penulis sebutkan terimakasih atas saran, informasi, dan canda tawanya selama penulis menempuh kuliah

Tak lupa penulis mengucapkan terimakasih kepada sepupuku, Farid dan Fatma, temanku, Yusuf dan kepada seluruh warga HIMTI, yang telah banyak memberikan bantuan selama penulis menyelesaikan laporan ini.

Kepada Allah SWT jualah penulis serahkan segalanya. Semoga bantuan teman-teman bernilai ibadah dan mendapat pahala yang berlipat ganda. Penulis berharap laporan ini memberikan manfaat bagi pembaca dan semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat dan taufiq-Nya kepada kita semua. Amien yaa Rabbal Alamin.

Makassar, Februari 2004.

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL ix

DAFTAR GAMBAR x

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang 1

1.2 Tujuan dan kegunaan 2

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Stabilitas agregat 3

2.2 Komponen erodibilitas dalam erosi tanah 5

2.3 Energi air penghancur agregat 7

III. BAHAN DAN METODE

3.1 Tempat dan waktu 10

3.2 Bahan dan alat 10

3.3 Pelaksanaan penelitian 11

3.3.1 *Penyiapan contoh tanah* 11

3.3.2 *Teknik Pengujian* 11

3.3.3 *Perhitungan energi kinetik dan fluks energi kinetik* 13

3.3.4 *Pengamatan* 14

Halaman

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1.Kemampuan energi kinetik rendah membedakan resistensi agregat .. 15

4.2.Pengaruh faktor-faktor yang berperan 17

4.2.1. Kandungan liat 17

4.2.2. Kandungan debu..... 19

4.2.3. Kandungan pasir..... 21

4.2.4. Kandungan C.organik 22

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1.Kesimpulan 24

5.2.Saran 24

DAFTAR PUSTAKA 25

LAMPIRAN 28

DAFTAR TABEL

Nomor Halaman

Teks

1. Rata-rata jumlah drop dengan energi kinetik $5{,}03.10^{-5}$ J yang dibutuhkan untuk menghancurkan agregat dari lima jenis tanah yang diteliti dengan energi kinetik dan fluks energi kinetik tertentu 15

Lampiran

1. Hasil analisis sifat fisik dan kimia tanah yang diteliti 29

2. Data jumlah drop dan energi kinetik setiap tinggi head pada masing-masing jenis tanah 30

3. Hasil pengamatan jumlah drop yang dibutuhkan untuk memecahkan agregat pada setiap jenis tanah dengan tinggi jatuh 75 mm dan diameter butir 5,1 mm 31

DAFTAR GAMBAR

Nomor Halaman

Teks

1. Pengukuran tinggi head yang dipertahankan dengan sistem botol Marriot, pada sistem simulator hujan butir tunggal 12

2. Hubungan kandungan liat dengan energi kinetik untuk memecahkan agregat tanah pada masing-masing tinggi head 18

3. Hubungan kandungan debu dengan energi kinetik untuk memecahkan agregat tanah pada masing-masing tinggi head 20

4. Hubungan kandungan pasir dengan energi kinetik untuk memecahkan agregat tanah pada masing-masing tinggi head 21

5. Hubungan kandungan C.organik dengan energi kinetik untuk memecahkan agregat tanah pada masing-masing tinggi head..... 23

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Stabilitas agregat dapat menggambarkan beberapa sifat tanah antara lain struktur, laju infiltrasi, permeabilitas dan kapasitas tanah menahan air. Semua sifat ini mempengaruhi ketahanan agregat terhadap daya rusak air termasuk hujan. Jadi, stabilitas agregat berperan dalam proses erosi, terutama pada tahap penghancuran bongkah agregat oleh air.

Stabilitas atau kemantapan agregat tanah penting diketahui untuk mengatasi masalah erosi karena tanah-tanah yang mantap akan tahan terhadap proses disagregasi, yaitu penghancuran agregat-tanah akibat tumbukan butir-butir hujan (Sarief , 1989).

Menyadari besarnya peranan stabilitas agregat dalam proses erosi, maka banyak model uji stabilitas agregat yang telah dikembangkan, baik di laboratorium maupun di lapangan. Masing-masing teknik mempunyai kelebihan dan kekurangan sendiri-sendiri. Uji stabilitas agregat di laboratorium lebih mudah dilakukan dan tidak tergantung pada musim hujan, tetapi kehandalan penerapan hasil uji tersebut di lapangan sering dipertanyakan dan masih perlu diteliti. Sebaliknya, pengujian stabilitas agregat di lapang lebih relevan untuk aplikasi lapangan, tetapi sulit dilakukan karena tergantung pada musim, membutuhkan waktu, tenaga dan biaya yang banyak.

Hujan bersifat dinamik pada setiap kejadian hujan sehingga pengamatan parameter hujan yang menyebabkan kerusakan tanah sulit dilakukan (Soemarto, 1995). Dengan alasan

ini penggunaan simulator hujan adalah pilihan terbaik dalam mempelajari parameter-parameter hujan penyebab kerusakan tanah.

Butir air pada energi kinetik tinggi mempunyai daya rusak yang besar, sehingga pengaruh pada tanah yang stabilitasnya berbeda dapat dengan mudah ditunjukkan. Namun pada energi kinetik rendah kemampuan penghancuran butir air berkurang, sehingga diferensiasi ketahanan agregat tanah terhadap daya hancur butir air mungkin sulit dilakukan. Padahal untuk kepentingan pengujian di laboratorium, penggunaan energi kinetik rendah lebih praktis dan mudah dilakukan. Dalam penelitian ini akan diuji stabilitas agregat pada beberapa jenis tanah dengan menggunakan simulator hujan butir tunggal dengan menggunakan energi kinetik rendah.

1.2. Tujuan dan kegunaan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari daya hancur butir air pada energi kinetik rendah terhadap agregat beberapa jenis tanah. Diharapkan, dari hasil penelitian akan diperoleh informasi yang berguna untuk pemanfaatan pengujian stabilitas agregat di laboratorium dengan hanya menggunakan energi kinetik yang rendah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Stabilitas agregat

Stabilitas agregat merupakan gambaran kemampuan agregat tanah untuk bertahan terhadap kemungkinan terjadinya kerusakan baik oleh air maupun oleh kekuatan mekanik (Baver *et al*, 1972). Stabilitas agregat pada sistem tanah dapat dicapai jika ada keseimbangan antara muatan negatif pada permukaan liat dengan muatan positif pada larutan tanah (Quirk, 1978).

Salah satu sifat tanah yang terkait dengan stabilitas agregat adalah struktur tanah. Dari segi fungsinya struktur tanah didefenisikan sebagai ukuran, bentuk dan susunan partikel dan pori di dalam tanah (Gusli, 1996). Terdapat dua aspek struktur yang penting dalam hubungannya dengan erosi yaitu sifat-sifat fisika-kimia liat yang menyebabkan flokulasi dan adanya bahan pengikat butir-butir primer sehingga terbentuk agregat yang mantap (Arsyad, 1989).

Tekstur tanah adalah perbandingan relatif antara fraksi pasir, debu dan liat. Tanah-tanah dengan tekstur kasar seperti pasir lebih tahan terhadap erosi karena butir-butir tanah yang sulit terangkut, demikian pula dengan tanah bertekstur liat tahan terhadap erosi karena daya kohesi yang kuat sehingga sulit dihancurkan oleh tumbukan air hujan, sedangkan tanah yang peka terhadap erosi adalah tanah yang bertekstur debu dan pasir sangat halus (Arsyad, 1989).

Faktor lain yang mempengaruhi stabilitas agregat adalah kandungan bahan organik dalam tanah karena bahan organik dapat bertindak sebagai perekat antara partikel-partikel

primer, adanya pengikatan bahan semen yang terjadi secara kimia misalnya oleh liat, oksida besi dan aktifitas mikroorganisme melalui kegiatan cendawan dan akar tanaman (Utomo, 1989). Selain itu, kandungan kation-kation sangat mempengaruhi stabilitas agregat. Telah umum diketahui bahwa tanah yang mengandung Ca^{++} yang cukup mempunyai struktur yang lebih baik karena mampu memflokulasi koloid tanah (Baver *et al*, 1972). Disamping itu, kalsium di dalam tanah juga dapat berfungsi langsung sebagai bahan semen atau perekat.

2.1.1. Tanah Vertisol

Stabilitas agregat yang tidak baik pada Vertisol disebabkan oleh kandungan bahan organik yang rendah dan tingkat natrium dapat larut yang tinggi (Lugo-Lopez dan Juares, 1959; Lugo-Lopez dan Perez, 1969 yang dikutip oleh Sanchez, 1992). Di samping itu liat montmorillonit yang mendominasi Vertisol menyebabkan mudah tererosi. Telah diketahui bahwa tipe liat ini dapat mengembang dan plastis jika basah, sehingga agregatnya tidak begitu stabil dalam air (Arsyad, 1989) dan pada kondisi kering akan terjadi pengerutan dan peretakan tanah sehingga membentuk gumpalan bebas yang padat dan keras (Hardjowigeno, 1993).

2.1.2. Tanah Alfisol

Lain halnya dengan Alfisol, adanya lapisan liat yang menutupi agregat tanah yang bersifat anisotrop (Sanchez, 1992) dan kandungan ion besi yang tinggi (Hardjowigeno, 1993) menyebabkan stabilitas agregatnya meningkat. Sifat fisik dan kimia Alfisol yang umumnya baik seperti tekstur sedang hingga halus, drainase baik, reaksi tanah antara masam hingga netral dan cadangan unsur hara tinggi menyebabkan tanah Alfisol banyak

digunakan untuk lahan pertanian dan rumput ternak (Munir, 1995). Meskipun demikian tanah atas yang bertekstur lebih kasar dapat menimbulkan bahaya pengikisan dan pengompakan yang serius apalagi jika lapisan argilik muncul di permukaan (Hardjowigeno, 1993).

2.1.3. Tanah Inceptisol

Inceptisol merupakan tanah yang belum matang dengan perkembangan profil lebih lemah sehingga masih menyerupai bahan induknya (Hardjowigeno, 1993). Sifat fisik tanah yang menonjol dari tanah ini adalah kandungan air tersedia dan bahan organik yang tinggi, sehingga mempunyai potensi untuk pemanfaatannya secara maksimal (Munir, 1995). Tetapi adanya horison sulfuric (cat clay) yang sangat masam, drainase buruk dan pH sangat rendah (<4) merupakan kendala utama dalam pemanfaatannya (Hardjowigeno, 1993).

2.2. Komponen erodibilitas dalam erosi tanah

Arsyad (1989) menyatakan bahwa kepekaan erosi tanah (erodibilitas) haruslah merupakan pernyataan keseluruhan pengaruh sifat-sifat tanah dan bebas dari faktor-faktor penyebab erosi lainnya. Kepekaan suatu tanah terhadap erosi atau nilai erodibilitas suatu tanah ditentukan oleh ketahanan tanah terhadap daya rusak dari luar dan kemampuan tanah menyerap air (Santoso, 1994). Selanjutnya dikatakan bahwa kemudahan tanah untuk dihancurkan ditentukan oleh beberapa hal, tetapi secara garis besar dapat dibedakan atas tekstur dan struktur. Sedangkan kemampuan tanah menyerap air ditentukan oleh infiltrasi dan permeabilitas.

Peranan tekstur dalam mempengaruhi erosi terutama karena pengaruhnya terhadap infiltrasi, kapasitas menahan air, laju pergerakan air dan udara dalam tanah, serta menentukan aliran permukaan (Morgan, 1979). Tanah-tanah yang mengandung liat dalam jumlah yang tinggi dapat tersuspensi oleh butir-butir hujan yang jatuh menimpa dan pori-pori lapisan permukaan akan tersumbat oleh butir-butir liat (Arsyad, 1989).

Evans (1980) menemukan bahwa tanah yang mengandung liat antara 9 sampai 30 % peka terhadap erosi, dan yang mengandung liat > 30 % tahan terhadap erosi, karena dapat membentuk agregat yang stabil. (Bryan, 1968) mengatakan bahwa kandungan partikel liat tidak selalu secara tepat ada hubungannya dengan erosi yang terjadi di lapangan. Wischmeier dan Mannering (1969) menguraikan bahwa debu dan pasir halus sulit membentuk struktur yang mantap.

Struktur tanah penting bagi proses erosi karena beberapa hal, terutama hubungannya dengan kemampuan tanah melalukan air (terkait dengan distribusi ukuran pori) dan ketahanannya (stabilitas struktur) terhadap potensi destruktif seperti energi kinetik hujan (Gusli, 1995a).Terhadap dua aspek struktur yang penting dalam hubungannya dengan erosi yaitu 1) sifat-sifat fisika-kimia liat yang mendukung terjadinya flokulasi dan 2) bahan pengikat butir-butir primer yang merupakan faktor yang berperan terhadap pembentukan dan stabilisasi struktur tanah (Arsyad, 1989).

Pembentukan struktur tanah dipengaruhi oleh jenis kation yang teradsorpsi oleh liat dan adanya bahan pengikat. Liat yang jenuh dengan ion-ion Ca dan Mg akan terflokulasi sedangkan yang jenuh dengan ion-ion Na akan terdispersi, Ca dan Mg serta basa bervalensi dua lainnya juga berlaku sebagai pengikat. Liat yang berkembang jika basah seperti

montmorillonit menyebabkan agregat yang tidak stabil, akan tetapi liat ini mudah membentuk kompleks dengan senyawa organik yang dapat merupakan agregat yang stabil. Lebih lanjut dikatakan bahwa, pengikatan butir-butir primer menjadi agregat dapat juga terjadi oleh mycelia jamur dan actinomicetes.

Faktor iklim yang paling dominan berpengaruh adalah curah hujan (Arsyad, 1989). Besarnya curah hujan, intensitas hujan dan distribusi hujan akan menentukan kekuatan dispersi hujan terhadap tanah, jumlah aliran permukaan dan kerusakan tanah akibat erosi. Kemampuan hujan untuk menimbulkan erosi disebut erosivitas. Erosivitas merupakan fungsi dari intensitas hujan, energi kinetik dan lama hujan (Kohnke dan Bertrand, 1959).

Selanjutnya pendugaan erosi melalui pengukuran stabilitas agregat dengan menggunakan simulator hujan butir tunggal telah dikemukakan oleh Bruce-Okine dan Lal (1975). Metode ini menekankan perhitungan pada energi kinetik dan intensitas hujan sebagai penghancur agregat. Besarnya energi kinetik hujan merupakan hasil perkalian massa dengan kecepatan jatuh butir hujan. Energi kinetik hujan dengan diameter lebih besar berperan dalam memecahkan agregat tanah (Soemarto, 1995).

2.3. Energi air penghancur agregat

Energi kinetik dan intensitas hujan sangat berperan dalam penghancuran agregat dan besarnya infiltrasi air (Hakim *et al*, 1986; Thompson dan James, 1986). Besarnya energi kinetik hujan merupakan hasil perkalian antara massa dan kecepatan jatuh butir hujan. Kecepatan jatuh butir melalui udara yang tenang dipengaruhi oleh grafitasi, tahanan

udara dan angin. Tahanan udara per-satuan massa air akan meningkat dengan bertambahnya permukaan jenis butir hujan yaitu butir makin kecil (Arsyad, 1989).

Diameter butir sangat berperan dalam penghancuran agregat tanah (Arsyad, 1989). Seperti yang dikemukakan oleh Chapman (1948) yang dikutip oleh Lee (1990); Soemarto (1995) bahwa energi kinetik hujan dengan diameter besar yang lebih berperan dalam pemecahan agregat tanah. Makin besar ukuran butir hujan, momentum akibat jatuhnya butir semakin meningkat terutama pada saat energi kinetik mencapai maksimum, yaitu pada intensitas hujan antara 50 sampai 100 mm h^{-1} dan di atas 250 mm h^{-1} (Evans, 1980 yang dikutip oleh Utomo, 1989).

Laus (1941) melaporkan bahwa kecepatan akhir tetesan hujan dengan diameter lebih besar dari 5,5 mm tidak meningkat melainkan menurun dengan bertambahnya ukuran butir. Hal ini disebabkan oleh perubahan bentuk dan pecahnya tetesan dengan meningkatnya tahanan udara (Seyhan, 1990), Laus (1941) juga menjelaskan bahwa kecepatan butir air yang kecil kurang lebih setengah dari kecepatan butir yang besar dalam memukul permukaan tanah.

Pukulan butir hujan tidak hanya melepas dan memecahkan agregat tanah, tetapi juga merusak agregasi dan percikannya membantu transportasi partikel-partikel yang terlepas (Hakim *et al*, 1986). Meningkatnya energi kinetik, intensitas atau keduanya akan mempercepat kerusakan tanah yang menyebabkan laju infiltrasi menurun (Gusli, 1996).

Tanah dengan agregat yang lemah akan mudah terdispersi menyebabkan pori-pori lapisan permukaan akan tersumbat oleh butir-butir yang terlepas. Hal ini dapat menimbulkan penurunan infiltrasi, peningkatan aliran permukaan dan erosi yang hebat

(Arsyad, 1989). Menurut Ghildyal dan Tripathi (1987), dispersi merupakan suatu proses terlepasnya liat atau ikatan organik oleh gaya perusak air maupun mekanik pada saat pengolahan.

Secara kimia dispersi liat dipengaruhi oleh persentase natrium dapat tukar (Electrical Conductivity, EC), pH tanah, distribusi ukuran partikel dan tipe mineral liat (kemampuan mengembang dan mengerut COLE), (Emerson, 1994). Peningkatan konsistensi air pada agregat juga mendorong terjadinya dispersi (Emerson, 1997), karena akan menyebabkan ikatan bahan perekat lebih fleksibel (Marshall dan Holmes, 1979) bahkan sebagian menjadi larut (Gusli, 1995a).

III. BAHAN DAN METODE

3.1. Tempat dan waktu

Penelitian dilaksanakan di laboratorium Fisika Tanah Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian dan Kehutanan Universitas Hasanuddin Makassar. Percobaan berlangsung dari awal Juli hingga akhir Agustus 2003.

3.2. Bahan dan alat

Bahan-bahan yang digunakan adalah tanah Vertisol asal Desa Bulo Dua Kecamatan Bangkala Kabupaten Jeneponto, tanah Alfisol yang berasal dari Desa Palaeko Kecamatan Polongbangkeng Kabupaten Takalar dan Desa Benteng Kecamatan Mandale Kabupaten Pangkep, tanah Inceptisol yang berasal dari Desa Paddinging Kecamatan Mappakasunggu Kabupaten Takalar dan Desa Gattareng Kecamatan Marioriwawo Kabupaten Soppeng, serta aquades.

Alat-alat yang digunakan meliputi timbangan elektronik, mistar, stopwatch, botol marirot, gelas ukur, pipet tetes dan jarum hipodermik 23 G sebagai drippers. Hignet *et al* (1995) telah mengukur dan membuktikan bahwa jarum ini menghasilkan diameter butir 2,7 mm jika tutup drippers dilepas dan 5,1 mm bila tutup dipasang. Pada percobaan ini tutup drippers dipasang sehingga diameter drop yang digunakan adalah 5,1 mm. Ukuran butir ini termasuk pada kisaran butir hujan alam (Hudson, 1963)

3.3. Pelaksanaan penelitian

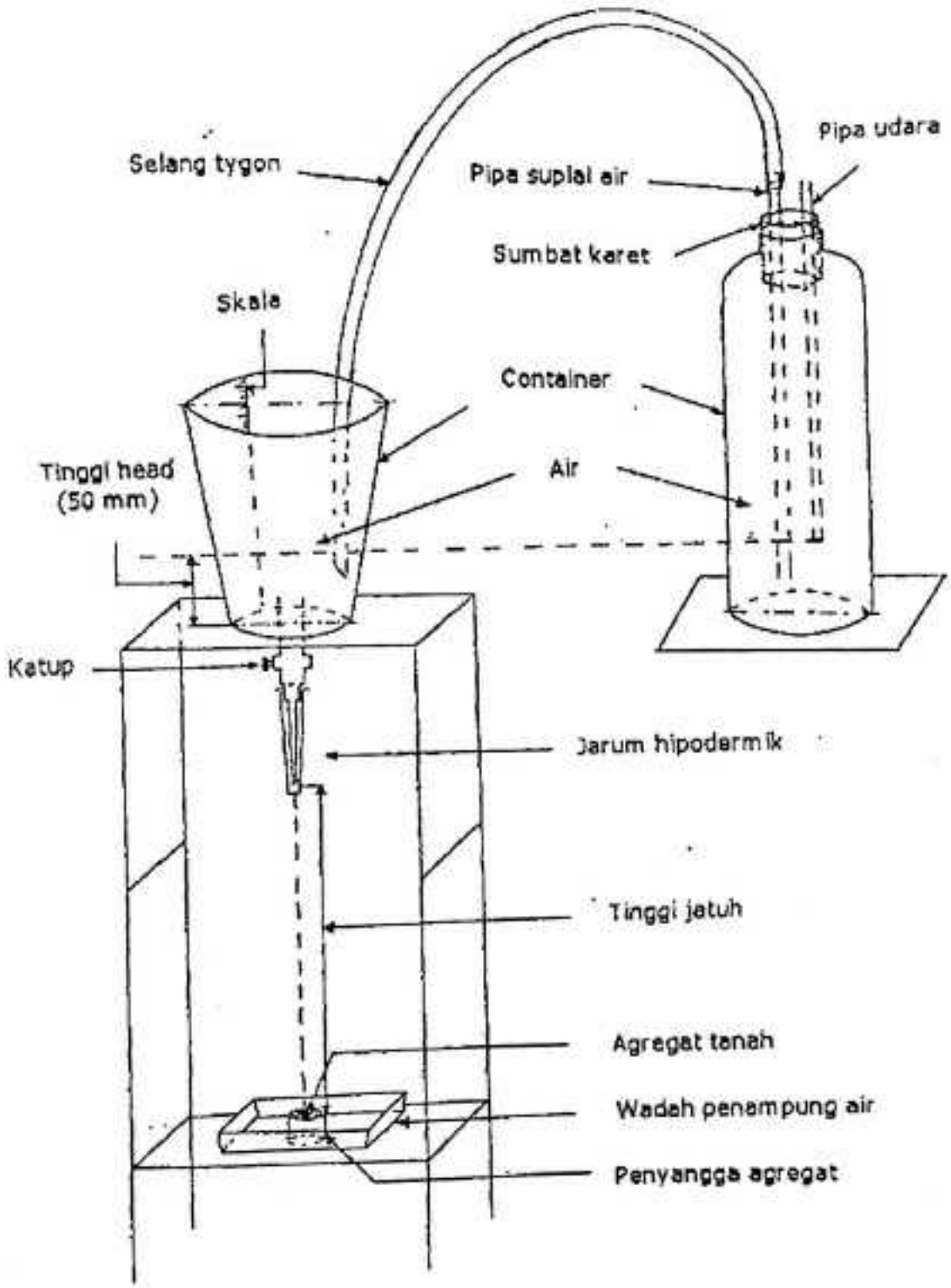
3.3.1. Penyiapan contoh tanah

Kelima jenis tanah yang digunakan diambil secara komposit sampai kedalaman 10 cm (yang banyak dipengaruhi oleh tumbukan butir hujan) kemudian dikeringudarakan. Lalu, dipilih agregat-agregat tanah kering udara yang diameternya kurang lebih 1 cm. Untuk memudahkan pengukuran, agregat yang telah diukur dan mempunyai diameter 1 cm ditimbang dan beratnya dijadikan acuan untuk memperoleh diameter agregat yang sama.

3.3.2. Teknik pengujian

Sebelum melakukan pengujian terlebih dahulu dijelaskan bahwa perlakuan yang dicobakan terdiri dari head 50, 100 dan 150 mm. Head yang digunakan, menentukan intensitas butir air sedangkan diameter dan tinggi jatuh menentukan energi kinetik dari butir air. Semua perlakuan dicobakan pada kelima jenis tanah.

Teknik pengujian dilakukan dengan memasukkan air suling ke dalam silinder sesuai tinggi head yang ditetapkan (Gambar 1). Selama pengisian berlangsung katup pada jarum drippers tetap dibuka supaya air terus menetes, head dipertahankan dengan sistem botol marriot. Prinsip dari sistem ini adalah mempertahankan head dengan menjaga tekanan udara di dalam botol sama dengan tekanan udara di atmosfir melalui pipa gelembung udara (Bouwer, 1986). Agregat yang akan ditetesi diletakkan di atas penyangga agregat dalam wadah penampung air. Jarak agregat dari ujung drippers disesuaikan dengan tinggi jatuh yang telah ditentukan yaitu 75 mm (Gambar 1).



Gambar 1. Pengukuran tinggi head yang dipertahankan dengan sistem botol marriod, pada sistem simulator hujan dengan butir tunggal.

Dengan tinggi jatuh demikian, energi kinetik yang dihasilkan adalah $5{,}03.10^{-5}$ Joule. Energi kinetik ini dikategorikan rendah (Hignet *et al*, 1995). Sebagai pembanding energi kinetik yang dihasilkan oleh hujan alam umumnya sekitar 29 Joule (Hudson, 1963), sedangkan energi kinetik sedang berkisar 10 sampai 20 Joule (Hignet *et al*, 1995).

Setelah semuanya dipersiapkan agregat tersebut diletakkan tepat dimana butir air jatuh, bersamaan jatuhnya butir air pada agregat, stopwatch dijalankan dan dihentikan pada saat agregat mulai retak. Cara yang sama dilakukan pada setiap perlakuan dan masing-masing diulang 10 kali. Intensitas drop divariasikan dengan menerapkan tiga tinggi head, masing-masing 50, 100 dan 150 mm. Intensitas drop didapatkan dengan menghitung jumlah drop yang jatuh / 10 menit (untuk kemudian dikonversi kesatuan jam) dari masing-masing tinggi head. Dari sini juga dapat dihitung fluks energi kinetik dalam satuan Joule / jam.

3.3.3. Perhitungan energi kinetik dan fluks energi kinetik

Energi kinetik (Ek dalam Joule) dihitung dengan menggunakan rumus :

$$Ek = \tfrac{1}{2} mv^2 \quad \text{..... (1)}$$

Dimana,

m = massa drop (kg)

v = kecepatan jatuh butir (m/s)

Kecepatan jatuh butir dihitung dengan menggunakan program komputer yang digunakan oleh Hignet *et al* (1995).

Fluks energi kinetik (ϕ dalam J/jam atau Watt) dihitung dengan menggunakan rumus (Gusli, 1995b) :

$$\phi = Ek \times Iek \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Dimana,

Ek = Energi kinetik (Joule)

Iek = Intensitas energi kinetik (butir/jam)

3.3.4. Pengamatan

Parameter yang diamati adalah jumlah drop dibutuhkan untuk memecahkan agregat tanah, ini diuraikan sebagai berikut :

Jumlah drop dihitung berdasarkan banyaknya drop yang dibutuhkan hingga agregat mulai retak.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kemampuan energi kinetik rendah membedakan resistensi agregat

Dengan energi kinetik rendah yang digunakan ($5{,}03.10^{-5}$ J) ketahanan agregat beberapa jenis tanah terhadap daya hancur butir ini tetap dapat dibedakan. Data rata-rata jumlah drop dan energi kinetik yang dibutuhkan untuk memecahkan agregat kelima jenis tanah yang diuji diperlihatkan pada Tabel 1. Hasil tersebut menunjukkan rata-rata jumlah energi kinetik yang dibutuhkan untuk memecahkan agregat tanah berbeda untuk setiap jenis tanah. Ditemukan pula, bahwa pada energi kinetik rendah ini pengaruh perbedaan fluks energi kinetik akibat perbedaan tinggi head dapat terlihat.

Tabel 1. Rata-rata jumlah drop dengan energi kinetik $5{,}03.10^{-5}$ J yang dibutuhkan untuk menghancurkan agregat dari lima jenis tanah yang diteliti dengan energi kinetik dan fluks energi kinetik tertentu.

Jenis Tanah	Tinggi head (mm)	Rata-rata jumlah Drop	Rata-rata Jumlah Energi Kinetik (Joule)10^{-5}	Fluks Energi Kinetik (Joule/jam)
Vertisol Bangkala	50	19,8	99,594	0,045
	100	20,1	101,103	0,075
	150	19,6	98.588	0,12
Alfisol Polongbangkeng	50	19,1	96,073	0,045
	100	20,1	101,103	0,075
	150	12,7	63,881	0,12
Alfisol Mandale	50	43	216,29	0,045
	100	42,8	215,284	0,075
	150	33,7	169,511	0,12
Inceptisol Mappakasunggu	50	19	95,57	0,045
	100	21,1	106,133	0,075
	150	13,1	65,893	0,12
Inceptisol Marioriwawo	50	28,1	141,343	0,045
	100	41,2	207,236	0,075
	150	27,6	138,828	0,12

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa, dari kelima jenis tanah yang diujikan kenaikan fluks energi kinetik dari 0,045 ke 0,12 J/jam mempengaruhi jumlah drop (energi) yang dibutuhkan untuk menghancurkan agregat. Nilai fluks energi kinetik terbesar (0,12 J/jam) menyebabkan penurunan jumlah drop yang dibutuhkan untuk memecahkan agregat tanah. Ini sesuai dengan yang ditemukan Parissing (1999), yakni penurunan drop lebih nyata bila fluks energi kinetik ditingkatkan. Selanjutnya Gusli (1995c) juga menyimpulkan bahwa fluks energi kinetik hujan adalah parameter yang paling mempengaruhi pengrusakan agregat lapisan permukaan tanah.

Data pada Tabel 1 juga menunjukkan bahwa, nilai rata-rata jumlah energi kinetik yang dibutuhkan untuk memecahkan agregat tanah tertinggi adalah pada tanah alfisol Mandale. Tingginya energi kinetik yang dibutuhkan dalam memecahkan agregat tanah ini disebabkan oleh besarnya kandungan organik yang terdapat pada jenis tanah tersebut dibanding keempat jenis tanah lainnya (2,86g/100g) Hal ini didukung oleh Chopy *et al* (1984) dikutip oleh Seta (1991) yang menyatakan bahan organik berperan dalam kemantapan agregat tanah melalui senyawa penyemen/perekat, sehingga mampu meningkatkan kapasitas infiltrasi tanah dan memperkecil aliran permukaan. Disamping hal tersebut di atas bila ditinjau dari sifat kimianya tanah ini memiliki Na.dd yang cukup rendah (0,293meq/100g), yang mana Na.dd berfungsi sebagai pendispersi tanah. Menurut Islami dan Utomo (1995), bahwa tanah yang banyak mengandung Na akan menghasilkan struktur sangat jelek.

Kisaran nilai rata-rata jumlah energi kinetik yang rendah untuk memecahkan agregat tanah pada Tabel 1 dapat dilihat pada tanah Inceptisol Mappakasunggu meskipun

nilainya tidak berbeda jauh dengan Alfisol Polongbangkeng. Hal ini ditunjang dari sifat fisik dan kimia yang dimiliki tanah tersebut. Tanah ini bertekstur lempung berdebu sehingga agregat tanah ini kurang stabil karena kurangnya liat, dimana kita ketahui liat berfungsi sebagai perekat antar partikel-partikel tanah. Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Foth (1991) bahwa proporsi liat yang cukup tinggi memungkinkan agregasi tanah lebih baik. Disamping itu ditinjau dari sifat kimianya, tanah ini mengandung bahan organik yang cukup rendah (2,31g/100g) dan kandungan Na.dd yang tinggi (0,492meq/100g) dibanding keempat jenis tanah lainnya. Bahan organik tersebut berperan menstabilkan agregat melalui senyawa perekat yang mengikat butiran tanah satu sama lainnya (Lugo-Lopez dan Juares, 1959; Briones dan Veracion, 1965 yang dikutip oleh Sanchez, 1992). Tanah yang mengandung Na.dd tinggi mendorong partikel tanah untuk terdispersi.

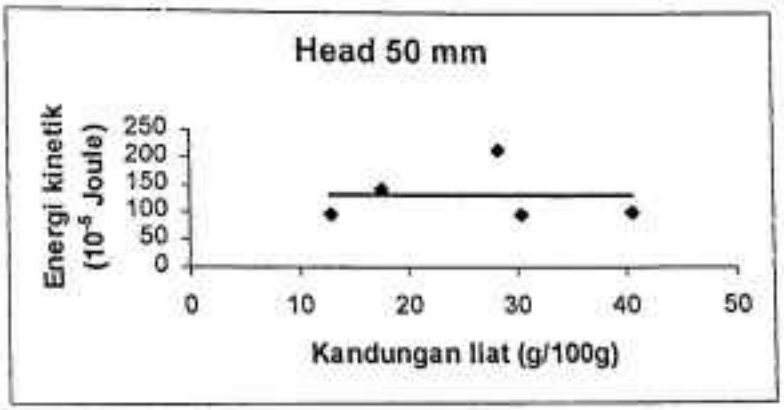
4.3. Pengaruh faktor-faktor yang berperan

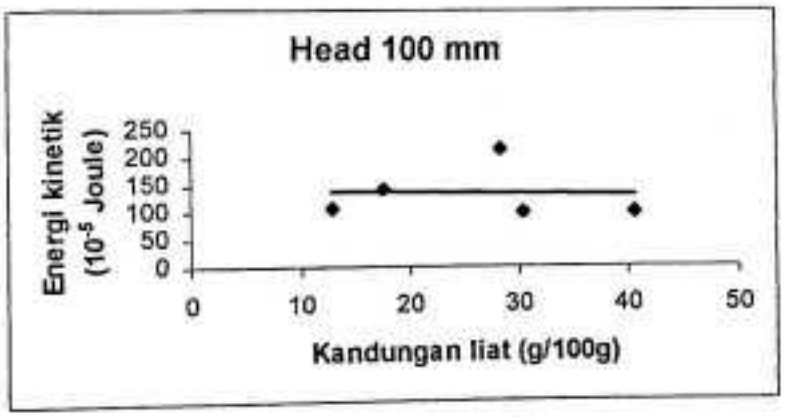
4.3.1. Kandungan Liat

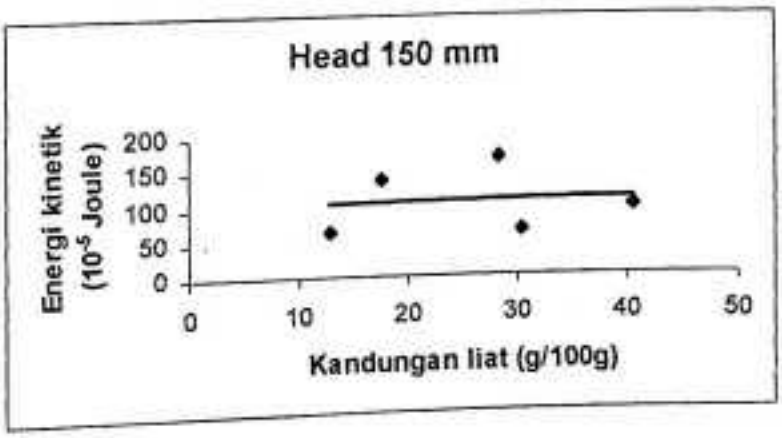
Hubungan antara energi kinetik dan kandungan liat pada tinggi head 50, 100 dan 150 mm diperlihatkan secara grafis pada Gambar 2. Keeratan hubungan keduanya cenderung mengikuti fungsi linear, walaupun harus diakui bahwa jumlah data yang diperoleh dari 5 jenis tanah tampaknya masih belum bisa memberikan jawaban hubungan yang baik. Keyakinan ini juga terkait dengan rendahnya energi kinetik yang digunakan.

Pada tinggi head 50 mm dan 150 mm memperlihatkan bahwa, semakin tinggi kandungan liat energi kinetik yang dibutuhkan untuk memecahkan agregat juga semakin tinggi. Hal ini tentunya dipengaruhi oleh sifat liat yang lekat. Menurut *Baver et al* (1972),

18







Gambar 2. Hubungan kandungan liat dengan energi kinetik yang dibutuhkan untuk memecahkan agregat tanah pada masing-masing tinggi head.

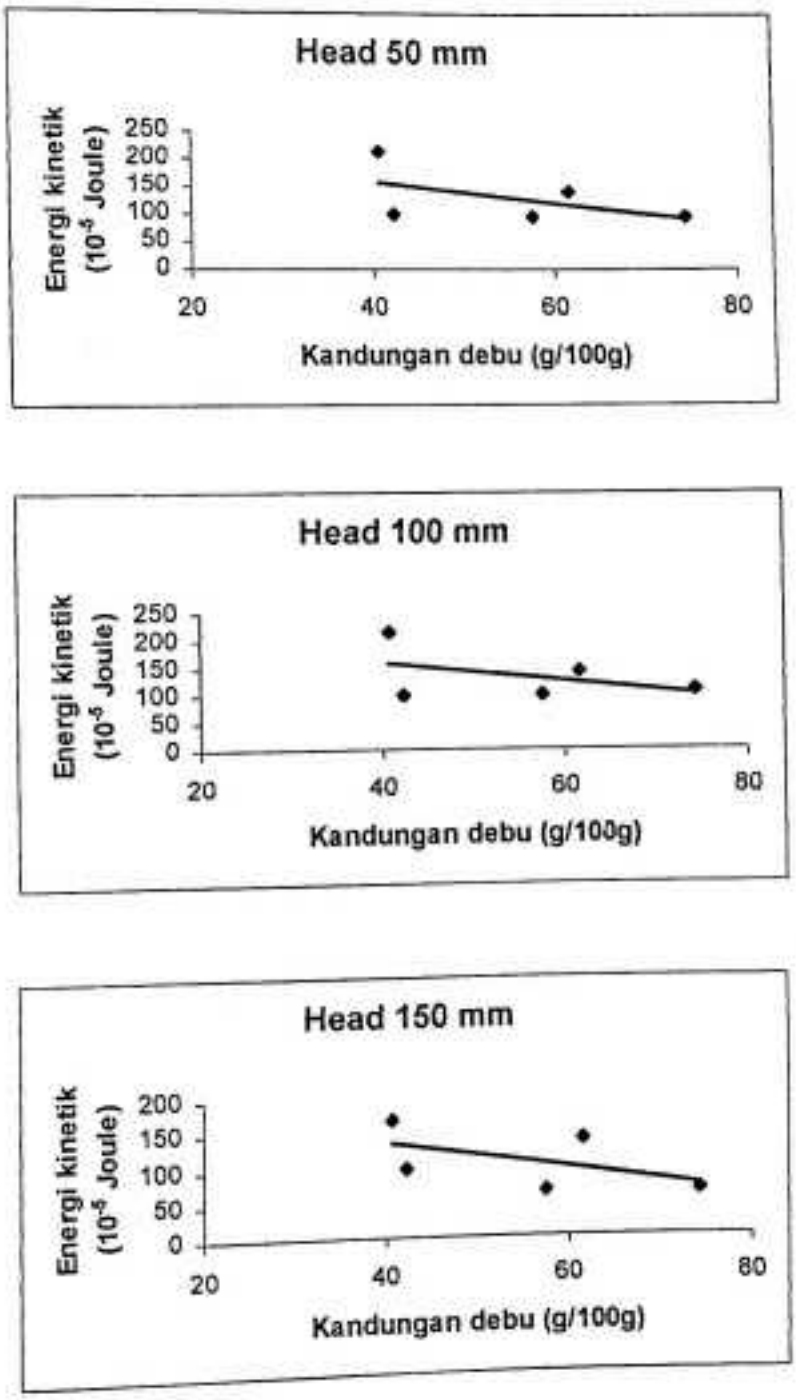
dikutip oleh Islami dan Utomo (1995) bahwa bahan mineral liat dapat berfungsi sebagai pengikat karena ia diabsorpsi pada permukaan butiran pasir dan liat dapat meningkatkan kapasitas memegang air dan pertukaran aktion, juga sebagai pengikat atau penyemen agregat tanah dalam pross agregasi. Keadaan demikian ini membuat tanah menjadi stabil dan agregat lebih tahan terhadap dispersi.

Namun pada tinggi head 100 mm memperlihatkan semakin tinggi kandungan liat energi kinetik yang dibutuhkan untuk memecahkan agregat semakin rendah, ini berbeda dengan tinggi head 50 mm dan 150 mm. Hal ini mungkin disebabkan tinggi jatuh butir air sangat rendah sehingga energi yang dimiliki untuk memecahkan agregat juga sangat rendah, kecilnya energi mengakibatkan perbedaan head yang berbeda sulit terbaca.

4.3.2. Kandungan debu

Hubungan energi kinetik dan kandungan debu pada tinggi head 50, 100 dan 150 mm diperlihatkan secara grafis pada Gambar 3. Keeratan hubungan keduanya cenderung mengikuti fungsi linear. Semakin tinggi kandungan debu, energi kinetik yang dibutuhkan untuk memecahkan agregat tanah semakin kecil. Ini terjadi karena fraksi debu yang memiliki sifat fisik licin dan halus, tidak kohesif, sehingga keberadaannya sebagai partikel yang mengisi pori diantara partikel liat dan pasir tidak membantu memperkuat aagregasi. Bryan (1986) yang dikutip oleh Arsyad (1989) dan Gusli (1989) menyimpulkan tanah yang paling peka terhadap erosi dan penghancuran oleh air adalah yang bertekstur debu dan pasir sangat halus.

Tanah dengan kandungan debu tinggi mempunyai erodibilitas tinggi. Namun, Morgan (1979), tanah dengan kandungan bahan organik < 2% umumnya peka terhadap erosi.

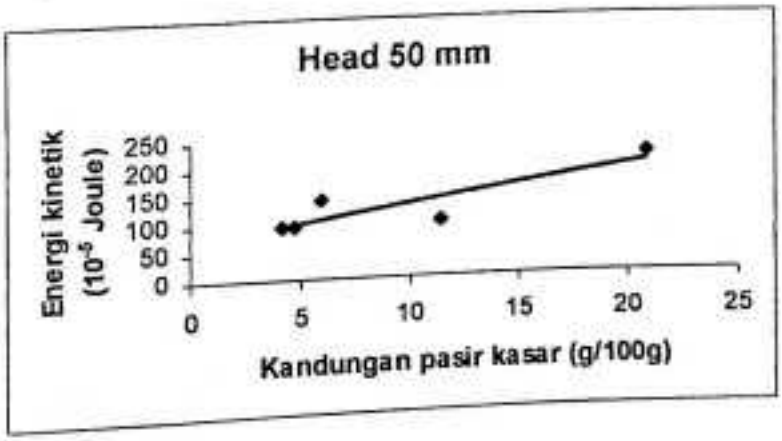


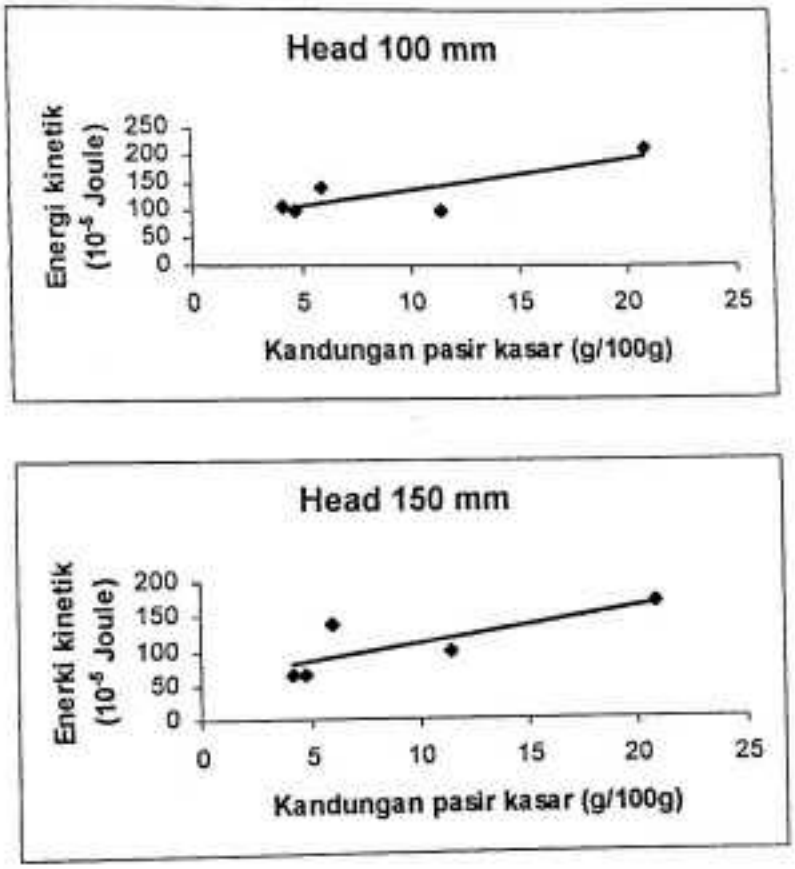
Gambar 3. Hubungan kandungan debu dengan energi kinetik yang dibutuhkan untuk memecahkan agregat tanah pada masing-masing tinggi head.

4.3.3. Kandungan pasir

Hubungan energi kinetik dan kandungan pasir pada tinggi head 50,100, dan 150 mm diperlihatkan secara grafis pada Gambar 4. Keeratan hubungan keduanya juga cenderung mengikuti fungsi linear. Namun, berlawanan dengan yang diterapkan, energi kinetik yang dibutuhkan untuk memecahkan agregat meningkat dengan bertambahnya kandungan pasir kasar. Hal ini tidak sesuai dengan realita bahwa tanah dengan kandungan pasir kasar tinggi memiliki stabilitas agregat yang rendah. Pasir kasar tidak kohesif. Namun, perlu diingat bahwa, partikel pasir kasar dapat berfungsi sebagai rangka (skeleton) dari agregat. Jika kandungan liat dan bahan organik cukup, maka bisa terjadi bahan kandungan pasir kasar yang tinggi (sampai sekitar 20 %) lihat Gambar 4 membantu stabilitas agregat.

Model yang menarik dari bentuk ikatan yang mampu membentuk agregat tanah dijelaskan oleh Emerson (1959) dalam Hillel D (1998), bahwa model Emerson ini terdiri dari partikel-partikel pasir dan partikel kuarsa ukuran debu dan domain dari letak lempung yang diikat oleh gaya-gaya elektrostatis. Stabilitas agregat akan ditingkatkan oleh ikatan-ikatan polimer organik antara partikel-partikek kuarsa dan muka atau pinggir kristal-kristal lempung.

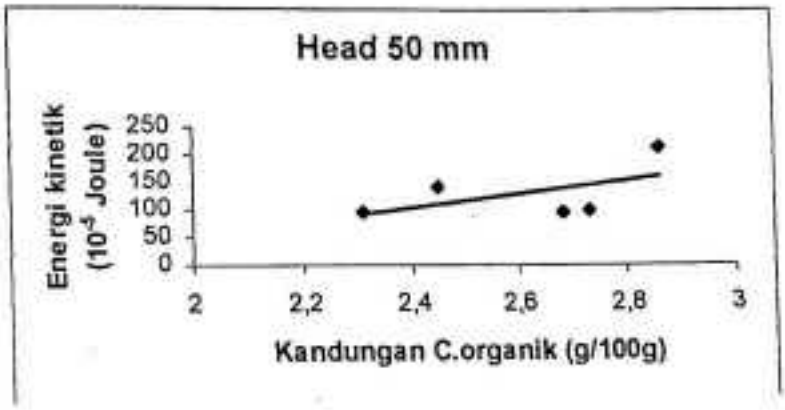


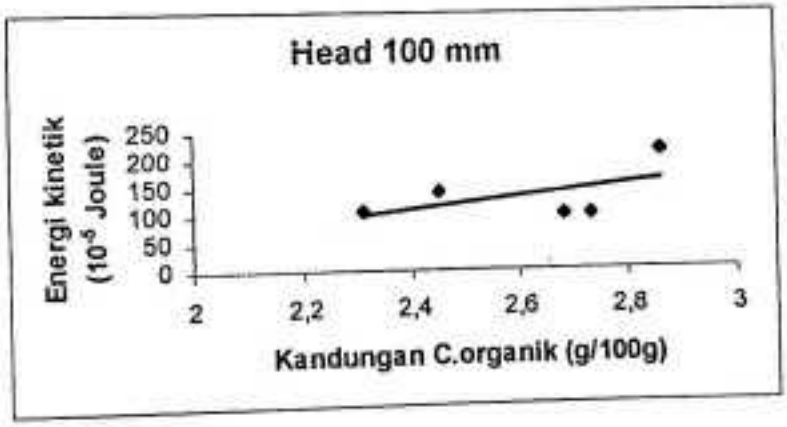


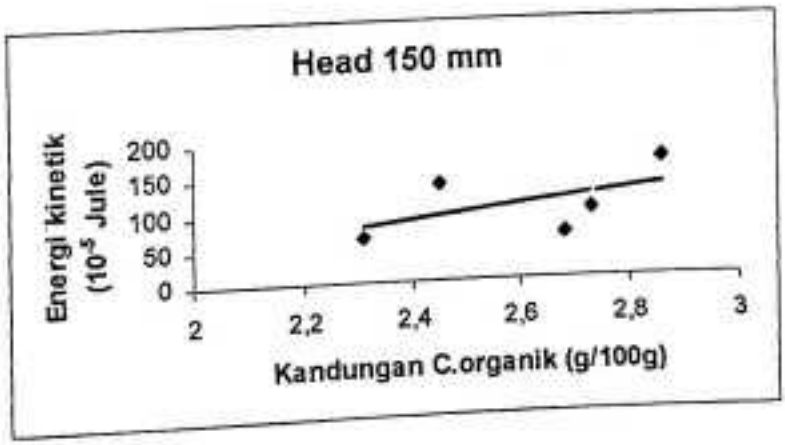
Gambar 4. Hubungan kandungan pasir kasar dengan energi kinetik yang dibutuhkan untuk memecahkan agregat tanah pada masing-masing tinggi head.

4.2.4. Kandungan C.organik

Hubungan antara energi kinetik dan kandungan C.organik pada tinggi head 50, 100 dan 150 mm diperlihatkan secara grafis pada Gambar 5. Keeratan hubungan keduanya cenderung mengikuti fungsi linear. Data pada Gambar 5 memperlihatkan bahwa, semakin tinggi kandungan C.organik, energi kinetik yang dibutuhkan untuk memecahkan agregat juga semakin tinggi, baik pada head 50, 100 maupun 150 mm. White (1979) dan Elwell (1986) menyatakan bahwa, bahan organik sangat efektif menyusun dan memantapkan agregat. Produk-produk organik mampu merangsang stabilitas agregat dengan mengurangi kemampuan menjadi basah dan mengembang (Hillel, 1998).







Gambar 5. Hubungan kandungan C.organik dengan energi kinetik yang dibutuhkan untuk memecahkan agregat tanah pada masing-masing tinggi head.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa, butir air berdiameter 5,1 mm dijatuhkan pada ketinggian 75 mm (Ek = $5{,}03.10^{-5}$ J) mempunyai kemampuan yang cukup untuk mendiferensiasi ketahanan agregat dari tanah yang berbeda terhadap daya rusak energi kinetik butir tunggal. Pada energi kinetik yang rendah ini, meningkatnya fluks energi kinetik menyebabkan jumlah butir yang diperlukan untuk menghancurkan agregat menurun. Pada tinggi head 50 mm (fluks energi kinetik 0,045 Joule/jam), jumlah drop yang dibutuhkan untuk memecahkan agregat bervariasi dari 19 (Inceptisol Mappakasunggu) sampai 43 (Alfisol Mandale). Pada head 150 mm (fluks energi kinetik 0,12 Joule/jam), jumlah drop yang dibutuhkan untuk memecahkan agregat dari 12,7 (Alfisol Polongbangkeng) sampai 33,7 (Alfisol Mandale). Tanah Alfisol Madale adalah yang paling tahan terhadap daya hancur butir air, sedangkan Inceptisol Mappakasunggu adalah yang paling lemah.

5.2. Saran

Energi kinetik butir tunggal ($5{,}03.10^{-5}$ J) dapat diterapkan untuk digunakan dalam pengujian stabilitas agregat tanah di laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

Arsyad, S., 1989. *Konservasi Tanah dan Air*. Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Baver, L.D. ; W.H. Gardner and W.R. Gardner, 1972. *Soil Physics*. John Willey, New York.

Bouwer, H., 1968. Intake RAte : Cylinder Infiltrometer In : Klute *et al.* (eds) *Methods of Soil Analysis*. Part 1, 2 nd edition, Agronomy No.9, American Society of Agronomy, Madison USA. P : 825-844.

Bruce-Okine, G. and R. Lal, 1957. Soil *Erodibility As Determined By Rain Drop Technique*. Soil Sci. 119: 149-157.

Bryan, R.B., 1968. *The Development, Use and Efeciency of Indices of Soil Erodibility*. Geoderma 2: 5-26.

Elwell, H.A., 1994. *Determination of Erodibility of Subtopical Clay Soil*: A Laboratory rainfall simulator experiment. J.Soil Sci. 37: 345-350.

Emerson, W.W., 1994. *Agregate Slaking and Dispersion Class, Bulk Properties of Soil*. Aust. J.Soil. Res. 32: 173-184.

Emerson, W.W., 1997. *Physical Properties and Structure*. In J.S. Russel and E.C. Greacon (eds), Soil Factors in Crop Production in a Semi Arid Environment. Univ. of Queensland.

Evans, R., 1980. *Mechanics of Water Erosion and their Spatial and Temporal Controls; An Empirical viewpoint*. In: M.J. Kirkby and R.P.C. Morgan (eds). Soil Erosion. John Willey.p : 109-137.

Foth, H.D., 1991. Dasar-Dasar Ilmu Tanah. (Terjemahan E.D. Purbayanti, D.R, Lukiwati dan R. Trimulatsih). Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Ghildyal,B.P. dan R.P. Tripathi, 1987. *Soil Physics*. John Wiley, New York.

Gusli, S., 1989. *Structural Collapse and Strength of Some Australian Soils in Relation to Hardsetting Behaviour*. Master of Rural Science Thesis, The University of New England, Artmidale, Australia.

Gusli, S., 1995a *Penuntun Praktikum Fisika Tanah.* Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian dan Kehutanan Universitas Hasanuddin, Makassar.

Gusli, S., 1995b. *Effect of Methods of Wetting and Rainfall Characteristics on Crusting and Hardsitting of A Red-Brown Earth.* Ph.D. Thesis, The Univ. of Adelaide, Adelaide.

Gusli, S., 1995c. *Effect of Rainfall Kinetic Energy Flux Density on Infiltration.* Department of Soil Science, The Univ. of Adelaide, Adelaide.

Gusli, S., 1996. Pengelolaan Struktur Tanah: Elemen Kunci bagi produktivitas lahan kering. Makalah disampaikan pada seminar "Pengembangan pertanian lahan kering di Moramo Universitas Haluleo, Kendari. 10 -15 Juli 1995.

Hakim, N., M.Y. Nyakpa, A.M. Lubis, S.G. Nugroho, M.R. Saul, M.A. Diha, G.B. Hong dan H.H. Bailey, 1986. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*, Universitas Lampung, Lampung.

Hardjowigeno, S., 1993. *Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis.* Akademika Pressindo, Jakarta.

Hignett, C.T., S. Gusli, A. Cass, and W. Bezs, 1995. An Automated laboratory rainfall simulation system with controlled rainfall intensity, raindrop energy and soil drainage. *Soil Technology* 8: 31-42.

Hillel, D., 1998. *Pengantar Fisika Tanah.* Mitra Gama Widya, Universitas Sriwijaya, Palembang.

Hudson, N.W., 1963. *Raindrop Size Distribution in High Intensity Storms.* Rhod J. Agric. Res. 1: 6-11.

Islami, T dan W.H. Utomo., 1995. *Hubungan Tanah, Air dan Tanaman.* IKIP Semarang Press, Semarang.

Kohnke, H. and A.R. Bertrand, 1959. *Soil Conservation.* McGraw-Hill, New York.

Laus, J.O., 1941. *Measurement of the Fall Velocities of Water Drops and Raindrops.* Trans. Amer. Geophys, Union 22: 709-721.

Lee, R., 1990. *Hidrologi Hutan.* Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Marshall. T.J., and J.W., Holmes., 1979. *Soil Physics.* 2 nd ed. Cambridge Univ. Press, London.

Morgan, R.P.C., 1998. *Soil Erosion and Conservation*. 1st edition. D.A. Davidson (ed). English Long B.S. Longman, London.

Munir,1995. *Tanah-Tanah Utama di Indonesia*. Pustaka Jaya, Jakarta.

Quirk, J.P., 1978. *Some Physica Chemical Aspects of Soil Structural and Stability*. In : W.W. Emerson *et al*. (eds) Modification of Soil Structure. John Willey, New York, p: 3-5.

Sanchez Pedro, A., 1992. *Sifat dan Pengelolaan Tanah Tropika*. 1st, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Santoso, B., 1994. *Pelestarian Sumberdaya Alam dan Lingkungan Hidup*. IKIP Malang, Malang.

Sarief, S., 1989. *Fisika-Kimia Tanah Pertanian*. Pustaka Buana, Bandung.

Seta. A.K., 1991. *Konservasi Sumberdaya Tanah dan Air*. Kalam Mulia, Bengkulu.

Seyhan, E., 1990. *Dasar-Dasar Hidrologi*. Gadjah Mada Univ. Press, Yogyakarta.

Soemarto, C.D., 1995. *Hidrologi Teknik*. Erlangga, Jakarta.

Thompson, A.L. and L.G. James., 1985. *Water Droplet Impact and its Effect on Infiltration*. Trans. Amer. Soc. Agric. Eng.

Utomo, W.H., 1989. *Konsevasi Tanah di Indonesia*. Universitas Brawijaya, Malang.

White, R.E., 1979. *Introduction the Principles and Practice of Soil Science*. Blackwell Scientific Publications : Oxford, England.

Wischmeier, W.H and J.V. Mannering., 1969. *Relation of Soil Properties to its Erodibility*. Soil Sci. Soc. Ameri. Proc. 23: 131-137.

LAMPIRAN

Tabel Lampiran 2. Hasil Analisa Sifat Fisik dan Kimia Tanah yang Diteliti.

Sifat Fisik dan Kimia Tanah	Jenis Tanah					Metode
	Vertisol Bangkala	Alfisol P.Bangkeng	Alfisol Mandale	Inceptisol Mappakasunggu	Inceptisol Marioriwawo	
Sifat Fisik Tanah						
Distribusi Ukuran Partikel						
Pasir (g/100 g)	17,25	11,97	31,06	12,91	20,72	*Pipet*
- Pasir sangat kasar (1.00-2,00 mm)	0,31	0,77	1,94	0,23	1,99	
- Pasir kasar (0,50-1,00 mm)	11,42	4,74	20,85	4,17	5,99	
- Pasir sedang (0,25-0,50 mm)	2,15	1,21	3,13	1,83	3,58	
- Pasir halus (0,10-0,25 mm)	1,1	2,11	2,11	2,11	3,76	
- Pasir sangat halus (0,05-0,10 mm)	2,27	3,14	3,03	4,57	5,4	
Debu (g/100 g)	42,2	57,6	40,52	74,23	61,64	
Liat (g/100 g)	40,52	30,40	28,36	12,85	17,61	
Tekstur	Liat Berdebu	Lempung Liat Berdebu	Lempung Berliat	Lempung Berdebu	Lempung Berdebu	
Bulk Density lapangan (g/cm^3)	1,11	1,15	1,20	1,38	1,34	*Core*
Stabilitas Agregat						
DR	0,25	0,22	0,25	0,54	0,30	*Dispersion Ratio*
Kelas	2	2	2	1	1	*Emersons Test*
Sifat Kimia Tanah						
C.Organik (g/100 g)	2,73	2,68	2,86	2,31	2,45	*Walkley & Black*
Na.dd (meq/100 g)	0,31	0,281	0,293	0,492	0,34	*Amonium Asetat*

Tinggi Head (cm)	Jenis Tanah									
	Vertisol Bangkala		Alfisol Polongbangkeng		Alfisol Mandale		Inceptisol Mappakasunggu		Inceptisol Mario-iwawo	
	Jumlah Drop	Energi Kinetik 10^{-5} Joule	Jumlah Drop	Energi Kinetik 10^{-5} Joule	Jumlah Drop	Energi Kinetik 10^{-5} Joule	Jumlah Drop	Energi Kinetik 10^{-5} Joule	Jumlah Drop	Energi Kinetik 10^{-5} Joule
50	25	125,75	14	70,42	17	85,51	11	55,33	21	105,63
	30	150,9	14	70,42	43	216,29	24	120,72	13	65,39
	12	60,36	21	105,63	45	226,35	36	181,08	39	196,17
	17	85,51	17	85,51	68	342,04	17	85,51	58	291,74
	11	55,33	9	45,27	13	65,39	9	45,27	26	130,78
	38	191,14	26	130,78	28	140,84	17	85,51	11	55,33
	11	55,33	25	125,75	53	266,59	23	115,69	31	155,93
	13	65,39	18	90,54	37	186,11	15	75,45	20	100,6
	27	135,81	20	100,6	90	452,7	23	115,69	23	115,69
	14	70,42	27	135,81	36	181,08	15	75,45	39	196,17
Rata-Rata	**19,8**	**99,594**	**19,1**	**96,073**	**43**	**216,29**	**19**	**95,57**	**28,1**	**141,343**
100	27	135,81	15	75,45	58	291,74	30	150,9	38	191,14
	34	171,02	17	85,51	63	316,89	14	70,42	20	100,6
	16	80,48	24	120,72	27	135,81	25	125,75	27	135,81
	27	135,81	22	110,66	29	145,87	14	70,42	17	85,51
	17	85,51	30	150,9	37	186,11	17	85,51	27	135,81
	14	70,42	18	90,54	33	165,99	17	85,51	20	100,6
	19	95,57	21	105,63	40	201,2	36	181,08	25	125,75
	22	110,66	19	95,57	43	216,29	26	130,78	26	130,78
	13	65,39	20	100,6	51	256,53	15	75,45	39	196,17
	12	60,36	15	75,45	47	236,41	17	85,51	43	216,29
Rata-Rata	**20,1**	**101,103**	**20,1**	**101,103**	**42,8**	**215,284**	**21,1**	**106,133**	**28,2**	**141,846**
150	21	105,63	10	50,3	31	155,93	13	65,39	20	100,6
	30	150,9	11	55,33	45	226,35	16	80,48	30	150,9
	23	115,69	10	50,3	19	95,57	12	60,36	33	165,99
	21	105,63	15	75,45	44	221,32	23	115,69	19	95,57
	7	35,21	14	70,42	21	105,63	8	40,24	32	160,96
	31	155,93	10	50,3	27	135,81	11	55,33	37	186,11
	5	25,15	12	60,36	35	176,05	18	90,54	32	160,96
	12	60,36	13	65,39	61	306,83	8	40,24	23	115,69
	30	150,9	12	60,36	20	100,6	14	70,42	23	115,69
	16	80,48	20	100,6	34	171,02	8	40,24	27	135,81
Rata-Rata	**19,6**	**98,588**	**12,7**	**63,881**	**33,7**	**169,511**	**13,1**	**65,893**	**27,6**	**138,828**

Tabel Lampiran 4. Hasil Pengamatan Jumlah Drop yang Dibutuhkan Untuk Memecahkan Agregat pada Setiap Jenis Tanah dengan Tinggi Jatuh 75 mm dan Diamater Butir 5,1 mm

Tinggi Head (cm)	Jumlah Drop				
	Vertisol Bangkala	Alfisol Polongbangkeng	Alfisol Mandale	Inceptisol Mappakasunggu	Inceptisol Marioriwawo
50	25	14	17	11	21
	30	14	43	24	13
	12	21	45	36	39
	17	17	68	17	58
	11	9	13	9	26
	38	26	28	17	11
	11	25	53	23	31
	13	18	37	15	20
	27	20	90	23	23
	14	27	36	15	39
Rata-Rata	**19,8**	**19,1**	**43**	**19**	**28,1**
100	27	15	58	30	38
	34	17	63	14	20
	16	24	27	25	27
	27	22	29	14	17
	17	30	37	17	27
	14	18	33	17	20
	19	21	40	36	25
	22	19	43	26	26
	13	20	51	15	39
	12	15	47	17	43
Rata-Rata	**20,1**	**20,1**	**42,8**	**21,1**	**28,2**
150	21	10	31	13	20
	30	11	45	16	30
	23	10	19	12	33
	21	15	44	23	19
	7	14	21	8	32
	31	10	27	11	37
	5	12	35	18	32
	12	13	61	8	23
	30	12	20	14	23
	16	20	34	8	27
Rata-Rata	**19,6**	**12,7**	**33,7**	**13,1**	**27,6**