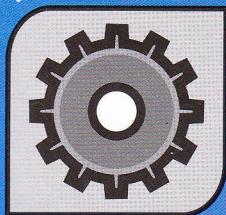


ISSN 1693 - 2900
NO. 140/Akred-LIPI/P2MBI/03/2009

Jurnal



Enjiniring Pertanian

Journal of Agricultural Engineering

Volume IX, Nomor : 1 April 2011

JEP	Vol. IX	No. 1	Hal. 1 - 56	Serpong Tahun 2011	ISSN 1693-2900
-----	---------	-------	-------------	-----------------------	-------------------



KEMENTERIAN PERTANIAN

Ministry of Agriculture

BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PERTANIAN

Indonesian Agency for Agricultural Research and Development (IAARD)

BALAI BESAR PENGEMBANGAN MEKANISASI PERTANIAN

Indonesian Center for Agricultural Engineering Research and Development (ICAERD)

Serpong-Indonesia

JURNAL ENGINERING PERTANIAN (JEP) memuat hasil penelitian dan perekayasaan di bidang :

1. Alat dan Mesin Pertanian;
2. Teknik Tanah dan Air untuk Pertanian;
3. Energi dan Lingkungan Pertanian;
4. Teknik Pasca Panen dan Pengolahan Hasil Pertanian, dan
5. Sistem Manajemen Keteknikan Pertanian.

Pada edisi kali ini JEP memuat enam judul penelitian/perekayasaan, yang terdiri dari : satu judul dari aspek alat dan mesin pertanian (Kajian Pemilihan Alternatif Penyirangan Gulma Padi Sawah); dua judul dari aspek teknik tanah dan air untuk pertanian (Analisis Kebutuhan Pompa Irigasi untuk Usahatani Jagung: Studi Kasus di Kabupaten Kediri dan Analisis Distribusi Suhu dalam Bangunan Greenhouse Berventilasi Ganda); satu judul dari aspek energi dan lingkungan (Menurunkan Draft Tanah dan Energi pada Operasi Membajak Tanah dengan Getaran Paksa Berenergi Rendah pada Pegas Elastis); dan dua judul dari aspek teknik pasca panen dan pengolahan hasil pertanian (Pengaruh Pelapisan Lilin dan Pembungkusan Plastik pada Karakteristik Fisiko-Kimia dan Umur Simpan Buah Salak Pondoh dan Penentuan Beban Kerja dan Konsumsi Oksigen pada Pengoperasian Alat Pengupas Kulit Ari Kedelai Orbas).

Redaksi masih menantikan partisipasi para peneliti dan perekayasa untuk menyumbangkan tulisan hasil penelitian/perekayasaan primer dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris, yang belum pernah dimuat dalam media publikasi lain.

Selamat membaca dan semoga bermanfaat.

Tim Penyunting

Tim Redaksi

Pengarah (Adviser)

: Kepala Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian
(Director of Indonesian Center for Agricultural Engineering Research and Development, ICAERD)

Tim Penyunting (Editoring Board)

1. Dr. Raffi Paramawati (Teknologi Pangan/Food Technology)
2. Ir. Koes Sulistiadji, MS. (Keteknikan Pertanian/Agricultural Engineering)
3. Ir. Supriyanto, M.Si. (Teknologi Pasca Panen/Post Harvest Technology)
4. Ir. V. Rino Hermawanto, MS. (Budidaya Petanian/Agronomist)
5. Dr. Suparlan, M.Agr. (Teknik Pengolahan Hasil Pertanian/Agricultural Process Engineering)
6. Dr. Abi Prabowo, MS. (Teknik Tanah dan Air/Soil and Water Engineering)
7. Dr. Teguh Wikan Widodo, M.Sc. (Energi dan Lingkungan Pertanian/Energy and Agricultural Enviroment);

Mitra Bestari (Referee)

1. Prof. Dr. Ir. Rizal Syarief, DESS. (Teknologi Pasca Panen/Post Harvest Technology)
2. Prof. Dr. Bambang Prastowo (Keteknikan Pertanian/Agricultural Engineering)
3. Dr. Handaka, M.Eng. (Sistem Manajemen Mekanisasi Pertanian/Agricultural System and Technology Management)
4. Dr. Ir. Trip Alihamsyah, M.Sc. (Teknik Tanah dan Air/Soil and Water Engineering)

Redaksi Pelaksana (Managing Editor)

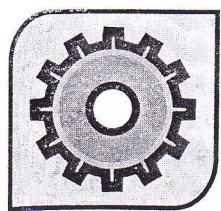
1. Ir. Cicik Sriyanto
2. Ir. Prasetyo Nugroho
3. Ir. Agung Santosa
4. Tri Saksono, SP.
5. Sri Utami, SE.

Alamat (Address)

: Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian (ICEARD)
Po Box 2, Serpong 15310, Tangerang, Banten-Indonesia
Telepon (Telephone) : (+62) 5376580, 5376787, 70936787
Fax (Fax) : (+62) 5376784, 70936784
Website (Home Page) : <http://www.mekanisasi.litbang.deptan.go.id>
E-mail : bbpmektan.litbang.deptan.go.id
bbpmektan@yahoo.co.id

Diterbitkan secara teratur dua volume setiap tahunnya pada bulan April dan Oktober oleh Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Isi dari JEP dapat dikutip dengan menverbutkan sumbernya.

Jurnal



Enjiniring Pertanian

Journal of Agricultural Engineering

Volume IX, Nomor: 1, April 2011

ISSN 1693 - 2900

NO. 140/Akred-LIPI/P2MBI/03/2009



KEMENTERIAN PERTANIAN

Ministry of Agriculture

BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PERTANIAN

Indonesian Agency for Agricultural Research and Development (IAARD)

BALAI BESAR PENGEMBANGAN MEKANISASI PERTANIAN

Indonesian Center for Agricultural Engineering Research and Development (ICAERD)

Serpong-Indonesia

Daftar Isi Contents

Jurnal Enjiniring Pertanian
Journal of Agricultural Engineering

Volume IX, Nomor: 1, April 2011

- Kajian Pemilihan Alternatif Penyangan Gulma Padi Sawah
(*Study on Selection of Weeding Activities Alternatives in Wetland Paddy Field*)
Novi Sulistyosari, M. Faiz Syuaib, dan Sam Herodian 1 - 10

- Analisis Kebutuhan Pompa Irigasi untuk Usahatani Jagung: Studi Kasus di Kabupaten Kediri.
(*Analysis of Irrigation Pump Requirements for Maize Farming: Case Study in Kediri, East Java*)
Agung Prabowo, Sigit Supadmo Arif, Lilik Sutiarsa, dan Bambang Purwantana 11 - 20

- Analisis Distribusi Suhu dalam Bangunan Greenhouse Berventilasi Ganda
(*Thermal Distribution in a Tunnel Greenhouse by Coupling Ventilation*)
Sri Mudiastuti, Kudang Boro Seminar, Armansyah H. Tambunan, Suryono Suryokusumo, dan Rizka Avianti 21 - 30

- Menurunkan Draft Tanah dan Energi pada Operasi Membajak Tanah dengan Getaran Paksa Berenergi Rendah pada Pegas Elastis
(*Draft Force and Energy Reduction During Tillage Operation by Low Energy Force Vibration Method on An Elastic Spring*)
Soeharsono, Radite P.A. Setiawan, Tineke Mandang, Wawan Hermawan, dan Asep Sapei 31 - 42

- Pengaruh Pelapisan Lilin dan Pembungkusan Plastik pada Karakteristik Fisiko-Kimia dan Umur Simpan Buah Salak Pondoh
(*Effect of Wax Coated and Plastic Wrapping on Physico-Chemical Characteristics and the Shelflife of Sallaca-Pondoh*)
Dedy A. Nasution, Ana Nurhasanah, Reni Y. Gultom, dan Mulyani 43 - 48

- Penentuan Beban Kerja dan Konsumsi Oksigen pada Pengoperasian Alat Pengupas Kulit Ari Kedelai Orbapas.
(*Determining the Work Load and Oxygen Consumption in Operation Soybean Dehuller Orbapas*)
Gatot S.A.Fatah, Palipi Aryanti, Wahyunanto A. Nugroho, dan La C. Hawa 49 - 56



**MENURUNKAN DRAFT TANAH DAN ENERGI PADA OPERASI MEMBAJAK TANAH DENGAN
GETARAN PAKSA BERENERGI RENDAH PADA PEGAS ELASTIS
(DRAFT FORCE AND ENERGY REDUCTION DURING TILLAGE OPERATION BY LOW ENERGY
FORCE VIBRATION METHOD ON AN ELASTIC SPRING)**

Soeharsono^{1,2)}, Radite P.A. Setiawan³⁾, Tineke Mandang³⁾, Wawan Hermawan³⁾ dan Asep Sapei⁴⁾

¹⁾Mahasiswa Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor.

²⁾Staf Pengajar Departemen Teknik Mesin, Universitas Trisakti, Jakarta.

Email: gatotsoeharsono@yahoo.com

³⁾Departmen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

⁴⁾Departmen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor.

Diterima : 19 Januari 2011; Disetujui : 8 April 2011

ABSTRAK

Penggetaran paksa berenergi rendah pada pegas elastis guna menurunkan *draft* tanah dan energi selama membajak tanah telah dikembangkan dan diuji secara eksperimental. Pengujian dilakukan di dalam *soil bin* berukuran panjang 1,2 m, lebar 0,3 m dan dalam 0,4 m. Eksperimen menggunakan tanah jenis *clay loam* dan dikondisikan sehingga mendekati kondisi lapang di mana lapisan *hardpan* dibuat setebal sekitar 15 cm dengan tahanan penetrasi sekitar 2,75 MPa. Kedalaman operasi diatur sekitar 17 cm sedangkan tebal lapisan *hardpan* yang dibongkar adalah sekitar 10 cm. Digunakan *tillage tool* jenis *chisel* dengan kemiringan *shank* sebesar 35° dan sudut potong sebesar 30°. *Chisel* dihubungkan dengan *fixed structure* oleh sebuah pegas elastis berbentuk semi eliptis. Pada pegas dipasang sebuah motor listrik dengan bobot 9,7 kg. Sebagai penggetar digunakan massa takimbang dengan bobot 0,24-0,35 kg yang dipasang pada motor listrik pada radius 6,5 cm. Kecepatan membajak divariasikan yaitu dari kecepatan 0,158; 0,212 dan 0,265 m/s. Hasil-hasil eksperimen menunjukkan bahwa metode penggetaran ini berhasil menurunkan *draft* tanah sebesar 7,3-38,3 % dan penurunan daya sebesar 4,8-14,4% dibandingkan dengan eksperimen tanpa penggetaran.

Kata kunci: *Draft* tanah, getaran paksa berenergi rendah, pegas elastis, massa takimbang

ABSTRACT

Draft force and energy reduction during tillage operation by low energy force vibration method on an elastic spring has been developed and tested experimentally. The experiments were conducted in soil bin, 1.2 m long, 0.3 wide and 0.4 m depth and soil that used in this experiment was clay loam soil; the thickness of hardpan in soil bin was 15 cm with penetration resistance of 2.75 MPa. The depth of operation was 17 cm while the thickness of the hardpan to be tilled was 10 cm. Chisel with incline angle of shank about 35° and lift angle of about 30° was used as tillage tool. A new model of elastic spring having shape of semi elliptic was used to connect the tillage tool to a fixed structure. An electric motor 9.7 kg of mass was installing to the elastic spring. The vibration of tillage tool was caused by rotating unbalanced mass that was installed in the electric motor. The mass of unbalance mass was 0.24-0.35 kg and the eccentricity was 6.5 cm. The tillage speed was 0.158, 0.212 and 0.265 m/s. Comparing to non vibratory tillage, reduction of average draft force about 7.3-38.3 % and energy reduction about 4.8-14.4% were found.

Key words: *Draft* force, low energy-force vibration, elastic spring and rotating unbalance mass

PENDAHULUAN

Lapisan tanah padat dengan tahanan penetrasi tanah di atas 300 psi dan densitas tanah di atas 1,8 g/cm³ sulit ditembus oleh akar tanaman, menghambat penetrasi air dan nutrisi serta menghambat sirkulasi udara di dalam

tanah. Hal ini akan menghambat pertumbuhan tanaman serta menurunkan produktivitas hasil tanaman (Soil Quality Institute, 2003). Untuk membongkar lapisan padat demikian diperlukan gaya dan konsumsi energi yang besar. Besarnya *draft* tanah ini digunakan untuk mengatasi gesekan antara tanah dengan *tillage*

tool, mengatasi gesekan antar tanah, mengatasi percepatan tanah bongkaran di depan *tillage tool* serta karena adanya kelengketan antara tanah dengan *tillage tool* (Gill dan Van den Berg 1968).

Kondisi ini tidak menguntungkan sehingga gaya dan konsumsi energi tersebut harus diturunkan. Penggetaran secara paksa dengan cara memberikan energi mekanis secara langsung ke batang bajak telah banyak diteliti dan berhasil menurunkan *draft* tanah secara signifikan. Sayangnya, penggetaran batang bajak ini memerlukan energi secara berlebihan (Bandaran et.al. 1999, Butson et. al. 1981, Niyamapa et.al. 2000, Yow dan Smith, 1976). Penurunan *draft* ini terjadi bilamana rasio kecepatannya (perbandingan antara kecepatan getar maksimum dari batang bajak dengan kecepatan maju traktor) lebih besar dari satu, yaitu dengan cara membuat kombinasi antara amplitudo dan frekuensi getar dari batang bajak.

Parameter utama yang berpengaruh terhadap turunnya *draft* tanah pada fenomena ini adalah:

- Tumbukan antara pisau bajak dengan tanah pada kecepatan tinggi mengakibatkan terjadi retakan dan kehancuran tanah padat di depan pisau bajak. Ini terjadi bilamana batang bajak diosilasikan dengan *amplitude* getar yang relatif besar pada frekuensi getar yang relatif rendah.
- Penggetaran dengan frekuensi getar tinggi pada *amplitude* getar rendah mengakibatkan hancurnya tanah di depan pisau bajak sehingga gesekan antara pisau bajak dengan tanah, serta kohesi di dalam tanah menjadi rendah. Fenomena ini mengakibatkan turunnya tahanan tanah.
- Penggetaran dengan frekuensi getar tinggi pada *amplitude* getar rendah megakibatkan kelengketan antara tanah dengan pisau bajak menjadi turun.
- *Contact ratio* (perbandingan antara waktu selama pisau bajak menyentuh tanah padat dengan waktu satu periode getar batang bajak) yang lebih singkat.

Adapun parameter yang menyebabkan terjadinya kenaikan penggunaan energi pada fenomena ini adalah:

- Tingginya energi yang diperlukan untuk menggerakkan inersia dari batang bajak beserta mekanismenya.
- Perlu tambahan energi guna mengatasi gaya vertikal yang diberikan oleh pisau bajak ke pada tanah.

Szabo et.al. (1998) melaporkan turunnya *draft* tanah pada *vibrating bulldozer* dan *plow blade*. Penggetaran dilakukan dengan cara memberikan energi mekanis secara langsung ke *plow blade*. *Blade* diosilasikan pada frekuensi 10 -70 Hz dengan amplitudo getar rendah yaitu 1 dan 2,5 mm. Rasio kecepatan dibuat tinggi yaitu di atas 17. Tercatat penurunan *draft* tanah yang sangat tinggi yaitu sekitar 70-85% pada frekuensi getar antara 20-70 Hz. Hal ini karena penggetaran dengan frekuensi di atas mengakibatkan kohesi di dalam tanah serta adhesi antara tanah dengan *blade* menurun drastis. Szabo et. al. (1998) tidak melaporkan seberapa tinggi kenaikan energi yang diperlukan.

Wang et.al. (1980) membuat penelitian guna menurunkan adhesi antara tanah dengan pelat logam. Tanah jenis *silt loam* disemprotkan ke pelat logam yang bergetar. Pada frekuensi getar pelat sampai dengan 40 Hz, tanah yang melekat banyaknya sekitar 80 %, pada frekuensi getar pelat 50 Hz tanah yang lengket pada pelat banyaknya sekitar 12 % sedangkan pada frekuensi getar pelat antara 60-100 Hz tidak terjadi pelengketan tanah pada pelat logam sama sekali.

Niyamapa dan Salokhe (2000) melaporkan hasil eksperimen tentang penurunan *draft* tanah pada bajak getar. Penggetaran dilakukan dengan cara memberikan energi mekanis secara langsung ke *tillage tool*. Kecepatan osilasi maksimum dari *tillage tool* dibuat sebesar 2,5 m/s. Pada kecepatan maju traktor 0,34 dan 0,85 m/s, terjadi penurunan *draft* tanah masing-masing sebesar 37 dan 7% sedangkan pemakaian energinya naik masing-masing sebesar 45 dan 41%. Penyebabnya adalah turunnya *effective stress* dari tanah sebagai akibat ditambahkan kecepatan pembebatan yang sangat tinggi.

Radite dan Soeharsono (2010) melaporkan penurunan *draft* dan energi pada penggetaran paksa batang *mole plow* ke arah samping kiri-kanan. Pengujian lapangan dilakukan dengan traktor 4 roda 72 hp pada kedalaman operasi 36-44 cm dengan kecepatan maju 1,61-1,80 km/jam. Dilaporkan bahwa respon frekuensi getar yang efektif adalah pada 7-12 Hz. Pada kisaran frekuensi getar ini penurunan *draft* yang terjadi berkisar antara 18,2-23,6 %, di mana penurunan *draft* terbesar yaitu 23,6% terjadi pada frekuensi getar 9 Hz. Pada kisaran frekuensi getar 7,9 dan 12 Hz juga dilaporkan terjadi penurunan energi, di mana *draft* turun 19,6; 23,6 dan 18,2% sementara kenaikan daya kinetis masing-masing hanya



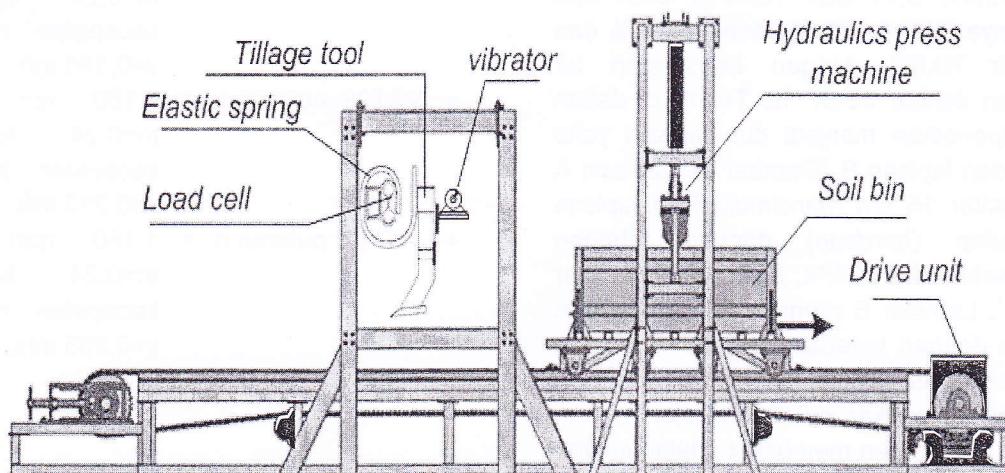
sebesar 2,9; 4,2 dan 6,1%. Sementara frekuensi getar 15 Hz kurang efektif karena penurunan draft hanya 3,1% sedangkan daya kinetis meningkat 10,9%. Dalam artikel ini dibahas metode alternatif guna menurunkan *draft* tanah pada bajak getar tanpa disertai dengan kenaikan energi. Metode tersebut adalah dengan cara penggetaran berenergi rendah kepada pegas elastis yang dipasang pada batang bajak. Sumber getar didapat dari putaran massa takimbang yang diputar oleh sebuah motor listrik 180 Watt yang dipasang pada pegas elastis. Getarannya ditransmisikan ke batang bajak sehingga batang bajak berosilasi dengan *amplitude* getar rendah. Getaran batang bajak ini diharapkan mampu menghancurkan tanah padat di depan pisau bajak sehingga tahanan tanahnya menjadi turun, akibatnya adalah *draft* tanah dan pemakaian energi menjadi turun pula. Tujuan dari penelitian ini adalah mencari pengaruh penggetaran berenergi rendah pada pegas elastis terhadap besar penurunan *draft* tanah serta energi saat operasi membajak.

BAHAN DAN METODE

Peralatan dan Instrumentasi

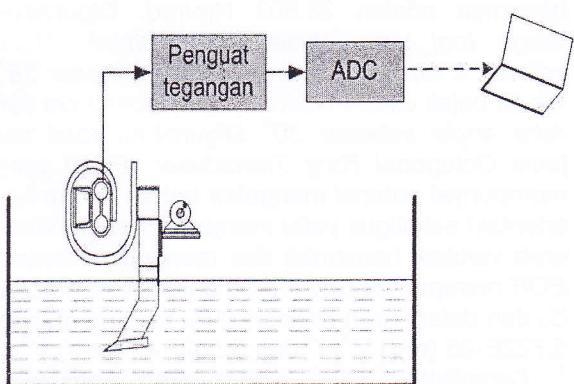
Guna mencari pengaruh penggetaran berenergi rendah pada pegas elastis terhadap *draft* tanah dan kebutuhan energi, dibuat peralatan seperti terlihat pada Gambar 1. Bagian utama dari peralatan ini adalah *soil bin*, pemedat tanah, pegas elastis, *tillage tool*, *load cell* dan penggetar. *Soil bin* berukuran panjang 1,2 m, lebar 0,3 m dan dalam 0,4 m. *Soil bin*

digerakkan oleh sebuah *drive unit* yang terdiri atas motor listrik 5,5 kW, transmisi roda gigi dan rantai penggerak. Motor listrik dikontrol oleh sebuah *inverter* sehingga kecepatan *soil bin* dapat diatur dari 0,1-0,6 m/s. Pemedat tanah menggunakan tenaga hidrolik dan mampu memadatkan tanah sampai dengan tahanan penetrasi 3 Mpa. Pegas elastis mempunyai potensi getar dalam arah vertikal dan horizontal, terbuat dari bahan S55C dan dikeraskan sehingga mempunyai *yield strength* sebesar 550 MPa. Kekakuan pegas dicari dengan menggunakan Software Autodesk Inventor dan besarnya adalah 28.602 Nm/rad. Digunakan *tillage tool* jenis *chisel plow*. *Shank* dibuat setebal 2 cm dengan kemiringan sebesar 35°. Pisau bajak dibuat selebar 8 cm, tebal 3 cm dan *rake angle* sebesar 30°. Digunakan *load cell* jenis Octagonal Ring Transduser (EOR) yang mempunyai potensi mengukur beban dalam tiga orientasi sekaligus yaitu mengukur beban dalam arah vertikal, horizontal dan mengukur momen. EOR mempunyai sensitivitas dalam arah vertikal S_V dan dalam arah horisontal S_H masing-masing $5,722\text{E-}05 \text{ (mV).V}^{-1}\text{N}^{-1}$ dan $5,552\text{E-}05 \text{ (mV).V}^{-1}\text{N}^{-1}$. Sensitivitas EOR dalam arah horisontal-vertikal dan sebaliknya dapat diabaikan. Penggetar terdiri dari motor listrik 180 Watt dan piringan berdiameter 150 mm. Pada piringan dipasang massa takimbang dengan bobot 0,24-0,35 kg pada radius 65 mm. Peralatan pendukung lainnya tetapi tidak ditunjukkan pada gambar adalah penetrometer yang digunakan untuk mengukur tahanan penetrasi tanah (*cone index*) serta stroboscope guna mengukur putaran dari motor listrik.



Gambar 1. Peralatan yang digunakan untuk eksperimen

Instrumentasi guna mengukur *draft* tanah ditunjukkan pada Gambar 2. Guna mengukur gaya, maka pada *load cell* dipasang sensor regangan jenis tahanan listrik yang dirangkai dalam rangkaian jembatan *wheatstone*. Sinyal analog berupa tegangan listrik yang keluar dari *load cell* dibesarkan seribu kali di penguat tegangan selanjutnya diubah menjadi sinyal digital oleh sebuah *Wireless Analog to Digital Converter*. Dengan demikian data yang dicatat di komputer berupa berupa data gaya yang sudah diskrit.



Gambar 2. Instrumentasi guna pengukuran gaya

Deskripsi dan Prosedur Eksperimen

Penelitian dilakukan dari bulan Juni 2010 sampai dengan bulan Januari 2011 di Laboratorium Teknik Mesin dan Budidaya Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian, Bogor. Tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah *clay loam soil* dengan kandungan *clay*, *sand* dan *silt* masing-masing sebesar 83,41; 3,11 dan 13,48%. Sifat fisik tanah lainnya adalah batas plastis 45,51% dan batas cair 70,3% dengan kandungan air dikondisikan sekitar 35-37 %. Tanah di dalam *soil bin* dipadatkan menjadi dua lapisan yaitu lapisan A dan lapisan B (Gambar 4). Lapisan A setebal sekitar 15 cm mensimulasikan lapisan tanah kedap (*hardpan*) dengan tahanan penetrasi sekitar 2,75 MPa, *bulk density* sekitar 1,56 g/cm³. Lapisan B mensimulasikan lapisan tanah atas dengan ketebalan sekitar 7 cm dan tahanan penetrasi sekitar 1,1 MPa. Lapisan kedap yang dibongkar setebal sekitar 10 cm sedangkan kedalaman membajak adalah sekitar 17 cm.

Eksperimen dilakukan dalam dua kondisi yaitu kondisi membajak tanah tanpa pegas elastis (NST) dan kondisi membajak tanah dengan penggetaran pada pegas elastis (VST). Pada kondisi NST, pegas elastis tidak dipasang serta vibrator tidak diputar sehingga tidak ada pengaruh getaran pada batang bajak. Pada kondisi VST, pegas elastis dipasang pada batang bajak sedangkan penggetar dipasang pada pegas elastis. Penggetar berbobot 9,7 kg terdiri atas sebuah motor listrik (180 Watt), dua buah piringan silindris berdiameter 150 mm serta massa takimbang 0,24-0,35 kg. Detail dari setup eksperimen ditunjukkan pada Gambar 3. Sesuai dengan kecepatan membajak (*v*), kondisi NST dibagi lagi menjadi tiga perlakuan yaitu perlakuan NST21 (*v*=0,158 m/s), NST12 (*v*=0,212m/s) dan perlakuan NST13 (*v*=0,268 m/s).

Ada enam perlakuan pada VST disesuaikan dengan besar massa takimbang *m*, putaran motor penggetar *n* serta kecepatan membajak *v*. Perlakuan tersebut meliputi:

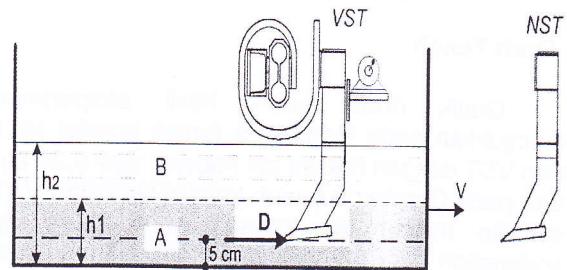
- VST11: putaran *n* = 530 rpm, massa *m*=0,35 kg dan kecepatan membajak *v*=0,158 m/s.
- VST12: putaran *n* = 530 rpm, massa *m*=0,35 kg dan kecepatan membajak *v*=0,212 m/s.
- VST13: putaran *n* = 530 rpm, massa *m*=0,35 kg dan kecepatan membajak *v*=0,265 m/s.
- VST21: putaran *n* = 1.150 rpm, massa *m*=0,24 kg dan kecepatan membajak *v*=0,158 m/s.
- VST22: putaran *n* = 1.150 rpm, massa *m*=0,24 kg dan kecepatan membajak *v*=0,212 m/s.
- VST21: putaran *n* = 1.150 rpm, massa *m*=0,24 kg dan kecepatan membajak *v*=0,265 m/s.

Ada enam perlakuan pada VST disesuaikan dengan besar massa takimbang *m*, putaran motor penggetar *n* serta kecepatan membajak *v*. Perlakuan tersebut meliputi:

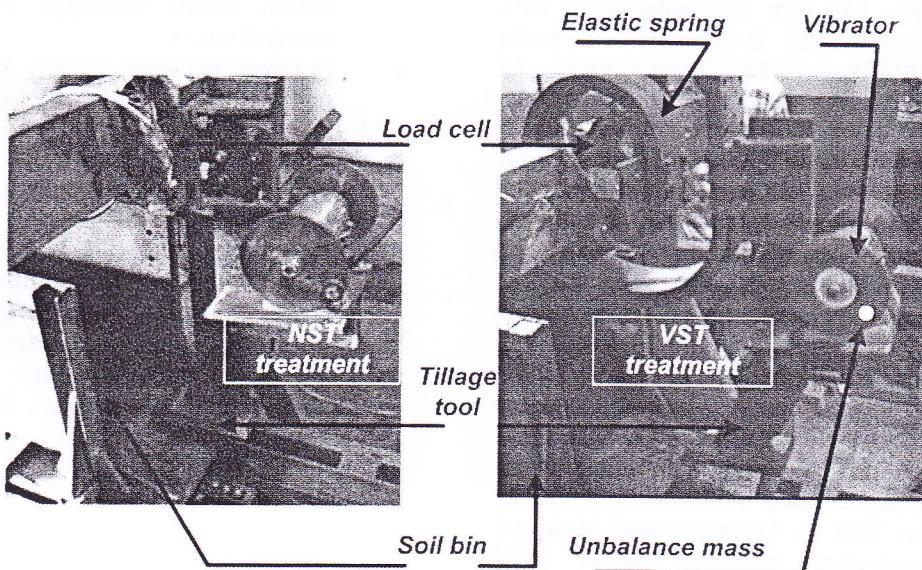
- VST11: putaran *n* = 530 rpm, massa *m*=0,35 kg dan kecepatan membajak *v*=0,158 m/s.
- VST12: putaran *n* = 530 rpm, massa *m*=0,35 kg dan kecepatan membajak *v*=0,212 m/s.
- VST13: putaran *n* = 530 rpm, massa *m*=0,35 kg dan kecepatan membajak *v*=0,265 m/s.
- VST21: putaran *n* = 1.150 rpm, massa *m*=0,24 kg dan kecepatan membajak *v*=0,158 m/s.
- VST22: putaran *n* = 1.150 rpm, massa *m*=0,24 kg dan kecepatan membajak *v*=0,212 m/s.
- VST21: putaran *n* = 1.150 rpm, massa *m*=0,24 kg dan kecepatan membajak *v*=0,265 m/s.



Detail dari parameter eksperimen tanah di dalam *soil bin* untuk setiap perlakuan ditunjukkan pada Tabel 1. Selama eksperimen, tutup *soil bin* di ujung kiri dibuka sedangkan tutup *soil bin* di sebelah kanan ditutup (Gambar 1). *Soil bin* ditarik sehingga bergerak dari kiri ke kanan. Operasi membajak tanah diawali tepat saat pisau bajak menyentuh tanah padat dan diakhiri tepat sebelum pisau bajak menyentuh tutup *soil bin* sebelah kanan. Hasil yang didapat dari setiap perlakuan VST (membajak dengan penggetaran pada pegas elastis) dibandingkan dengan hasil yang didapat dari perlakuan NST (membajak tanpa getar).



Gambar 3. Tanah di dalam *soil bin* dibagi menjadi dua lapisan



Tabel 1. Parameter tanah di dalam *soil bin* (lihat gambar 4)

Kecepatan membajak (m/s)	Massa m (kg)	Treatment	Tebal lapisan tanah (cm)		Tahanan penetrasi (MPa)	
			h1	h2	A	B
0,158	0	NST21	15	21,75	2,75	1,1
	0,28	VST11	15,25	22	2,75	1,1
	0,17	VST21	15	21,75	2,75	1,1
0,212	0	NST12	15	22	2,75	1,1
	0,28	VST12	16	22	2,75	1,1
	0,17	VST22	15,5	21,25	2,75	1,1
0,265	0	NST13	15	22	2,75	1,1
	0,28	VST13	15	21,5	2,75	1,1
	0,17	VST23	15,25	21,25	2,75	1,1

HASIL DAN PEMBAHASAN

Draft Tanah

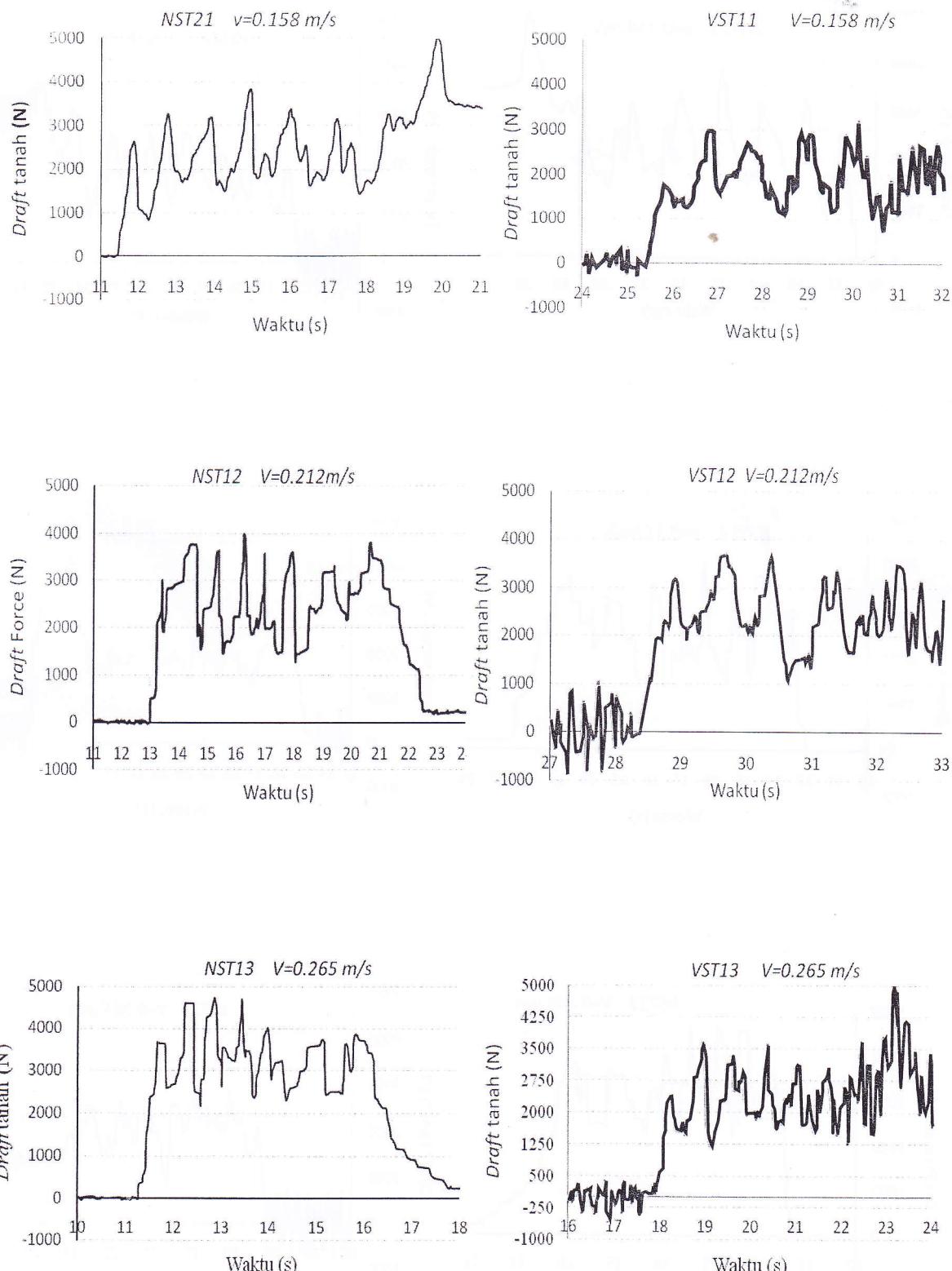
Grafik *draft* tanah hasil eksperimen ditunjukkan pada Gambar 5 (untuk kondisi NST dan VST dengan massa tak imbang $m = 0,35$ kg) dan pada Gambar 6 (untuk kondisi NST dan VST dengan massa tak imbang $m = 0,24$ kg) sedangkan data numerik *draft* tanah ditunjukkan pada Tabel 2. Dari grafik dan data numerik pada tabel terlihat bahwa terjadi penurunan *draft* tanah untuk semua perlakuan VST (dengan penggetaran) dibandingkan dengan *draft* tanah untuk semua kondisi NST (tanpa penggetaran). Dalam kondisi penggetaran dengan bobot massa tak imbang $m=0,35$ kg yang diputar pada kecepatan putar 530 rpm (frekuensi $f=8,8$ Hz), terjadi penurunan *draft* tanah rata-rata pada perlakuan VST11, VST12 dan VST 13 dibandingkan dengan perlakuan tanpa getar NST21, NST12 dan NST13 berturut-turut sebesar 11,9; 7,3 dan 25,7% sedangkan penurunan *draft* tanah maksimumnya berturut turut sebesar 7,2; 10,3 dan 22,8 %.

Dalam kondisi penggetaran dengan bobot massa tak imbang $m=0,24$ kg yang diputar dengan kecepatan putar 1150 rpm (frekuensi $f=19,2$ Hz), terjadi penurunan *draft* tanah rata-rata pada perlakuan VST21, VST22 dan VST 23 dibandingkan dengan perlakuan tanpa getar NST21, NST12 dan NST13 berturut-turut sebesar 18,3, 24,9 dan 35,3 % sedangkan penurunan *draft* tanah maksimumnya berturut turut sebesar 19,1; 32,8 dan 38,3 %. Turunnya *draft* tanah ini dapat diungkapkan sebagai berikut (lihat Gambar 7):

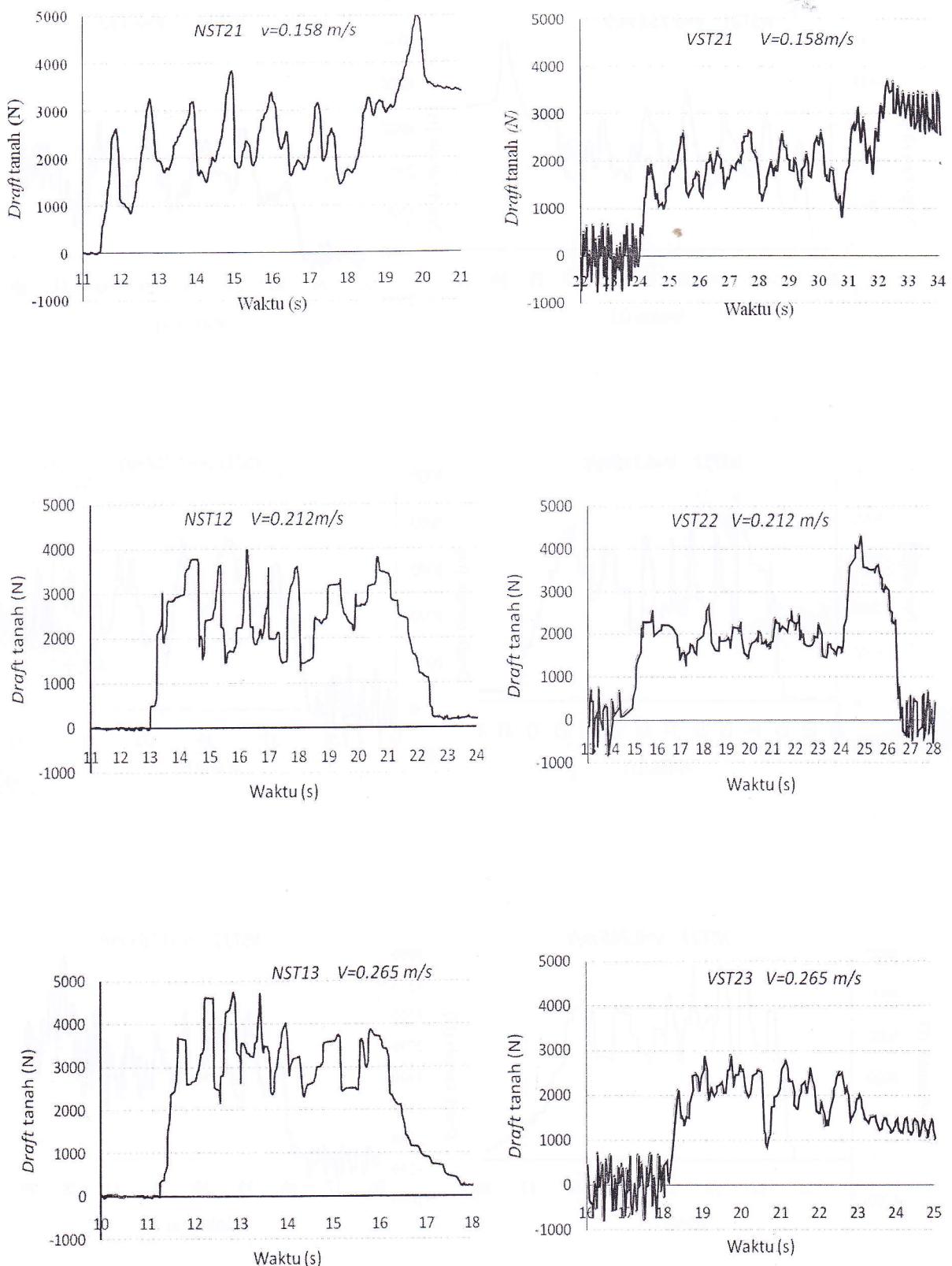
- *Draft* tanah D membuat batang bajak mendorong pegas elastis sehingga batang bajak terdefleksi ke belakang serta elevasi dari ujung pisau bajak terangkat ke atas. Kenaikan elevasi ini membuat kedalaman membajak menjadi relatif lebih rendah sehingga *draft* tanahnya turun.
- Pada waktu pegas terdefleksi ke belakang, energinya disimpan oleh pegas dalam bentuk energi regangan. Pada saat tanah terbongkar, *draft* tanahnya menjadi rendah. Energi regangan yang disimpan di dalam pegas dilepas dan mendorong batang bajak ke depan dengan kecepatan tinggi. Tumbukan yang terjadi antara ujung pisau bajak dengan tanah padat mengakibatkan terjadinya retakan di dalam tanah sehingga *draft* tanahnya menjadi turun.
- Putaran (n) dari massa tak imbang m mengakibatkan getaran pada ujung pisau bajak dengan *amplitude* getar rendah. Getaran ujung pisau bajak menyebabkan tidak terbentuknya irisan tanah sehingga *contact area* antara bajak dengan tanah lebih kecil, selain itu getaran membuat waktu kontak antara tanah dan bajak lebih pendek sehingga kelengketan tanah, gesekan antara tanah dengan bajak serta adhesi di dalam tanah menjadi jauh berkurang. Akibatnya adalah terjadi penurunan *draft* tanah.

Tabel 2. *Draft* tanah dan penurunan *draft* tanah hasil eksperimen

Kecepatan membajak (m/s)	Perlakuan	<i>Draft</i> tanah rata-rata		<i>Draft</i> tanah maksimum	
		Besar <i>draft</i> tanah (N)	Penurunan <i>draft</i> tanah (%)	Besar <i>draft</i> tanah (N)	Penurunan <i>draft</i> tanah (%)
0,158	NST21	2.285	-	3.204	-
	VST11	2.014	11,9	2.971	7,2
	VST21	1.866	18,3	2.562	19,1
	NST12	2.556	-	3.581	-
0,212	VST12	2.369	7,3	3.581	10,3
	VST22	1.920	24,9	2.683	32,8
	NST13	3.245	-	4.732	-
	VST13	2.411	25,7	3.654	22,8
0,265	VST23	2.099	35,3	2.921	38,3



Gambar-5. Draft tanah untuk kondisi NST dan kondisi VST dengan massa tak imbang 0,28 kg diputar 530 rpm. (a) kecepatan membajak $v=0,158 \text{ m/s}$. (b) kecepatan membajak $v=0,212 \text{ m/s}$ dan (c) kecepatan membajak $v=0,265 \text{ m/s}$



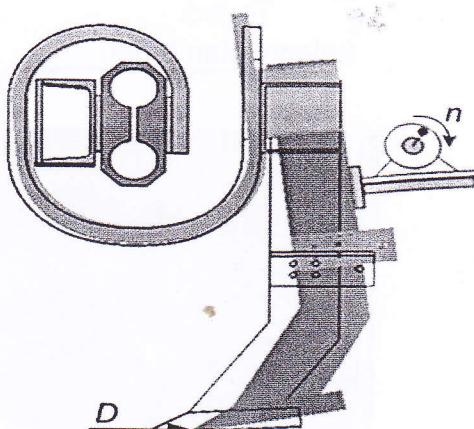
Gambar 6. Draft tanah untuk kondisi NST dan kondisi VST dengan massa tak imbang 0,28 kg diputar 1.150 rpm.
 (a) kecepatan membajak $v=0,158 \text{ m/s}$. (b) kecepatan membajak $v=0,212 \text{ m/s}$ dan (c) kecepatan membajak $v=0,265 \text{ m/s}$



Dari grafik dan data numerik terlihat bahwa penurunan *draft* tanah menjadi semakin besar bila kecepatan membajak semakin tinggi. Juga terlihat bahwa pada perlakuan putaran massa tak imbang $n=1,150$ rpm ($f=19,2$ Hz) terjadi penurunan *draft* tanah yang lebih besar jika dibandingkan dengan penurunan *draft* tanah pada perlakuan putaran massa tak imbang $n=530$ rpm ($f=8,8$ Hz). Penyebabnya adalah pada perlakuan $f=19,2$ Hz pisau bajak lebih sering mencacah tanah dibandingkan dengan perlakuan $f=8,8$ Hz.

Hal lain yang menarik untuk diungkapkan dalam penelitian ini adalah kelengketan antara tanah dengan pisau bajak serta bongkaran tanah di depan pisau bajak. Pada perlakuan NST, terjadi banyak kelengketan antara tanah dengan pisau bajak sedangkan pada perlakuan VST hanya terjadi sedikit kelengketan antara tanah dengan pisau bajak (Gambar 9). Kelengketan membuat pisau bajak lebih tebal serta ujung pisau bajak seolah-olah menjadi tumpul. Perubahan ini menyebabkan proses pemotongan tanah lebih berat karena alat harus mengatasi gaya gesek dan kohesi sekaligus

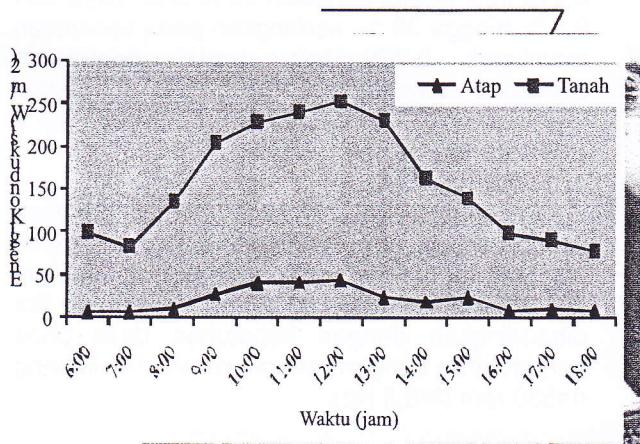
Dari grafik pada Gambar 5 dan 6 terlihat bahwa beda antara *draft* tanah maksimum dengan *draft* tanah minimum untuk semua perlakuan NST adalah cukup besar dan selalu lebih besar jika dibandingkan dengan beda antara *draft* tanah maksimum dengan *draft* tanah minimum untuk semua perlakuan VST. Hal ini mengakibatkan ukuran tanah bongkaran di depan pisau bajak pada perlakuan NST menjadi besar.



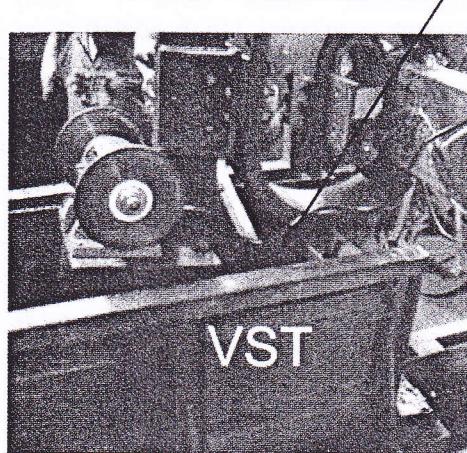
Gambar 7. Mekanisme turunnya *draft* tanah pada fenomena VST

Sedangkan pada perlakuan VST ukuran agregat tanah di depan pisau bajak menjadi lebih kecil. Kondisi ini mengakibatkan permukaan tanah di depan pisau bajak untuk perlakuan NST selalu lebih tinggi jika dibandingkan dengan permukaan tanah di depan pisau bajak untuk perlakuan VST (Gambar 8). Hal ini membuat kohesi tanah di depan pisau bajak serta gesekan antara tanah dengan batang bajak pada perlakuan NST menjadi lebih besar jika dibandingkan dengan kohesi tanah di depan pisau bajak serta gesekan antara tanah dengan batang bajak pada perlakuan VST. Oleh karena itu, *draft* tanah pada perlakuan VST menjadi lebih rendah jika dibandingkan dengan *draft* tanah pada perlakuan NST.

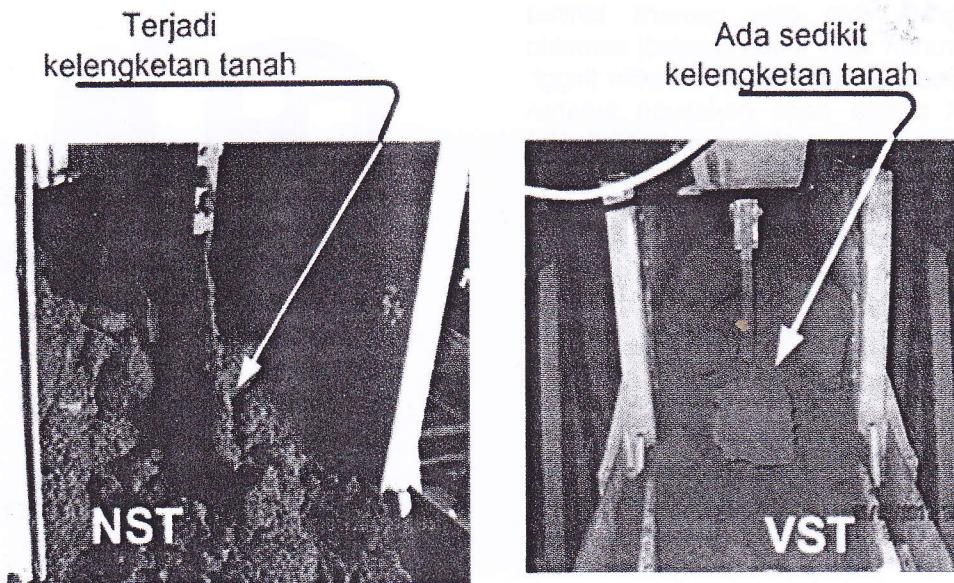
Permukaan tanah naik



Permukaan tanah tidak naik



Gambar 8. Beda elevasi permukaan tanah di dalam *soil bin* antara perlakuan NST dan VST



Gambar 9. Kelengketan tanah pada shank dan pada pisau bajak

Tabel 3. Penurunan konsumsi energi hasil eksperimen

Kecepatan membajak (m/s)	Daya P untuk perlakuan NST (Watt)	Daya untuk m=0,28 kg n=530 rpm Daya P (Watt)	Penurunan daya (%)	Daya untuk m=0,17 kg n=1.150 rpm Daya P (Watt)	Penurunan daya (%)
0,158	361,0	498,2	+38	+474,8	+31,5
0,212	541,9	682,2	+26	587,0	+8,3
0,265	859,9	818,9	-4,8	736,2	-14,4

Kebutuhan Daya (P)

Jika dianggap kecepatan *soil bin* selama membajak tanah adalah konstan serta semua daya dari motor listrik (180 Watt) digunakan untuk penggetaran, maka daya P yang diperlukan untuk membajak tanah adalah daya yang diperlukan dalam membajak tanah pada perlakuan NST:

$$P_{NST} = D_{NST} * v \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

Daya yang diperlukan dalam membajak tanah pada perlakuan VST:

$$P_{VST} = D_{VST} * v + 180 \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

di mana P_{NST} , P_{VST} , D_{NST} dan D_{VST} masing-masing adalah kebutuhan daya guna membajak tanah dan *draft* tanah pada perlakuan NST dan VST serta v adalah kecepatan membajak. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 3,

tanda positif menyatakan terjadinya kenaikan daya yang diperlukan untuk membajak tanah sedangkan tanda negatif menyatakan terjadi penurunan kebutuhan daya.

Pada kecepatan membajak 0,158 dan 0,212 m/s, terjadi kenaikan kebutuhan daya dari 8,3 % hingga 38 %. sedangkan pada kecepatan membajak 0,265 m/s, terjadi penurunan pemakaian daya sebesar 4,8 % (VST13, massa takimbang 0,35 kg diputar 530 rpm) dan 14,4 % (VST23, massa takimbang 0,24 kg diputar 1.150 rpm).

Pada Tabel 3 juga terlihat bahwa kebutuhan daya guna membajak tanah pada penggetaran dengan putaran massa takimbang $n=1.150$ rpm ($f=19,3$ Hz) akan lebih rendah jika dibandingkan dengan kebutuhan daya pada penggetaran dengan putaran massa takimbang $n=530$ rpm ($f=8,8$ Hz).



KESIMPULAN

Sebuah model peralatan bajak guna menurunkan *draft* tanah dan pemakaian energi dengan menggunakan metode penggetaran berenergi rendah pada pegas elastis telah berhasil dikembangkan dan diuji secara eksperimental. Eksperimen dilakukan pada *soil bin* dengan menggunakan tanah jenis *clay loam* dengan kandungan *clay* (83,4 %), *sand* (3,1 %) dan *silt* (13,5 %). Penggetaran dilakukan pada sebuah pegas elastis dengan kekakuan 28602 Nm/rad oleh massa takimbang dengan bobot 0,24 dan 0,31 kg yang diputar pada 530 dan 1150 rpm. Kecepatan membajak divariasikan yaitu dari 0,158, 0,212 dan 0,265 m/s. Penggetaran membuat ujung pisau bajak mencacah tanah menjadi gembur sehingga terjadi penurunan *draft* tanah dan kebutuhan energi.

- Dibandingkan dengan perlakuan NST, terjadi penurunan *draft* tanah pada perlakuan VST dengan bobot massa takimbang $m=0,24$ kg (diputar 530 rpm) sebesar 18,3; 24,9 dan 35,3 % pada kecepatan membajak masing-masing sebesar 0,158; 0,212 dan 0,265 m/s. Sedangkan pada perlakuan VST dengan bobot massa takimbang $m=0,24$ kg (diputar 530 rpm) terjadi penurunan *draft* tanah sebesar 19,1; 32,8 dan 38,3 %. pada kecepatan membajak masing-masing sebesar 0,158; 0,212 dan 0,265 m/s.
- Terjadi kenaikan penggunaan energi pada kecepatan membajak tanah 0,158 dan 0,212 m/s. Penurunan penggunaan daya tercatat pada kecepatan membajak 0,265 m/s sebesar 48 % (perlakuan VST13) dan 14,4% perlakuan VST23).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Trisakti (Jakarta), PT Matahari Megah (Tangerang) dan PT Tyrex Indonesia (Jakarta) atas sumbangan dana dan peralatan sehingga penelitian ini bisa diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bandalan E.P., V.M. Salokhe, C.P. Gupta, dan T. Niyamapa (1999). *Performance of an Oscillating Subsoiler in Breaking A Hardpan*, Journal of Terramechanics 36: 117-125.
- Butson, J. M. dan H.D. Rackham (1981a). *Vibratory Soil Cutting II. An Improved Mathematical Model*. J. Agric. Eng. Research 26: 419-439.
- Butson, J. M. dan H.D. Rackham, (1981b). *Vibratory Soil Cutting I. Soil Tank Studies Of Draught And Power Requirements*. J. Agric. Eng. Res 26: 409-418.
- Gill, W. R. dan G. E. Van den Berg (1968). *Soil Dynamics in Tillage and Traction*. Agriculture Hand-Book No. 316, ARS, USDA.
- Niyamapa, T. dan M. V. Salokhe, (2000a). *Force and Pressure Distribution under Vibratory Tillage-Tool*. Journal of Terramechanics 37; 139-150
- Niyamapa, T. dan M. V. Salokhe (2000b). *Soil Disturbance and Force Mechanics of Vibrating Tillage-Tool*. Journal of Terramechanics 37:151-166
- Radite, P.A.S. dan Soeharsono. (2010a). *Kinerja Penggetaran Struktur pada Operasi Bajak Mol Getar*. Pros. Seminar Nasional PERTETA 2010 "Revitalisasi Mekanisasi Pertanian dalam Mendukung Ketahanan Pangan dan Energi", Purwokerto, 10 Juli 2010
- Radite, P.A.S. dan Soeharsono. (2010b). *Desain dan Pengujian Kinerja Penggetar Struktur untuk Menurunkan Draft Bajak Mol*. Pros. Seminar Hasil-hasil Penelitian LPPM IPB, IICC Bogor 13-14 Desember 2010.
- Soil Quality Institute 411s. 2003. *Soil Compaction: Detection, Prevention, and Alleviation*. Soils.usda.gov/sqi. Soil Quality – Agronomy Technical Note No. 17.

Szabo, B. F. Barnes, S. Sture, dan J. H. Ko (1998). *Effectiveness of Vibrating Bulldozer and Plow Blades on Draft Force Reduction*. Transaction of the ASAE 41(2): 283-290.

Yow, J. and U. J. Smith (1976). *Sinusoidal Vibratory Tillage*. Journal of Terramechanics 13(4):211-226