ANALISIS PENGGUNAAN DAYA TRAKTOR BERODA BAN UNTUK PEMBAJAKAN PADA TANAH BERKADAR LIAT TINGGI

Analysis of Wheel Tractor Power in Tillage Processes in Upland Clay Soil

Frans J. Daywin[1]

ABSTRACT

This study is aimed to identify the parameters which influence the draft of plowing in high clay soil using moldboard plow and to predict the mathematical relation of tillage processes emphisizing on the relation between soil draft and the type of plow, method of operation of the implement and mechanical properties of soil based on dimension analysis.

It was found from many studies that the use of wheel tractor in tillage processes in upland clay soil had been performing far beyond its actual pulling capacity. There is a need for a knowledge of tillage processes so as to allow costs and results of tillage treatment to be predicted in a simple and efficient way.

PENDAHULUAN

Penggunaan traktor pertanian beroda ban di Indonesia meningkat jumlahnya dalam tahun seribu sembilan ratus delapan puluhan. Traktor pertanian terutama digunakan untuk pengolahan tanah pada lahan kering di areal pembukaan baru untuk pemukiman transmigrasi, perluasan areal perkebunan dan reboisasi. Traktor yang umumnya mempunyai daya lebih besar dari 24 kW beserta seluruh peralatannya didatangkan dari luar negeri yang memenuhi persyaratan standar dari masing-masing negara pengekspor.

Lahan kering yang tersebar di luar pulau Jawa dan di pulau Jawa umumnya mempunyai kadar liat tinggi dengan persentase liat antara 40 sampai 60 persen. Pengolahan tanah pada lahan berkadar liat tinggi dengan keadaan kandungan air tanah rendah nilai tahanan tarik pembajakan tinggi dan bongkah-bongkah tanah hasil pembajakan besar. Pengolahan tanah yang dilakukan pada keadaan kadar air tanah tinggi, slip roda traksi meningkat dan sebagian daya tarik digunakan untuk mengatasi slip dan mengakibatkan pemadatan tanah.

Sampai saat ini belum banyak penelitian langsung di lapangan yang membuat persamaan pendugaan tahanan tarik berdasarkan peubah bebas yang berhubungan dengan bentuk alat bajak, cara kerja alat dan sifat fisik dan mekanika tanah. Peubah bebas tersebut adalah panjang bajak, lebar bajak, jari-jari lengkungan bajak, berat bajak, kedalaman pembajakan, kecepatan pembajakan, sudut alat bajak dan tanah, koefisien gesekan logam bajak dan tanah, kerapatan tanah, berat butir tanah, kohesi tanah, sudut gesekan dalam dan adhesi tanah. Hal ini disebabkan sulitnya mendapatkan instrumen pengukur yang tidak peka terhadap goncangan-goncangan yang terjadi di lapangan dan kompleksnya hubungan peubah bebas pada penelitian in situ.

[1] Staf Pengajar Jurusan Mekanisasi Pertanian, IPB

Tujuan penelitian adalah: (1) untuk mengindentifikasi peubah bebas yang mempengaruhi tahanan tarik (D) pengolahan tanah pada lahan kering berkadar liat tinggi dengan menggunakan bajak singkal; (2) pendugaan hubungan matematis dari proses pengolahan tanah yang ditekankan pada hubungan antara tahanan tarik pembajakan dengan bentuk alat bajak, cara kerja alat dan sifat fisik serta mekanika tanah berdasarkan analisis dimensi; (3) menentukan operasi pembajakan yang efisien pada lahan kering berkadar liat tinggi sesuai dengan daya traktor yang tersedia dan slip yang terjadi pada roda traksi.

ANALISIS MODEL TRAKSI

Masalah utama yang ditemui dalam usaha menerangkan hubungan antara daya penggerak dan alat pengolahan tanah adalah dinamisnya variabel-variabel yang mempengaruhi.

Daya traktor efektif akan berkurang pada waktu beroperasi di lapangan karena adanya transmisi dan *final drive* untuk menjalankan traktor, serta untuk mengatasi tahanan guling dan untuk mengatasi slip.

Besarnya daya tarik traktor dan kemampuan mobilitasnya dibatasi kapasitas traksi dari alat traksi pada tanah.

Penelitian daya traktor efektif di dalam pengolahan tanah dengan alat bajak singkal belum banyak dilakukan di Indonesia. Salah satu masalah adalah hubungan besarnya daya penggerak yang tersedia pada roda gaya (*brake power*) dengan besarnya daya yang hilang akibat penyaluran daya pada kotak transmisi dan *final drive*, daya yang hilang karena tahanan guling, dan daya yang hilang akibat slip roda penggerak yang dijabarkan pada persamaan berikut ini (Wanders, 1978):

$P_{DB} = (P_{BR} - P_{GB} - P_{RR})\ (1 - s)$ ....(1)

di mana:

P_{BR} = daya yang dihasilkan motor yang tersedia pada roda gaya (kW)

P_{DB} = daya yang tersedia pada *drawbar* sebagai tenaga tarik (kW)

P_{GB} = daya yang hilang pada penyaluran tenaga melalui kotak transmisi dan *final drive* traktor (kW)

P_{RR} = daya yang hilang karena tahanan guling (kW)

s = slip dari roda penggerak (dalam desimal)

Efisiensi daya tarik traktor adalah perbandingan antara daya yang tersedia pada *drawbar* sebagai daya tarik (P_{DB}) dengan daya yang dihasilkan motor yang tersedia pada roda gaya (P_{BR}) dan dapat diketahui dengan persamaan berikut ini:

Efisiensi Daya Tarik = $(P_{DB}/P_{BR}) \times 100\%$................(2)

Untuk menghitung efisiensi daya tarik digunakan persamaan-persamaan yang telah dikembangkan oleh Gee-Clough (Gee-Clough, 1980; Ismail et al, 1981; Gee-Clough et al 1982; Whitney & Oskui, 1982; dan Placket, 1985).

Dengan diketahuinya efisiensi daya tarik dan didapatkannya daya tarik (P_{DB}) dari hasil pengukuran dan perhitungan maka dapat diduga besarnya daya dari traktor yang tersedia sebagai *Brake Power* (P_{BR}). Menurut Wanders (1978), efisiensi daya tarik traktor pada permukaan berbatu, tanah keras dan tanah olahan adalah masing-masing 85%, 75% dan 45%, pada keadaan penggunaan daya 2/3 dari daya tarik (*drawbarpull*) maksimum. Penggunaan daya tarik yang lebih besar menyebabkan efisiensi akan berkurang karena terjadi slip.

Besarnya daya efektif yang tersedia pada *drawbar* didapatkan dari hasil perkalian tahanan tarik tanah yang dihasilkan untuk menarik alat bajak dengan kecepatan jalannya alat penggerak seperti pada persamaan berikut ini:

P_{DB} (kW) = Tahanan tarik (N) x Kecepatan (m/det) x 1000...(3)

Besarnya tahanan tarik tanah dari bajak singkal, di dalam penelitian ini diduga dengan persamaan (4) berikut ini:

$$D = f(W_b, g, v_b, p_b, l_b, r_b, d_b, \alpha, C, \varnothing, \mu, \tau) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

di mana:

D = tahanan tarik tanah (kN) dengan simbol
W_b = berat alat (kN)
g = gravitasi (m/det^2)
v_b = kecepatan pembajakan (m/det)
P_b = panjang alat bajak (m)
l_b = lebar alat bajak (m)
r_b = jari-jari lengkungan alat bajak (m)
d_b = kedalaman pembajakan (m)
α = sudut olah bajak dan tanah (°)
C = kohesi tanah (kN/m^2)
$\varnothing$ = sudut gesekan dalam tanah (°)
μ = koefisien gesekan logam dan tanah
τ = berat butir tanah (kN/m^3)

Pemecahan persamaan (4) berdasarkan analisis dimensi dengan aplikasi teori Pi dari Buckingham (Murphy, 1950 dan Bridgman, 1978), seperti pada persamaan berikut ini:

$$\frac{D}{W_b} = f\left(\frac{l_b}{p_b}, \frac{d_b}{l_b}, \frac{r_b}{p_b}, \frac{v_b^2}{g l_b}, \alpha, \frac{l_b^2 C}{W_b}, \tan\varnothing, \mu, \frac{C}{\tau l_b}\right) \quad \ldots\ldots\ldots (5)$$

Di dalam percobaan ini peubah bebas yang berubah adalah v_b, d_b, C dan $\tan\varnothing$, sedangkan g, W_b, p_b, l_b, r_b, α, μ dan τ nilainya konstan, sehingga nilai l_b/p_b, r_b/p_b, α dan μ menjadi konstan dan persamaan (5) dapat disederhanakan menjadi:

$$\left[\frac{D}{W_b}\right]^* = f\left[\frac{d_b}{l_b}, \frac{v_b 2}{g l_b}, \frac{l_b^2 C}{W_b}, \frac{C}{\tau l_b}, \tan\varnothing\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

di mana:

$\left[\frac{D}{W_b}\right]^*$ adalah nilai D/W_b untuk l_b/p_b, r_b/p_b, α, μ konstan.

Menurut Lapidus (1962) penyelesaian persamaan umum mengenai hubungan peubah tidak bebas dengan peubah bebas lebih dari 2 mengikuti bentuk perkalian dengan koefisien yang berbeda, dan diselesaikan dengan metoda regresi berganda sehingga persamaan (6) dapat diubah menjadi:

$$(D/W_b)^* = C_0 \,(d_b/l_b)^{C_1} \,(v_b^2/g l_b)^{C_2} \,(l_b^2 C/W_b)^{C_3} \,(C/\tau l_b)^{C_4} \,(\tan\varnothing)^{C_5} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

lebih lanjut menjadi:

$$\ln (D/W_b)^* = \ln C_0 + C_1 \ln (d_b/l_b) + C_2 \ln (v_b^2/g l_b) + C_3 \ln (l_b^2 C/W_b) + C_4 \ln (C/\tau l_b) + C_5 \ln(\varnothing) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

Dengan pemecahan metoda regresi berganda nilai C_0, C_1, C_2, C_3, C_4 dan C_5 pada persamaan (8) dapat diketahui sehingga bentuk persamaan umum antara peubah tidak bebas dengan peubah bebas dapat dijabarkan, di mana:
$(D/W_b)^*$ adalah nilai (D/W_b) untuk (l_b/p_b), (r_b/p_b), (α), (μ) konstan.

METODA PERCOBAAN

Pelaksanaan percobaan meliputi pembuatan alat pengukur, pemasangan alat pengukur, dan kalibrasi. Pembuatan alat pengukur yang utama adalah pembuatan dinamometer tiga titik gandeng dan pembuatan slip sensor yang dilakukan di Laboratorium Alat dan Mesin Budidaya Pertanian, Jurusan Mekanisasi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Pembuatan dinamometer tiga-titik-gandeng untuk penelitian ini didasarkan pada bentuk dan tipe konstruksi yang telah dirancang oleh Lal (1959) dan Scholtz (1986). Alat yang sama juga telah dirancang dan digunakan di dalam pengukuran tahanan tarik tanah oleh Ismail et al (1983).

Untuk menduga besarnya tahanan tarik yang dapat dipikul/ditopang alat pada pembajakan dengan menggunakan bajak singkal, digunakan persamaan (9) yang dianjurkan dalam Agricultural Engineers Yearbook (1983/1984) untuk tanah jenis *decatur clay loam* (tanah berkadar liat tinggi).

$$\text{Tahanan tarik spesifik} = 6 + 0.053\ V^2 \quad \text{..................(9)}$$

Satuan tahanan tarik spesifik dalam persamaan ini adalah N/cm^2 dan V adalah kecepatan pembajakan (km/jam). Pada perancangan kekuatan alat ini nilai V diambil 6 km/jam, kedalaman pembajakan 25 cm dan lebar pembajakan 125 cm. Besarnya tahanan tarik yang dapat ditopang oleh alat adalah 24712.5 N. Harga di atas dibulatkan menjadi 25000.00 N atau 25 kN.

Setiap transduser diasumsikan mendapat daya horisontal sebesar 70% dari 25000.00 N yaitu sekitar 17.5 kN. Transduser yang mendeteksi gaya vertikal ini dirancang untuk beban 12.26 kN, yaitu beban yang lebih besar dibanding bobot bajak (4.41 kN) yang dipakai. Berat keseluruhan dinamometer adalah 695.53 N (transduser batang atas 25.02 N, transduser batang bawah sebelah kanan 57.88 N dan transduser batang bawah sebelah kiri 57.39 N).

Slip sensor merupakan instrumen pengukur kecepatan traktor (RPM Roda) yang dipasang pada roda penggerak depan dan roda penggerak belakang dari traktor. Dengan membandingkan RPM dibagi diameter roda penggerak depan dan roda penggerak belakang dari traktor dapat dihitung slip dari traktor pada waktu beroperasi di lapangan.

Instrumen pengukur kecepatan traktor dengan sistem peraga secara digital terdiri dari beberapa unit yang menjadi satu kesatuan, unit tersebut adalah: unit pencatu daya, unit sensor dan mekanik, unit multivibrator, unit penguat, unit pencacah, unit konversi sandi (decoder) dan unit peraga.

Berdasarkan rumus Pi persamaan (6), dilaksanakan percobaan lapangan untuk mendapatkan data yang cukup sehingga persamaan umum hubungan antara tahanan tarik tanah sebagai peubah tidak bebas dengan peubah bebas yang mempengaruhi tahanan tarik tanah dapat dijabarkan. Pemilihan beberapa peubah bebas yang bervariasi dilakukan supaya didapatkan besaran-besaran yang dapat menghasilkan persamaan umum tahanan tarik tanah.

Perlakuan/peubah bebas yang digunakan di dalam percobaan ini adalah:

1. Perlakuan lebar tapak roda ban penggerak belakang dari traktor yang terdiri dari dua taraf yaitu: a) dengan menggunakan roda ban dengan ukuran 16,9/14-30, roda ban mempunyai lebar 38,50 cm (B_1); b) dengan menggunakan roda ban dengan ukuran 18,4/15-30, roda ban mempunyai lebar 43,80 cm (B_2).
2. Perlakuan pemberat roda penggerak belakang dengan dua taraf yaitu: a) penggunaan air di dalam roda ban penggerak dengan pengisian pada batas ¾ dari roda ban dengan posisi pentil pemasukan angin dari ban berada di sebelah atas (Pb_1); b) penambahan beban 2943 N pada perlakuan taraf di atas (Pb_2).
3. Peubah bebas kecepatan operasi pembajakan yang terdiri dari tiga taraf yaitu: a) kecepatan dengan low 1 dengan putaran mesin tetap pada 1600 RPM (Vb_1); b) kecepatan dengan low 2 dengan putaran mesin tetap pada 1600 RPM (Vb_2); c) kecepatan dengan low 3 dengan putaran mesin tetap pada 1600 RPM (Vb_3).
4. Peubah bebas kedalaman operasi pembajakan terdiri dari tiga taraf yaitu: a) kedalaman antara 10-15 cm (db_1); b) kedalaman antara 15-20 cm (db_2); c) kedalaman antara 20-25 cm (db_3).
5. Perlakuan kadar air tanah yang terdiri dari empat taraf yaitu: a) kadar air tanah dengan hasil pengukuran di lapangan kadar air rata-rata pada kandungan 40% (KA_1); b) kadar air tanah dengan hasil pengukuran di lapangan kadar air rata-rata pada kandungan 43% (KA_2); c) kadar air tanah dengan hasil pengukuran di lapangan kadar air rata-rata pada kandungan 46% (KA_3); d) kadar air tanah dengan hasil pengukuran di lapangan kadar air rata-rata pada kandungan 49% (KA_4).

Peralatan dan instrumen yang digunakan di lapangan di dalam pelaksanaan percobaan adalah sebagai berikut:

a) satu unit traktor roda empat dengan sistem penggandeng tiga titik.

b) satu unit traktor Yanmar YM 330 T (33 HP) beserta trailer.
c) satu unit bajak tiga singkal dengan lebar tiap bajak 37 cm dan lebar operasi pembajakan $\pm$ 130 cm.
d) dua buah jam pengukur waktu, pita pengukur, penggaris dan busur.
e) dinamometer tiga-titik-gandeng beserta instrumen pelengkapnya yang meliputi bridge box 5 unit, penguat sinyal 5 unit (strain amplifier model 613 B satu unit dan model 611 A empat unit), perekam data (model RTP 650 A) satu unit dan aki 12 volt tiga unit.
f) bridge box 2 unit yang disambungkan ke penguatan sinyal 2 unit (strain amplifier model 613 B), kemudian perekam data yang sama seperti di atas.

Hasil rekaman data konversi, data tahanan tarik tanah, data slip, data kecepatan pada pita kaset data Recorder RTP 650 A.

Perhitungan utama yang dilakukan adalah untuk mendapatkan model hubungan non dimensi dari tahanan tarik tanah sebagai peubah tidak bebas dengan beberapa peubah bebas yang telah ditentukan. Koefisien hubungan antara peubah tidak bebas dan peubah bebas didapatkan dengan menggunakan program regresi berganda. Hubungan masing-masing peubah bebas yang ada dicari hubungannya dengan peubah tidak bebas dalam bentuk tahanan tarik spesifik dan digambarkan dalam bentuk grafik.

Pembuatan alat pengukur dilaksanakan di Laboratorium Alat dan Mesin Budidaya Pertanian, Jurusan Mekanisasi Pertanian, Fateta IPB. Percobaan lapang dilaksanakan di areal kebun percobaan IPB dengan luas lahan yang tersedia $\pm$ 1 hektar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Fisik dan Mekanika Tanah

Percobaan lapangan yang dilakukan pada areal kebun percobaan Sikabayan, Institut Pertanian Bogor mempunyai jenis tanah Latosol.

Hasil analisis fisik tanah dari lahan percobaan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Analisis Sifat Fisik Tanah Latosol dari Lahan Percobaan Lapang untuk Keempat Taraf Kadar Air Tanah

Blok Percobaan (Kadar Air Tanah)	Berat Butir Tanah (kN/m^3)	Kadar Air (%)	Batas Plastis (%)	Batas Cair (%)	Tekstur Pasir (%)	Debu (%)	Liat (%)
KA_1	25.849	40.36	46.32	68.67	25.20	32.18	42.62
KA_2	25.849	43.52	46.32	68.67	24.85	27.50	47.65
KA_3	25.849	46.27	46.32	68.67	17.82	31.33	50.85
KA_4	25.849	49.34	46.32	68.67	23.15	33.72	43.13

Dari Tabel 1 terlihat bahwa kadar liat dari lahan percobaan hasil analisis tekstur berkisar antara 42 sampai 51%, dan lahan percobaan dapat dikategorikan lahan dengan kadar liat tinggi.

Analisis sifat mekanika tanah lahan percobaan adalah untuk mendapatkan angka Indeks Kerucut (CI), kohesi dan sudut gesekan dalam dari tanah seperti tertera pada Tabel 2, dengan menggunakan peralatan penetrometer SR_2 dan triaxial.

Tabel 2. Analisis Sifat Mekanika Tanah Latosol dari Lahan Percobaan Lapangan untuk Keempat Taraf Kadar Air Tanah

Blok Percobaan (Kadar Air Tanah	Indeks Kerucut (CI) kedalaman 25 cm N/cm^2	Kohesi Tanah (C) kN/m^2	Sudut Gesekan Dalam (Ø) derajat
KA_1	149.799	41.20	4°36'
KA_2	132.827	37.28	4°24'
KA_3	133.416	47.09	6°36'
KA_4	144.403	46.11	6°06'

Kedalaman Pembajakan, Kecepatan Pembajakan dan Slip Roda Traktor

Data hasil percobaan kedalaman pembajakan, kecepatan pembajakan dan slip roda traksi tertera pada Tabel 3.

Tabel 3. Hubungan Kedalaman Pembajakan dan Kecepatan Pembajakan dengan Slip Roda Traksi pada Lebar Pembajakan yang Tetap

Kedalaman Pembajakan (d_h) m	Kecepatan Pembajakan (v_h) m/detik	Slip Roda Traksi (s) (%)
d_{h1} = 0.14	v_{h1} = 0.46	11.87
	v_{h2} = 0.70	13.13
	v_{h3} = 0.91	14.72
d_{h2} = 0.18	v_{h1} = 0.42	25.64
	v_{h2} = 0.57	28.23
	v_{h3} = 0.72	31.82
d_{h3} = 0.24	v_{h1} = 0.32	36.65
	v_{h2} = 0.47	39.15
	v_{h3} = 0.61	41.34

Tabel 3 menunjukkan adanya penurunan kecepatan traktor dengan bertambahnya kedalaman pembajakan. Kecepatan pembajakan pada gigi transmisi low 1 dengan RPM 1600 adalah 0.46 m/detik pada kedalaman pembajakan 0.14 m, menurun menjadi 0.42 m/detik pada kedalaman 0.18 m dan menjadi 0.32 m/detik pada kedalaman pembajakan 0.24 m. Kecepatan pembajakan pada gigi transmisi low 2 dengan RPM 1600 adalah 0.70 m/detik pada kedalaman pembajakan 0.14 m, menurun menjadi 0.57 m/detik pada kedalaman 0.18 m dan menjadi 0.47 m/detik pada kedalaman 0.24 m. Kecepatan pembajakan pada gigi transmisi low 3 dengan RPM 1600 adalah 0.91 m/detik pada kedalaman 0.14 m, menurun menjadi 0.72 m/detik pada kedalaman 0.18 m dan menurun lebih lanjut menjadi 0.61 m/detik pada kedalaman pembajakan 0.24 m.

Slip roda traksi dalam keadaan optimum antara 12 sampai 15% pada kedalaman pembajakan 0.14 m dan kecepatan traktor antara 0.46 sampai 0.91 m/detik. Slip roda traksi meningkat antara 26 sampai 32% pada kedalaman pembajakan 0.18 m dan kecepatan pembajakan berkurang menjadi 0.42 sampai 0.72 m/detik. Slip roda traksi meningkat antara 37 sampai 42% pada kedalaman pembajakan 0.24 m dan kecepatan pembajakan menurun antara 0.32 sampai 0.61 m/detik. Bertambahnya kedalaman pembajakan mengakibatkan berkurangnya kecepatan pembajakan untuk mengatasi slip yang terjadi pada roda traksi.

Penambahan kedalaman pembajakan dari 0.14 m menjadi 0.18 m menyebabkan peningkatan slip roda traksi rata-rata sebesar 15% dan penurunan kecepatan traktor rata-rata sebesar 19%. Penambahan kedalaman pembajakan dari 0.18 m menjadi 0.24 m menyebabkan peningkatan slip roda traksi rata-rata sebesar 37% dan penurunan kecepatan traktor rata-rata sebesar 19%.

Tahanan Tarik dan Tahanan Tarik Spesifik

Hubungan kadar air dengan tahanan tarik dan tahanan tarik spesifik disajikan pada Tabel 4. Dari Tabel 4 terlihat bahwa nilai tahanan tarik dan tahanan tarik spesifik kecil pada selang kadar air KA_1 dan selang kadar air KA_2 yaitu selang kadar air sebelum mendekati batas plastis, kemudian meningkat dengan tajam pada selang kadar air KA_3 yaitu pada selang kadar air batas plastis, kemudian menurun kembali pada selang kadar air KA_4 di mana merupakan selang kadar air antara batas plastis dan batas cair.

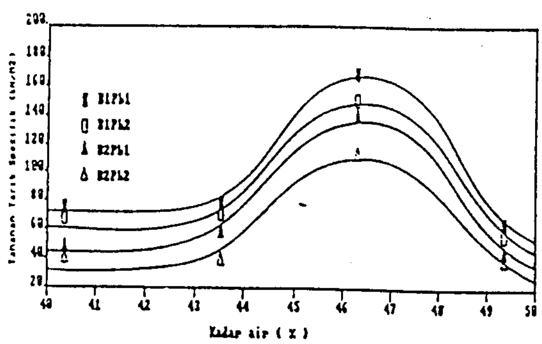
Penggunaan ban roda traksi yang lebih besar serta penambahan pemberat pada roda traksi memberikan tahanan tarik dan tahanan tarik spesifik yang lebih kecil pada setiap selang kadar air percobaan.

Hubungan antara tahanan tarik atau gaya tarik pembajakan dengan kadar air tanah adalah semakin meningkat kadar air tanah mendekati selang batas plastis, gaya tarik pembajakan atau tahanan tarik tanah akan semakin besar. Menurut Hendrick dan Bailey (1982) dan Schafer et al (1977) hal tersebut disebabkan karena tanah mengalami pergeseran dan untuk itu energi diperlukan selama proses perusakan atau deformasi berlangsung sampai terjadinya pergeseran atau pecahnya tanah. Pada selang kadar air tanah mendekati batas plastis, sifat tanah mulai melekat pada alat bajak dan konsistensi tanah mulai berubah dari sifat remah menjadi sifat tegar, plastis dan melekat. Kenaikan kadar air tanah pada selang batas platis menyebabkan tegangan geser, serta gaya gesekan antara tanah dan logam bajak akan semakin besar dan hal ini akan memperbesar gaya yang diperlukan untuk menggeser tanah dari massa tanah yang belum terbajak menjadi lempengan-lempengan kecil. Menurut Kuczewski (1981) pada selang kadar air tanah mendekati batas plastis gaya yang diperlukan untuk memotong tanah meningkat dan akan memperbesar tahanan tarik pembajakan dan tahanan tarik spesifik.

Tabel 4. Hubungan Kadar Air dengan Tahanan Tarik dan Tahanan Tarik Spesifik pada Berbagai Tingkat Penggunaan Macam Ban dan Pemberat pada Roda Traksi

Kadar Air (%) Basis Kering	Parameter Tingkat Penggunaan Macam Ban dan Pemberat	Tahanan Tarik (D) (kN)	Tahanan Tarik Spesifik (DS) (kN/m^2)
KA_1-40.36%	B_1P_{b1}	16.292	75.718
KA_1-40.36%	B_1P_{b2}	14.412	67.988
KA_1-40.36%	B_2P_{b1}	10.045	46.658
KA_1-40.36%	B_2P_{b2}	8.562	38.613
KA_2-43.52%	B_1P_{b1}	15.643	78.801
KA_2-43.52%	B_1P_{b2}	14.388	71.402
KA_2-43.52%	B_2P_{b1}	12.473	56.820
KA_2-43.52%	B_2P_{b2}	8.079	37.835
KA_3-46.27%	B_1P_{b1}	35.322	169.053
KA_3-46.27%	B_1P_{b2}	32.412	150.403
KA_3-46.27%	B_2P_{b1}	29.703	75.718
KA_3-46.27%	B_2P_{b2}	23.146	111.551
KA_4-49.34%	B_1P_{b1}	13.610	66.299
KA_4-49.34%	B_1P_{b2}	11.480	56.444
KA_4-49.34%	B_2P_{b1}	9.406	42.962
KA_4-49.34%	B_2P_{b2}	8.462	38.298

Hubungan tahanan tarik spesifik dengan kadar air tanah pada berbagai tingkat lebar ban dan pemberat pada roda traksi disajikan pada Gambar 1. Gambar tersebut memperlihatkan nilai tahanan tarik spesifik dari tanah rendah pada selang kadar air antara 40 sampai 44% basis kering, di mana kondisi tanah dalam keadaan konsistensi remah dan sesuai dengan teori Nichols (1939, dalam Baver, 1959) yang menyatakan bahwa kondisi lahan yang baik untuk pengolahan tanah berada dalam selang kadar air sebelum mendekati selang batas plastis. Kemudian tahanan tarik spesifik akan meningkat pada kadar air tanah selang batas plastis.



Gambar 1. Hubungan Tahanan Tarik Spesifik dengan Kadar Air Tanah pada Berbagai Tingkat Penggunaan Macam Ban dan Pemberat pada Roda Traksi

Dari hasil analisis regresi hubungan antara kadar air tanah pada selang kadar air tanah antara 44 sampai 50% dengan tahanan tarik spesifik tanah didapatkan persamaan regresi pangkat dua sebagai berikut:

$$DS = C_1KA^2 + C_2KA + C_3 \qquad (10)$$

dengan nilai R^2 sebesar 0.8. Nilai koefisien persamaan regresi ditampilkan pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Nilai Koefisien Persamaan Regresi Hubungan Tahanan Tarik Spesifik dan Kadar Air Tanah pada Berbagai Penggunaan Macam Ban dan Pemberat pada Roda Traksi

Parameter Tingkat Penggunaan Macam Ban dan Pemberat	C_1	C_2	C_3	R^2
B_1P_{b1}	-11.4	1055.5	-24285.0	0.8
B_1P_{b2}	-10.2	944.1	-21707.6	0.8
B_2P_{b1}	-10.4	961.8	-22135.6	0.8
B_2P_{b2}	-8.7	808.5	-18658.9	0.8

Menurut Bakhtin et al (1970, dalam Koolen, 1977), pengaruh kandungan air tanah terhadap kebutuhan tahanan tarik mengikuti persamaan regresi pangkat dua, dan pada percobaan ini juga didapatkan persamaan regresi pangkat dua. Hasil penelitian Bakhtin et al (1970, dalam Koolen, 1977) tidak berbeda dengan hasil percobaan yang dilakukan pada selang kadar air mendekati batas plastis dan melewati batas plastis tanah.

Model Pendugaan Persamaan Tahanan Tarik

Tahanan tarik rata-rata hasil pengukuran di lapangan, dihitung dari kurva data di atas kertas grafik khusus yang menggunakan pencatat data buatan YEW tipe 3056, di mana waktu lintasan sebagai absis dan tegangan keluaran sebagai ordinat. Tahanan tarik rata-rata untuk satu lintasan perlakuan didapat dengan membagi luas di bawah kurva terhadap absis. Analisis regresi berganda data hasil percobaan di mana tahanan tarik tanah (D) sebagai peubah tidak bebas, didapatkan hubungan persamaan berikut ini:

$$\ln (D/W_b) = 4.749 + 1.809 \ln \pi_2 + 0.088 \ln \pi_3 + 0.606 \ln \pi_4 + 0.093 \ln \pi_5 + 0.716 \ln \pi_6 \quad \text{......(11)}$$

$\ln \pi_1^* = \ln (D/W_b)^*$; $\ln \pi_2 = \ln (d_b/l_b)$; $\ln \pi_3 = \ln (v_b^2/gl_b)$; $\ln \pi_4 = \ln (l_b^2C/W_b)$; $\ln \pi_5 = \ln (C/\tau l_b)$ dan $\ln \pi_6 = \ln (\tan \varnothing)$.

$(D/W_b)^*$ adalah nilai (D/W_b) untuk (l_b/p_b), (r_b/p_b), α dan μ konstan.

Persamaan (11) dapat diubah menjadi:

$$\pi_1^* = e^{4.749} (\pi_2)^{1.089} (\pi_3)^{0.088} (\pi_4)^{0.606} (\pi_5)^{0.093} (\pi_6)^{0.716} \quad \text{......(12)}$$

Hasil pengujian koefisien regresi secara bersama-sama didapatkan koefisien korelasi (r) sebesar = 0.776

Persamaan 12 dapat dijabarkan berdasarkan peubah tidak bebas dan peubah bebas seperti persamaan berikut ini:

$$(D/W_b)^* = e^{4.749} (d_b/l_b)^{1.809} (v_b^2/glb)^{0.088} (l_b^2C/W_b)^{0.606} (C/\tau l_b)^{0.093} (\tan \varnothing)^{0.716} \quad \text{......(13)}$$

di mana

$(D/W_b)^*$ adalah nilai (D/W_b) untuk (l_b/p_b), (r_b/p_b), α dan μ konstan, serta peubah bebas l_b, W_b dan τ nilainya konstan yaitu $l_b = 1.10$, $W_b = 4414.5$ N dan $\tau = 25.849$ kN/m^3.

Persamaan (13) menunjukkan bahwa tahanan tarik (D)* dipengaruhi oleh besaran nilai dari kedalaman pembajakan (d_b), kecepatan pembajakan (v_b), kohesi tanah (C) dan sudut gesekan dalam tanah ($\tan \varnothing$) untuk kondisi lebar pembajakan (l_b), berat bajak (W_b) dan berat butir tanah (τ) mempunyai nilai konstan.

Hasil analisis regresi persamaan pendugaan tahanan tarik tertera pada Tabel 6.

Tabel 6. Analisis Regresi Persamaan Pendugaan Tahanan Tarik

Peubah π	Nilai Rata-Rata	Simpangan Baku	Koefisien Regresi	Kesalahan Baku	Parsial R^2
$\pi_1 = \ln (D/Wb)^*$	1.123	0.602	-	-	-
$\pi_2 = \ln (d_b/l_b)$	-1.779	0.228	1.809	0.168	0.448
$\pi_3 = \ln (v_b^2/gl_b)$	-3.506	0.802	0.088	0.055	0.107
$\pi_4 = \ln (l_b^2C/W_b)$	2.305	0.304	0.606	0.147	0.107
$\pi_5 = \ln (C_b/\tau l_b)$	1.805	1.873	0.093	0.021	0.124
$\pi_6 = \ln \tan (\varnothing)$	-2.326	0.151	0.716	0.253	0.053
Konstanta	-	-	4.749	-	-

Hubungan parsial antara ln π_1 dan ln π_2 mempunyai korelasi posisitf dengan nilai R^2 parsial sebesar 0.45 di mana dengan meningkatnya nilai ln π_2 akan memperbesar nilai ln π_1. Kedalaman pembajakan (d_b) meningkat pada keadaan lebar pembajakan (l_b) konstan akan memperbesar nilai tahanan tarik tanah (D)* pada berat bajak (W_b) yang tetap. Koefisien regresi dari ln π_2 adalah 1.809.

Kedalaman pembajakan mempunyai pengaruh yang nyata terhadap besarnya tahanan tarik tanah. Perbedaan yang nyata dari kedalaman pembajakan d_{b1} sebsar 0.14 m menjadi 0.18 m pada kedalaman pembajakan d_{b2} dan 0.24 m pada kedalaman pembajakan d_{b3} memberikan kenaikan yang nyata pada tahanan tarik pembajakan.

Kecepatan pembajakan mempunyai pengaruh yang kurang nyata terhadap besarnya tahanan tarik tanah ln π_1 , mempunyai hubungan parsial dengan ln π_3 dan nilai R^2 parsial sebesar 0.02 yang berarti nilai ln π_1 mempunyai korelasi yang tidak nyata dengan ln π_3. Kenaikan nilai ln π_3 memberikan kenaikan yang tidak nyata pada nilai ln π_1. Berarti kenaikan kecepatan pembajakan (v_b) tidak nyata memberikan peningkatan pada nilai tahanan taik tanah (D) pada keadaan lebar pembajakan (l_b) yang konstan. Koefisien regresi dari ln π_3 adalah sebesar 0.088.

Perbedaan dari kecepatan pembajakan pada gigi transmisi low 1 dengan RPM 1600 sebesar 0.46 m/detik pada kedalaman 0.14 m menjadi 0.42 m/detik pada kedalaman 0.18 m dan 0.32 m/detik pada kedalaman pembajakan 0.24 m. Pada gigi transmisi low 2 dengan RPM 1600 kecepatan pembajakan sebesar 0.70 m/detik pada kedalaman pembajakan 0.14 m menjadi 0.57 m/detik pada kedalaman 0.18 m dan 0.47 m/detik pada kedalaman pembajakan 0.24 m. Pada gigi transmisi low 3 dengan RPM 1600 kecepatan pembajakan sebesar 0.91 m/detik pada kedalaman pembajakan 0.14 m menjadi 0.72 m/detik pada kedalaman pembajakan 0.18 m dan menjadi 0.61 m/detik pada kedalaman pembajakan 0.24 m. Tidak adanya perbedaan yang nyata dari kecepatan pembajakan menyebabkan kenaikan yang tidak nyata pada tahanan tarik pembajakan. Menurut Randolph dan Reed (1938) dalam Kepner et al (1982), Gill dan Vanden Berg (1968), Gee-Clough (1980), Baver (1959), Smith dan Wilkes (1978) semakin meningkat kedalaman serta kecepatan pembajakan akan memperbesar nilai tahanan tarik pembajakan.

Hubungan parsial antara ln π_1 dengan ln π_4 dan ln π_5 mempunyai nilai R^2 parsial sebesar 0.11 dan 0.12. Koefisien regresi dari ln π_4 dan ln π_5 adalah 0.606 dan 0.093 dan untuk nilai kohesi tanah koefisien regresinya adalah 0.699. Kenaikan nilai kohesi tanah (C) memberikan kenaikan yang nyata pada nilai tahanan tarik (D) pada keadaan lebar pembajakan (l_b), berat bajak (W_b) dan berat butir tanah (τ) yang konstan. Ln π_1 mempunyai hubungan parsial dengan ln π_6 dengan nilai R^2 sebesar 0.05. Kenaikan parsial dengan ln π_6 akan menyebabkan meningkatnya nilai ln π_1. Kenaikan nilai sudut gesekan dalam tanah (tan $\varnothing$) pada keadaan lebar pembajakan (l_b), berat bajak (W_b) dan berat butir tanah (τ) yang tetap menyebabkan meningkatnya nilai tahanan tarik tanah.

Koolen (1977) dan McKyes (1985) menyatakan bahwa tahanan tarik pembajakan bertambah besar dengan bertambahnya sudut gesekan dalam tanah.

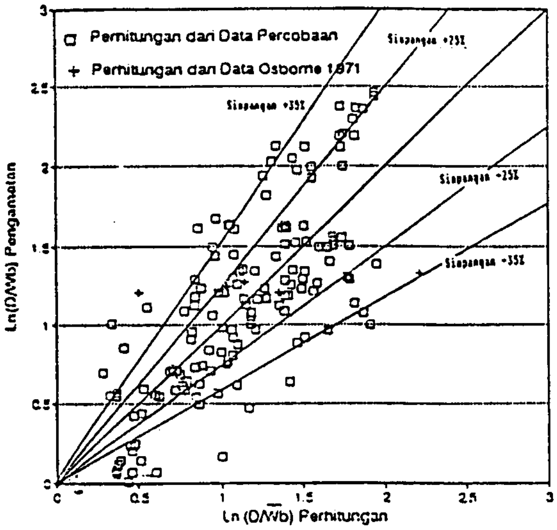
Hubungan grafik antara ln (D/W_b) data hasil pengamatan dengan ln (D/W_b)* hasil pendugaan berdasarkan perhitungan dengan regresi berganda ditampilkan pada Gambar 2. Dan untuk menguji keabsahan dari persamaan pendugaan ln (D/W_b)* yang didapatkan dari hasil percobaan ini, juga dilakukan pengujian data hasil percobaan dari Osborne (1971). Peubah bebas yang digunakan di dalam penelitian Osborne (1971) sama dengan peubah bebas yang digunakan dalam percobaan ini. Perbedaan yang ada terletak pada peubah yang bebas mempunyai nilai yang tidak sama dengan percobaan yang dilakukan. Penelitian Osborne (1971) menggunakan nilai peubah bebas berat bajak (W_b)

yang konstan sebesar 5.61 kN. Nilai lebar pembajakan merupakan peubah bebas bervariasi dari 70.56 cm sampai dengan 97.36 cm di dalam penelitian Osborne (1971).

Data pengamatan lapang penelitian Osborne (1971) yang tertera pada Tabel 7, dimasukkan ke dalam persamaan (11) dan disatukan dengan data hasil percobaan.

Tabel 7. Data Hasil Penelitian Osborne (1971)

No. Petak	l_b cm	d_b cm	v_b m/det	C kN/m^2	Ø °	τ kN/m^3	W_b kN	D kN
24	70.1	19	1.7	29	28	26	572	17
26	85.9	19	1.6	20	36	26	572	16
27	97.5	19	2.0	23	40	26	572	15
28	89.7	22	1.8	10	34	26	572	15
29	75.8	22	1.9	14	36	26	572	15



Gambar 2. Hubungan Tahanan Tarik antara Data Hasil Pengamatan dan Perhitungan

Data hasil percobaan ditampilkan pada Gambar 2 dalam bentuk garis lurus. Data hasil percobaan Osborne (1971) ditampilkan pada Gambar 2 dalam bentuk tanda silang. Data hasil pendugaan dengan persamaan (11) berada dalam selang kelompok data pengamatan lapangan.

Jumlah populasi yang dapat diterima dengan penyimpangan 25% dari nilai ln $(D/W_b)^*$ hasil pengamatan lapang adalah 60% dari jumlah populasi hasil pendugaan dengan persamaan (11). Penyimpangan 35% dari nilai ln $(D/W_b)^*$ hasil pengamatan lapang yang dapat diterima adalah 85% jumlah populasi hasil pendugaan dengan persamaan (11). Besarnya penyimpangan yang diberikan agar populasi hasil pendugaan dengan persamaan dapat diterima disebabkan masih banyak faktor/peubah bebas yang berhubungan dengan bentuk alat bajak yang digunakan, atau cara kerja alat serta sifat fisik dan mekanika tanah yang belum dimasukkan ke dalam persamaan pendugaan tahanan tarik.

Hubungan Daya Tarik, Efisiensi Traksi dan Slip

Besarnya daya tarik yang digunakan dalam operasi pembajakan dalam percobaan ini didapatkan dengan melakukan perkalian antara tahanan tarik rata-rata hasil pengukuran dengan kecepatan operasi pembajakan yang dilakukan. Daya traksi yang diperlukan untuk pengolahan tanah dengan bajak singkal dengan lebar pembajakan 1.10 m pada percobaan yang telah dilakukan berkisar dari 1.708 kW sampai dengan 34.889 kW atau berkisar dari 5.83% sampai dengan 64.27% dari tenaga traktor yang tersedia pada motor traktor. Sebagian data hasil percobaan dan hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 8, dapat dilihat hubungan antara daya yang ada pada traktor (P_{DB} dan P_{BR}), slip dan efisiensi traksi terhadap gaya tarik *drawbar* dalam hal ini adalah sama besar dengan nilai tahanan tarik, pada selang kadar air KA_i, lebar ban B_i dan pemberat P_{bi}. Tahanan tarik yang bertambah besar akan menyebabkan meningkatnya nilai gaya tarik *drawbar* yang diperlukan untuk mengatasi slip yang terjadi.

Hubungan slip roda traksi dengan besarnya gaya tarik *drawbar* ditampilkan pada

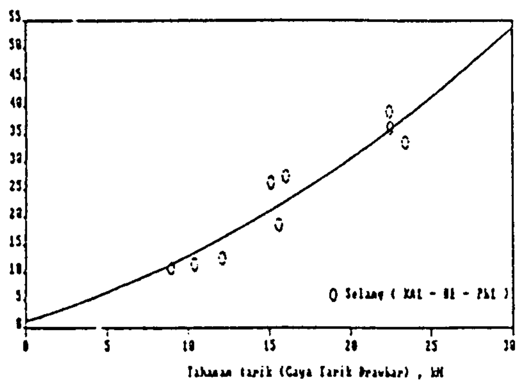
Gambar 3. Dari Gambar 3 didapatkan hubungan slip roda dengan gaya tarik *drawbar* mengikuti persamaan regresi pangkat 2 sebagai berikut:

$s = 0.046\ Fd_b^2 + 0.0442\ Fd_b + 1.992$ ....(14)

dengan nilai R^2 sebesar 0.9.

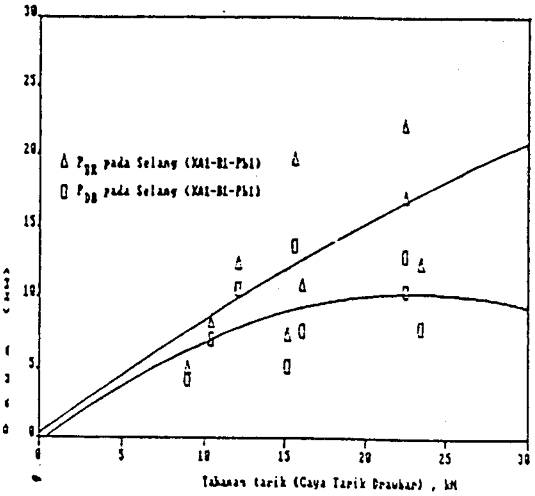
Tabel 8. Hubungan antara Daya pada Traktor, Slip dan Efisiensi Traksi terhadap Gaya Tarik *Drawbar* (Tahanan Tarik) pada Selang Kadar Air (KA_i), Lebar Ban (B_i) dan Pemberat (P_{bi})

Perlakuan B P K d v	Tahanan Tarik (kN)	Slip (%)	PDB (kW)	PBR (kW)	Efisiensi Traksi (%)
1 1 1 1 1	8.950	10.7	4.2	4.7	88.2
1 1 1 1 2	10.403	11.4	7.1	8.1	87.6
1 1 1 1 3	12.124	12.5	10.5	12.2	86.5
1 1 1 2 1	15.137	26.3	5.1	7.2	71.9
1 1 1 2 2	16.037	27.3	7.5	10.7	70.8
1 1 1 2 3	15.576	18.5	13.6	19.6	69.5
1 1 1 3 1	23.475	33.6	7.9	12.3	64.2
1 1 1 3 2	22.480	36.0	10.5	16.9	61.8
1 1 1 3 3	22.444	39.2	12.9	22.0	58.7



Gambar 3. Hubungan Tahanan Tarik (Gaya Tarik *Drawbar*) dengan Slip Roda Traksi pada Selang Kadar Air (KA_i), Lebar Ban (B_i) dan Pemberat (P_{bi})

Hubungan daya yang ada traktor dengan gaya tarik *drawbar* disajikan pada Gambar 4. Dari gambar tersebut diperlihatkan hubungan antara daya *drawbar* dan daya pada roda gaya dengan gaya tarik *drawbar* yang optimum sebesar 60% memberikan daya tarik *drawbar* yang optimum sebesar ± 23 kN, sedangkan daya yang tersedia pada roda gila didapatkan sebesar ± 20 kW dengan slip yang terjadi pada roda traksi sebesar ± 20%.



Gambar 4. Hubungan antara Daya yang Tersedia pada Traktor (P_{DB} dan P_{BR}) dengan Gaya Tarik *Drawbar* (Tahanan Tarik) pada Selang Kadar Air (KA_i), Lebar Ban (B_i) dan Pemberat (P_{bi})

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Faktor-faktor yang mempengaruhi tahanan tarik tanah adalah kondisi tanah awal, bentuk alat bajak dan cara kerja alat. Kondisi tanah awal yang berpengaruh nyata adalah sifat fisik tanah yang terdiri dari tekstur tanah dan kadar air tanah. Sifat mekanika tanah yang berpengaruh nyata adalah kohesi tanah dan sudut gesekan dalam tanah. Faktor bentuk alat bajak tidak ada yang berpengaruh karena tidak ada faktor yang menjadi peubah bebas. Faktor kerja alat yang berpengaruh nyata adalah kedalaman pembajakan, sedangkan kecepatan pembajakan berpengaruh kurang nyata terhadap tahanan tarik tanah.

Tahanan tarik pembajakan pada tanah berkadar liat tinggi dapat diduga dengan persamaan:

$$(D/W_b)^* = e^{4.749}\,(d_b/l_b)^{1.809}\,(v_b^2/gl_b)^{0.088}\,(l_b^2C/W_b)^{0.606}\,(C/\tau l_b)^{0.093}\,(\tan \varnothing)^{0.716} \quad \text{.......................(15)}$$

di mana:
$(D/W_b)^*$ adalah nilai (D/W_b) untuk (l_b/p_b), (r_b/p_b), α dan μ konstan serta nilai peubah bebas l_b = 1.10 m, W_b = 4414.5 N dan τ = 25.849 kN/m^3 tetap nilainya.

Penyimpangan sebesar 25% dari nilai pengamatan ln π_1, jumlah populasi pendugaan dengan persamaan (6) yang dapat diterima adalah sebesar 60%, sedangkan dengan penyimpangan 30% dari nilai pengamatan ln π_1, populasi yang diterima adalah 85% dari seluruh populasi hasil pendugaan.

Analisis regresi berganda secara parsial dari ln $(D/W_b)^*$ mempunyai korelasi yang nyata dengan ln (d_b/p_b) dan ln (tan $\varnothing$). Ln $(D/W_b)^*$ mempunyai korelasi yang tidak nyata dengan ln (v_b^2/gl_b), ln (l_b^2C/W_b) dan ln $(C/\tau l_b)$.

Pemakaian ban berukuran yang lebih besar yaitu 18.4/15-30 pada traktor 2 WD dengan daya pada motor sebesar $\pm$ 54 kW serta pemberian tambahan pemberat berupa pengisian air sampai ¾ roda traksi dengan tambahan pemberat 4414.5 N, pada pengolahan tanah dengan bajak singkal dengan kecepatan traktor rendah pada transmisi L-1, RPM 1600 memberikan tahanan tarik spesifik dan daya tarik yang kecil. Juga memberikan efisiensi traksi yang tinggi pada tanah berkadar liat tinggi dengan selang kadar air sebelum mencapai batas plastis dan pada konsistensi tanah yang remah, dengan slip yang terjadi pada roda traksi antara 10 sampai 20%.

Saran

Pengolahan tanah dengan bajak singkal pada lahan kering berkadar liat tinggi sebaiknya dilakukan pada selang kadar air sebelum mendekati batas plastis tanah (lebih kecil dari 44%) di mana tanah mempunyai konsistensi remah.

Untuk dapat menduga secara praktis besarnya tahanan tarik dari pembajakan dengan bajak singkal berdasarkan hubungan matematis yang didapat perlu dibuatkan peta mekanika tanah dari lahan berkadar liat tinggi terutama sehubungan dengan sifat kohesi tanah dan sudut gesekan dalam dari tanah.

Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan untuk memasukkan faktor/peubah bebas yang berhubungan dengan bentuk alat bajak, cara kerja alat serta sifat fisik dan mekanika tanah yang belum dimasukkan ke dalam persamaan pendugaan tahanan tarik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Agricultural Engineers Yearbook. 1983. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph Mich. USA.

2. Baver, L.D. 1959. Soil Physics. 3rd ed. John Wiley & Sons. Inc. New York.

3. ________., W.H. Gardner dan W.R. Gardner. 1972. Soil Physics. 4th ed. John Wiley & Sons. Inc. New York.

4. Bridgman, P.W. 1978. Dimensional Analysis. New Haven and London: Yale University Press. AMS Press Inc, New York.

5. Gee-Clough, D. 1980. Selection of Tyre Sizes. Journal of Agric. Engng. Res. 25:261-278.

6.________.. G. Pearson and M. Mc-Allister. 1982. Ballasting Wheeled Tractors to Achieve Maximum Power Output in Frictional-Cohesive Soils. J.Agric. Engng Res., 27 (2):261-278.

7.Gill, W.R. and G.E. Vanden Berg. 1968. Soil Dynamics in Tillage and Traction. Agricultural Research Service, Washington.

8.Hendrick, J.K. and A.C. Bailey. 1982. Determining Components of Soil-Metal Sliding Resistance. Trans. ASAE. 25(4):845-849.

9.Ismail, S.M., G.Singh dan D.Gee Clough. 1981. A Preliminary Investigation of a Combined Slip and Draught Control for Tractors. J.Agric.Engng. Res. 26 (4):293-306.

10.Koolen, A.J. 1977. Soil Loosening Processes in Tillage. Analysis, Systematics and Predictability. H. Veenman & Zonen B.V., Wgeningen.

11.Kramadibrata, M.A.M. 1990. Disposition to the Use of Cone Index for Predicting Traction Performance Characteristics. Third Joint Seminar on Agricultural Engineering and Technology. Bogor, 8-9 October 1990. JICA-IPB, Bogor Indonesia.

12.Kuczewski, J. 1981. Soil Parameter for Predicting the Draught of Model Plough Bodies. J. Agric. Engng. Res 26 (3):193-201.

13.Lal, R. 1959. Measurement of forces on mounted implements. Transaction of the ASAE, 2 (1):109-111.

14.Lapidus, L. 1962. Digital Computation for Chemical Engineers McGraw-Hill Book Co. Inc. New York.

15.Liljedahl, J.B., W.M. Carleton, P.K. Turnguist dan D.W. Smith. 1979. Tractors and Their Power Units. Jon Wiley & Sons. New York.

16.McKyes, E. 1985. Soil Cutting and Tillage. Development in Agricultural Engineering 7. Elsevier Science Pub. B.V. Amsterdam The Netherlands.

17.Murphy, B. 1950. Similtude in Engineering. The Ronald Press Co. New York.

18.Osborne, L.E. 1971. A Field Compariosn of the Performance of Two and Four-Wheel Drive and Tracklaying Tractors. J. Agric. Engng. Res. 16 (1):46-61.

19.Plackett, C.W. 1985. A review of Force Prediction Methods for off-road wheels. J. Agric. Engng. Res. 31:1-29.

20.Schafer, R.L., W.R. Gill and C.A. Reaves. 1977. Lubricated Plows vs. Sticky Soils. Agricultural Engineering. Oct:34-37.

21.Scholtz, D.C. 1966. A Three Point Linkage Dynamometer for Restrained Linkages. J. Agric. Engng. Res. 11 (1):33-37.

22.Wanders, A.A. 1978. Pengukuran Energi. Di dalam Strategi Mekanisasi Pertanian. Kerjasama IPB-LH W. Bogor.

23.Whitney, B.D. and K.E. Oskui. 1982. The Basis of Tractor Power Selection on Arable Farms. J. Agric. Engng. Res. 27:513-527.