

PENDUGAAN GAYA PENARIKAN BAJAK SINGKAL LOKAL MENGUNAKAN BAJAK PAHAT

(DRAUGHT PREDICTION OF LOCAL MADE MOULDBOARD PLOW USING A TINE)

Bambang Purwantana¹⁾; Tamtomo¹⁾

ABSTRACT

An investigation to predict the draught required by local made mouldboard plow was conducted. A methodology was developed based upon an existing force prediction model which describes the draught of tine as the product of two factors, related to soil strength and tool geometry respectively. The experiments were conducted in a two steps, involving (1) establishing, in a reference soil, some comparative draught relationship (tool index, *I*) between each of local made mouldboard plows and the standard tine over a range of plowing depths, and (2) measuring the draught of standard tine and local made mouldboard plows in field. The methodology was validated in three field soil conditions.

The results showed that the local mouldboard plows index (*I*) could be described as three order of polynomial equation based on its plowing depth (*d*). In the three field soil condition, the average prediction error for mouldboard plows from Sleman, Gunungkidul, Kulonprogo, Purworejo, and Cilacap were 10.08%, 18.76%, 12.59%, 10.58%, and 12.26% respectively. The lowest error value was 8.54% and the highest error value was 25.63.

Key word : plow index, draught prediction, mouldboard plow, standard tine

PENDAHULUAN

Alat pengolah tanah merupakan perlengkapan mekanis untuk menerapkan gaya pada tanah yang mengakibatkan gejala seperti pemecahan, pemotongan, pembalikan, atau gerakan tanah. Besarnya gaya, berhubungan erat dengan sifat mekanis tanah (Koolen dan Kuipers, 1983). Reaksi tanah terhadap gaya yang diberikan alat pengolah tanah selama proses pengolahan dipengaruhi oleh tahanan tanah terhadap tekanan, tahanan geser, tahanan adhesi, dan tahanan gesek. Cara gerakan tanah juga mempengaruhi gejala dinamik ini (Gill dan Vanden Berg, 1968).

Usaha yang banyak dilakukan untuk mengukur besarnya gaya pengolahan tanah adalah membuat pendekatan dengan membangun suatu model atau pendugaan. Koolen (1972) meneliti bentuk patahan dan gerakan tanah pada pisau lengkung secara dua dimensi. Model tiga dimensi dari patahan tanah dikemukakan oleh Godwin dan Spoor (1977). Selanjutnya McKyes (1978) merumuskan model tiga dimensi yang dirancang untuk

berbagai konsistensi tanah, koefisien pisau terhadap gesekan, dan rasio lebar dan kedalaman bidang angkat. Stafford (1984) mengembangkan model pendugaan gaya untuk patahan dan aliran keruntuhan tanah oleh penarikan alat pengolah tanah. Singh (1986) melakukan pendekatan dengan model energi yaitu menduga energi optimal pengolahan tanah dengan pendekatan kerapatan tanah. Bowers (1989) mengaitkan gaya penarikan alat dengan parameter yang relevan seperti kedalaman, kecepatan, kandungan lengas dan kepadatan tanah. Pendekatan-pendekatan melalui proses dan mekanika tanah tersebut telah secara nyata membantu mendorong dikembangkan metode-metode pengukuran gaya penarikan alat pengolah tanah.

Desbiolles et al. (1997) telah mencoba mengembangkan suatu metode pendugaan gaya penarikan yang didasarkan atas hubungan komparatif yang ditetapkan pada suatu kondisi tanah acuan tertentu, dan berlaku untuk berbagai jenis alat pengolah tanah. Dengan metode ini besarnya gaya penarikan alat pengolah tanah diduga dengan suatu alat pengolah tanah acuan dengan cara memasukkan faktor pengali berupa suatu indek alat. Metode ini dikembangkan berdasarkan konsep alat acuan dari hasil penelitian Glancey et al. (1991). Gaya penarikan alat pengolah tanah diduga berdasarkan gaya penarikan alat pengolah tanah acuan yang diukur pada kondisi lapang serta dari nilai indek alat pada kedalaman pengolahan yang bersesuaian.

Bajak singkal lokal pada umumnya diproduksi oleh masyarakat secara manual. Kelebihan utama dari bajak singkal lokal adalah kinerjanya telah teruji oleh kondisi setempat. Namun demikian bajak lokal pada umumnya mempunyai bentuk geometri yang sangat bervariasi sehingga kebutuhan tenaga penarikannya secara analitis sulit ditentukan dan tidak bisa diberlakukan secara umum. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pendugaan gaya penarikan bajak singkal lokal dengan membuat suatu nilai indeks bajak singkal lokal menggunakan bajak pahat standar sebagai bajak acuan. Keakuratan pendugaan ditentukan berdasarkan tingkat kesalahan hasil perhitungan berdasarkan indeks yang diperoleh terhadap hasil pengukuran di lapangan.

¹⁾ Staf Pengajar Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada

Notasi :

α	Sudut mata bajak, °
δ	Sudut gesek alat-tanah, °
γ	Berat unit tanah, kN/m ³
ϕ	Sudut gesek internal tanah, °
c	Kohesi tanah, kN/m ²
c_a	Adhesi tangensial tanah-alat, kN/m ²
d	Kedalaman kerja, m
D	Gaya penarikan (<i>draught</i>) pada kondisi lapangan, kN
D'	Gaya penarikan (<i>draught</i>) pada tanah acuan, kN
e	Kesalahan pendugaan, %
g	Percepatan gravitasi, m/s ²
G	Faktor geometri, m
I	Index alat (rasio gaya penarikan bajak terhadap bajak pahat standar)
m	Rasio jarak runtuh kedepan
N_γ, N_c, N_w, N_q	N faktor (tanpa dimensi)
q	Tekanan tambahan pada permukaan tanah, kN/m ²
R_a^2	Koefisien perubah, %
S	Faktor kekuatan tanah, kN/m
w	Lebar bajak, m
Subskript untuk D dan G	
s	Bajak pahat standar
t	Bajak

MODEL PENDUGAAN

Model teoritis gaya-gaya pengolahan tanah yang dikembangkan oleh Godwin dan Spoor (1977), digunakan sebagai acuan untuk metodologi pendugaan. Sebuah bajak pahat dengan permukaan datar, lebar pemotongan seragam, tanpa sisi tajam maupun efek gesekan di sisi badan bajak, dipergunakan sebagai bahan analisis. Persamaan gaya penarikan bajak pahat (D) pada kecepatan kerja yang rendah (*quo-static condition*) pada tanah yang homogen yang mengikuti kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb, serta diatur pada kedalaman pengolahan tanah d yang lebih kecil daripada kedalaman kritisnya dinyatakan dengan :

$$D = (\gamma d^2 N_\gamma + cdN_c + c_a dN_c + qdN_q) \times (w + mds \sin \left(\cos^{-1} \left(\frac{\cot \alpha}{m} \right) \right) \sin(\alpha + \delta) + c_a w d \cot \alpha \quad (1)$$

Apabila model diterapkan pada tanah yang tidak beradhesi dan tidak ada tambahan tekanan pada permukaan tanah ($c_a = 0, q = 0$), persamaan (1) dapat disederhanakan :

$$D = (\gamma d^2 N_\gamma + cdN_c) \left(w + mds \sin \left(\cos^{-1} \left(\frac{\cot \alpha}{m} \right) \right) \right) \times (\sin \delta + \tan \alpha \cos \delta) \cos \alpha \quad (2)$$

Pada bajak pahat standar, sudut bajak $\alpha = 45^\circ$ sedemikian sehingga $\tan \alpha = 1$ dan $m = 2$ (Goodwin dan Spoor, 1977), maka gaya penarikan bajak standar D'_s adalah:

$$D'_s = (\gamma d^2 N_\gamma + cdN_c) (\sin \delta + \cos \delta) \times (0.707w + 1.225d) \quad (3)$$

Dari persamaan (3), gaya penarikan dapat diinterpretasikan atas produk dua komponen yaitu faktor kekuatan tanah (S) dan faktor geometri bajak standar (G_s),

$$D'_s = S \times G_s \quad (4)$$

dengan

$$S = (\gamma d^2 N_\gamma + cdN_c) (\sin \delta + \cos \delta) \quad (5)$$

$$G_s = (0.707w + 1.225d) \quad (6)$$

Pada kondisi tanah acuan, faktor kekuatan tanah (S) merefleksikan keseluruhan aspek internal tanah (c dan ϕ), dan eksternal (δ). Pada alat pengolah tanah dengan faktor geometri alat (G_t) yang bekerja pada tanah dengan kondisi kekuatan tanah (S), dapat secara sederhana dirumuskan sebagai berikut :

$$G_t = \frac{D'_t}{S} \quad (7)$$

Indek alat (I) didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya penarikan alat pengolah tanah dengan bajak pahat standar pada kondisi tanah acuan pada kedalaman yang ditentukan dan dinyatakan sebagai :

$$I = \frac{D'_t}{D'_s} \quad (8)$$

Dalam penjabaran metode pendugaan, validitas I telah diperluas sehingga mencakup rentang yang luas dari kondisi tanah sehingga telah memenuhi dasar dari model pendugaan. Dengan demikian gaya penarikan suatu alat pengolahan tanah (D_t) pada kondisi tertentu dapat diduga dari gaya penarikan pada bajak pahat standar (D_s) pada kondisi tersebut. Berdasarkan pendekatan tersebut maka apabila model diterapkan pada bajak singkal lokal akan diperoleh suatu hubungan komparatif antara alat bajak singkal lokal dengan bajak pahat standar yang ditunjukkan dengan suatu nilai indek dari bajak singkal tersebut.

METODE PENELITIAN

Penelitian Laboratorium

Penelitian laboratorium dilaksanakan di Laboratorium Daya dan Mesin Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Penelitian dilaksanakan khususnya untuk memperoleh nilai indeks bajak yaitu hubungan komparatif antara gaya penarikan bajak lokal terhadap bajak pahat standar.

Media Pengujian

Media percobaan adalah tanah yang telah dilumpurkan kembali serta telah dikembalikan pada kondisi aslinya dalam kotak tanah (soil-bin) dengan ukuran 90 cm x 60 cm

x 50 cm. Jenis tanah yang digunakan adalah geluh lempungan dengan berat volume (BV) 1,28 gram/cm³, kadar air (Ka) rata-rata 22,98%, tekstur tanah granuler halus-sedang, dengan prosentase lempung 38,19%, debu 37,69%, dan pasir 24,12%. Percobaan dilakukan secara terpisah untuk setiap jenis alat dengan dua kali ulangan serta lima variasi kedalaman.

Pengukuran geometri bajak

Lima buah bajak singkal lokal, masing-masing bajak dari Cilacap, Purworejo, Kulonprogo, Sleman, dan Gunungkidul, dan sebuah bajak pahat standar digunakan dalam penelitian ini. Pengukuran geometri bajak dimaksudkan untuk mengetahui spesifikasi detail dari bajak. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan profilograf dengan menentukan koordinat titik-titik permukaan bajak dalam proyeksi x, y dan z. Spesifikasi bajak-bajak hasil pengukuran tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi bajak yang digunakan untuk penelitian

Spesifikasi	I	II	III	IV	V	VI
Nama	Bajak pahat	Bajak singkal				
Buatan	FTP	Sleman	Gn.Kidul	Kl.Progo	Purworejo	Cilacap
Bahan dasar	Plat besi	Plat besi	Kayu	Kayu	Plat besi	Kayu
Ukuran :						
- panjang (mm)	210	242	412	456	244	428
- lebar (mm)	70	318	300	276	294	300
- tinggi (mm)	210	236	150	255	200	143
- sudut balik (°)	-	24	42	48	40	38
- sudut patah (°)	45	36	16	15	40	7

Kalibrasi strain gauge

Pengukuran gaya penarikan bajak dilakukan dengan menggunakan sensor gaya strain-gauge yang dipasang pada suatu kerangka penggandeng. Kalibrasi dilakukan untuk mengkonversi sinyal tegangan yang dihasilkan ke satuan gaya. Kalibrasi dilakukan dengan mengukur tegangan yang terbaca pada setiap pembebanan, dari 0, 5, 10, 15, ... , sampai dengan 80 kg. Hasil pembacaan diplotkan pada suatu grafik dan secara regresi ditentukan persamaannya. Hasil kalibrasi menghasilkan persamaan regresi $D = 727,37V + 0,84$ dengan D adalah beban (kg) dan V adalah tegangan yang terbaca (Volt).

Pengukuran gaya penarikan

Pengukuran gaya penarikan terhadap lima bajak lokal dan satu bajak standar dilakukan secara terpisah masing-masing sebanyak dua kali ulangan dengan menggunakan perangkat soil bin beserta unit penggerak dan instrumentasinya. Variasi kedalaman olah adalah 30 mm, 60 mm, 90 mm, 120 mm dan 150 mm dan dilakukan pada kecepatan pembajakan sekitar 3 km/jam. Gaya yang diukur adalah gaya taik horisontal, dengan menggunakan sensor

gaya strain-gauge dengan perlengkapan strain amplifier dan data recorder

Penelitian Lapang

Penelitian lapang dilakukan di Kebun Pendidikan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (KP4), Kalitirto, Berbah, Sleman, Yogyakarta. Penelitian lapang dilakukan untuk menguji dan mengevaluasi keakuratan model pendugaan yang diperoleh dari penelitian laboratorium dalam penerapannya di lapangan. Pengukuran gaya penarikan terhadap bajak singkal dan bajak pahat dilakukan pada tiga kondisi lahan. Kondisi spesifik dari ketiga lahan tersebut ditunjukkan melalui Tabel 2. Traktor tangan ISEKI KL781 digunakan sebagai sumber daya penarikan untuk bajak-bajak yang diuji.

Prosedur pelaksanaan percobaan di lapangan adalah identik dengan pelaksanaan di laboratorium. Kedalaman pembajakan diatur dengan

interval 30 mm dengan kecepatan kerja traktor sekitar 3 km/jam. Pengukuran dilakukan secara terpisah dengan dua kali ulangan untuk setiap jenis bajak dan kondisi tanah. Data gaya penarikan dikumpulkan pada lintasan pembajakan sepanjang 6 meter untuk setiap blok.

Tabel 2. Kondisi tanah untuk pengujian lapang

Tanah	Jenis	BV (gr/cm ³)	Kekuatan (kg/cm ²)	Ka (%)
I	Liat	1,47 – 1,81	2,58 – 3,46	21,77
II	Geluh Pasiran	1,18 – 1,36	1,28 – 2,74	18,48
III	Pasiran	1,04 – 1,22	0,87 – 1,19	17,37

Analisis Hasil

Berdasarkan data percobaan di laboratorium dibuat analisis grafis dan matematis dalam bentuk persamaan hubungan antara kedalaman pembajakan dengan gaya penarikan yang diperlukan untuk masing-masing bajak

yang diuji. Kemudian ditentukan nilai indeks I , untuk masing-masing bajak lokal dengan menggunakan persamaan (8) pada kedalaman yang bersesuaian. Hubungan antara kedalaman olah dan nilai indeks selanjutnya dianalisis secara grafis dan matematis dengan membuat suatu persamaan.

Hubungan antara gaya penarikan masing-masing bajak pada setiap kondisi lahan atas dasar kedalaman pembajakannya dianalisis dengan membuat persamaan regresi dan dibandingkan dengan kinerja gaya penarikan bajak yang bersangkutan berdasarkan nilai indeks yang diperoleh dari percobaan di laboratorium. Analisis regresi dilakukan untuk menentukan karakteristik hubungan gaya penarikan-kedalaman olah, untuk tiap-tiap kombinasi tanah-alat serta tanah-bajak pahat yang diperoleh. Evaluasi keakuratan model pendugaan dilakukan dengan membuat perbandingan antara selisih nilai pengukuran dan nilai pendugaan dengan nilai pengukuran aktual pada kedalaman yang bersesuaian.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Gaya Penarikan Bajak

Rangkuman hasil pengukuran gaya penarikan bajak pada berbagai kedalaman disajikan pada Tabel 3. Hubungan antara gaya penarikan dengan kedalaman pembajakan dirangkum dalam suatu persamaan regresi seperti disajikan pada Tabel 4.

Secara umum hubungan antara kedalaman dan gaya penarikan dapat dinyatakan sebagai fungsi polinomial.

Hasil ini sesuai dengan pendekatan model seperti ditunjukkan melalui persamaan (3). Berdasarkan persamaan (3) tersebut, perbedaan perilaku pertambahan gaya penarikan ditentukan antara lain oleh geometri bajak khususnya perubahan kedalaman pembajakan. Perubahan lebar kerja bajak per unit pertambahan kedalaman juga berpengaruh terhadap besarnya perubahan gaya penarikan, disamping faktor perubahan sudut pemotongan dan sudut pembalikan. Dengan demikian berdasarkan hubungan antara geometri bajak yang diuji (Tabel 1), dan kinerja gaya penarikan yang ditunjukkan (Tabel 3 dan Tabel 4), dapat dirangkum beberapa catatan sebagai berikut : (1) hubungan gaya penarikan dengan kedalaman pembajakan dapat dinyatakan sebagai fungsi polinomial order 3; (2) rasio lebar pembajakan terhadap kedalaman berpengaruh terhadap perilaku gaya penarikan.

Indeks Bajak

Seperti dirumuskan melalui persamaan 8, indeks bajak didefinisikan sebagai gaya penarikan bajak relatif terhadap gaya penarikan bajak pahat standar. Untuk menentukan besarnya indeks bajak, maka hasil-hasil pengukuran gaya penarikan bajak-bajak lokal kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran gaya penarikan bajak standar. Perbandingan dilakukan untuk semua variasi kedalaman pembajakan, yaitu 30 mm, 60 mm, 90 mm, 120 mm dan 150 mm. Besarnya indeks berbagai jenis bajak pada berbagai kedalaman tersebut disajikan pada Tabel 5.

Tabel 3. Gaya penarikan bajak pada berbagai kedalaman.

Kedalaman (mm)	Gaya Penarikan (N)					
	Bajak pahat	Bajak Sleman	Bajak Kl.Progo	Bajak Gn.Kidul	Bajak Purworejo	Bajak Cilacap
30	123,38	153,01	98,25	143,69	131,25	120,88
60	216,57	305,55	240,42	238,59	272,53	284,15
90	310,97	456,20	368,56	369,39	450,08	458,42
120	381,91	626,09	603,78	512,55	552,21	570,56
150	499,44	690,85	700,53	568,96	684,69	669,69

Tabel 4. Persamaan regresi hubungan gaya penarikan dengan kedalaman pembajakan

Jenis Bajak	Persamaan Regresi Gaya Penarikan	Korelasi
Bajak Pahat Standar	$D = 0,000105d^3 - 0,0259d^2 + 4,8360d$	$R^2 = 0,9983$
Bajak Singkal Sleman	$D = -0,000151d^3 + 0,0262d^2 + 4,1050d$	$R^2 = 0,9966$
Bajak Singkal Gunungkidul	$D = -0,000077d^3 + 0,0119d^2 + 3,7953d$	$R^2 = 0,9902$
Bajak Singkal Kulonprogo	$D = -0,00018d^3 + 0,0473d^2 + 1,6896d$	$R^2 = 0,9901$
Bajak Singkal Purworejo	$D = -0,000083d^3 + 0,0157d^2 + 4,0320d$	$R^2 = 0,9962$
Bajak Singkal Cilacap	$D = -0,00017d^3 + 0,0032d^2 + 3,3787d$	$R^2 = 0,9982$

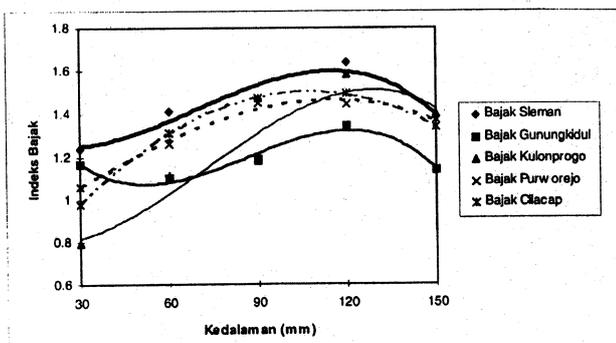
Tabel 5. Indeks beberapa bajak lokal pada berbagai kedalaman pembajakan.

Kedalaman (mm)	Indeks (I)				
	Bajak Sleman	Bajak Gn. Kidul	Bajak Kl.Progo	Bajak Purworejo	Bajak Cilacap
30	1,2402	1,1646	0,7963	1,0638	0,9797
60	1,4109	1,1017	1,1101	1,2584	1,3120
90	1,4670	1,1878	1,1852	1,4473	1,4742
120	1,6394	1,3421	1,5809	1,4459	1,4940
150	1,3832	1,1392	1,4026	1,3709	1,3407

Tabel 6. Persamaan regresi hubungan indeks bajak dengan kedalaman pembajakan

Jenis Bajak	Persamaan Regresi Indeks Bajak	Korelasi
Bajak Singkal Sleman	$I = -0,0000009d^3 + 0,000203d^2 - 0,0083d + 1,3446$	$R^2 = 0,8974$
Bajak Singkal Gunungkidul	$I = -0,0000015d^3 + 0,000338d^2 - 0,0295d + 1,7330$	$R^2 = 0,9503$
Bajak Singkal Kulonprogo	$I = -0,000001d^3 + 0,000227d^2 - 0,0069d + 0,8476$	$R^2 = 0,9152$
Bajak Singkal Purworejo	$I = -0,0000002d^3 - 0,0000013d^2 + 0,0086d + 0,8071$	$R^2 = 0,9875$
Bajak Singkal Cilacap	$I = -0,00000001d^3 - 0,000086d^2 + 0,0187d + 0,4963$	$R^2 = 0,9997$

Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa perilaku perubahan nilai-nilai indeks bajak lokal untuk berbagai kedalaman tersebut mengikuti perubahan lebar pemotongan tanah yang ditunjukkan oleh lebar bajak pada kedalaman pembajakan yang bersesuaian. Secara sederhana dengan menggunakan Tabel 5 tersebut telah dapat dilakukan suatu pendugaan gaya penarikan pada beberapa bajak lokal. Namun demikian perumusan secara umum perilaku nilai indeks atas dasar kedalaman pembajakan kiranya akan lebih praktis dan dapat digunakan dengan interval kedalaman kerja yang lebih luas. Untuk keperluan tersebut maka dibuat suatu persamaan regresi hubungan antara indeks bajak dengan kedalaman pembajakan seperti disajikan pada Tabel 6. Adapun grafik hubungan antara indeks bajak dengan kedalaman pembajakan disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik indeks bajak singkal sebagai fungsi kedalaman pembajakan

Berdasarkan persamaan-persamaan indeks bajak lokal yang diperoleh tersebut, terlihat bahwa sesuai dengan kinerja gaya penarikannya, hubungan antara indeks bajak dengan kedalaman pembajakannya dapat dinyatakan sebagai fungsi polinomial order 3. Atas dasar pola perubahan nilai indeks bajak terhadap kedalamannya tersebut juga dapat dilihat bahwa besarnya nilai indeks ditentukan pula oleh lebar pemotongan bajak pada kedalaman yang bersesuaian.

Pada bajak singkal Sleman, nilai indeks meningkat pada kedalaman sampai 60 mm dan mencapai puncaknya pada kedalaman 120 mm. Hal ini berkaitan dengan lebar pemotongan bajak yang cukup besar relatif terhadap bajak pahat pada kedalaman tersebut. Disamping itu juga karena terjadinya proses akumulasi tanah sebelum proses pembalikan melalui permukaan lengkung bajak. Pada bajak singkal Gunungkidul, lebar pemotongan sampai dengan kedalaman 90 mm relatif tidak banyak berubah sehingga nilai indeks bajak sampai kedalaman tersebut relatif sama. Peningkatan nilai indeks pada bajak singkal Kulonprogo sampai kedalaman 120 mm terjadi secara bertahap mendekati linier sesuai dengan pertambahan kedalaman dan lebar pemotongan. Kecenderungan yang sama terjadi pada bajak Purworejo dan Cilacap.

Kinerja Pendugaan

Hasil pengukuran gaya penarikan enam bajak yang beroperasi di tiga kondisi lahan pada berbagai kedalaman ditunjukkan melalui Tabel 7. Gaya penarikan dugaan berdasarkan persamaan indeks yang telah dirumuskan melalui percobaan laboratorium juga ditampilkan pada

Tabel 7 tersebut. Untuk mengevaluasi efektifitas dan keakuratan model pendugaan, Tabel 8 menyajikan nilai kesalahan pendugaan e , yaitu perbandingan antara selisih nilai gaya penarikan aktual di lapangan dengan nilai gaya

dugaan pada kedalaman yang bersesuaian terhadap gaya penarikan aktual, yang dinyatakan dalam persen. Secara visual kinerja pendugaan disajikan melalui Gambar 2.

Tabel 7. Gaya penarikan bajak hasil pengujian lapang dan gaya penarikan teoritis.

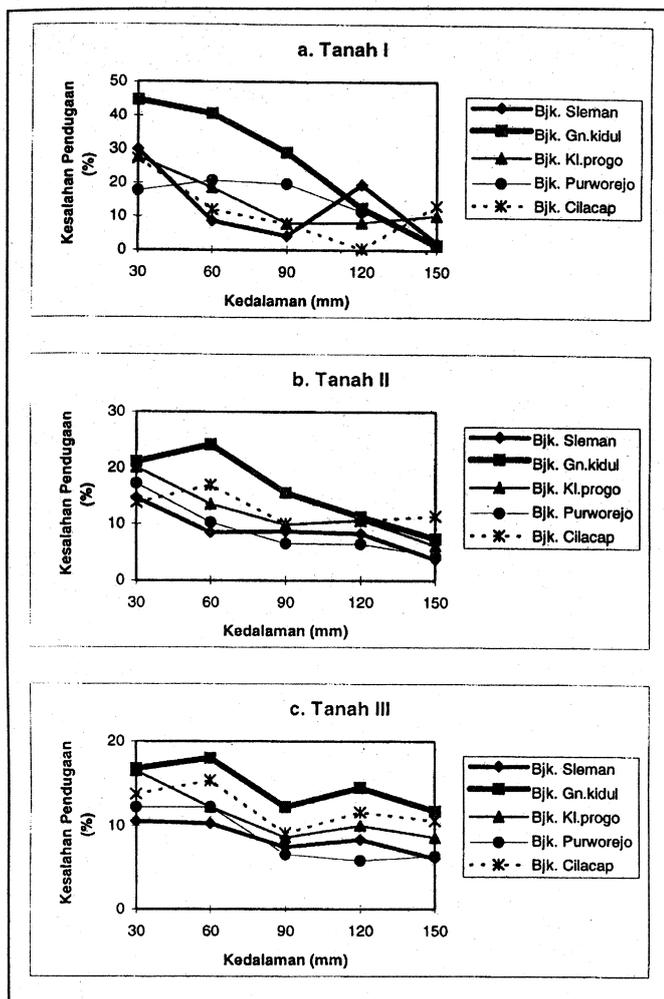
Tanah	Dalam (mm)	Gaya Penarikan (N)										
		Bajak Pahat	Bajak Sleman		Bjak Gn.Kidul		Bajak Kl.Progo		Bajak Purworejo		Bajak Cilacap	
			Ak)	Dg)	Ak)	Dg)	Ak)	Dg)	Ak)	Dg)	Ak)	Dg)
I	30	236	227	295	497	275	267	193	304	250	317	231
	60	336	506	462	609	362	324	384	541	429	499	439
	90	477	778	745	825	585	643	638	846	680	653	704
	120	647	1343	1082	1006	880	933	1009	1077	954	957	960
	150	946	1510	1477	1194	1178	1627	1461	1333	1317	1113	1260
II	30	209	307	262	309	244	214	171	267	221	238	205
	60	314	471	431	447	339	376	325	446	400	494	410
	90	429	734	670	622	525	636	573	654	611	704	633
	120	627	1144	1049	962	853	1095	978	989	925	1041	931
	150	934	1516	1459	1256	1163	1538	1443	1359	1301	1406	1245
III	30	217	304	272	304	253	212	177	262	230	247	213
	60	299	457	410	394	323	352	309	434	381	462	391
	90	422	712	659	589	517	617	564	643	601	685	623
	120	612	1116	1024	974	833	1061	955	959	903	1028	909
	150	886	1474	1384	1251	1104	1498	1369	1318	1234	1321	1181

Keterangan : Ak = aktual;

Dg = dugaan

Tabel 8. Kesalahan pendugaan pengukuran gaya penarikan

Tanah	Kedalaman (mm)	Kesalahan Pendugaan e (%)				
		Bajak Sleman	Bjak Gn.Kidul	Bajak Kl.Progo	Bajak Purworejo	Bajak Cilacap
I	30	29,95	44,67	27,72	17,76	27,13
	60	8,69	40,55	18,52	20,70	12,02
	90	4,24	29,09	7,93	19,62	7,81
	120	19,43	12,52	8,15	11,42	0,31
	150	2,19	1,34	10,20	1,20	13,21
	Rata-rata	12,90	25,63	14,50	14,14	12,09
II	30	14,66	21,04	20,09	17,23	13,87
	60	8,49	24,16	13,56	10,31	17,00
	90	8,72	15,59	9,91	6,57	10,08
	120	8,31	11,33	10,68	6,47	10,57
	150	3,76	7,41	6,18	4,27	11,45
	Rata-rata	8,79	15,91	12,08	8,97	12,63
III	30	10,53	16,77	16,51	12,21	13,77
	60	10,28	18,02	12,22	12,21	15,37
	90	7,44	12,22	8,59	6,53	9,05
	120	8,34	14,48	9,99	5,83	11,58
	150	6,11	11,75	8,61	6,37	10,59
	Rata-rata	8,54	14,65	11,18	8,63	12,07
Rata-rata total		10,08	18,76	12,59	10,58	12,26



Gambar 2. Kinerja pendugaan gaya penarikan beberapa bajak singkal Jawa

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kesalahan pendugaan rata-rata adalah antara 8,54% sampai dengan 25,63%. Kesalahan pendugaan rata-rata untuk bajak singkal Sleman, Gunungkidul, Kulonprogo, Purworejo dan Cilacap, berturut-turut adalah 10,08%, 18,76%, 12,59%, 10,58%, dan 12,26%. Berdasarkan jenis tanahnya maka pada tanah yang berat nilai kesalahan pendugaan relatif lebih besar dibanding jenis tanah yang lebih ringan. Pada tanah yang berat kesalahan pendugaan berkisar antara 12,09% sampai dengan 25,63% sedang pada tanah yang ringan nilai kesalahan adalah antara 8,54% sampai dengan 14,67%. Pada pendekatan model yang dikembangkan diasumsikan bahwa nilai adhesi tanah-alat adalah nol (persamaan 2), sedangkan pada kenyataan dilapangan menunjukkan bahwa pada tanah yang lebih berat maka nilai adhesinya relatif lebih besar. Hal ini juga didukung oleh hasil pengamatan atas dasar bahan dasar bajak dimana pada bajak-bajak yang terbuat dari kayu (bajak Gunungkidul dan Purworejo) mempunyai kesalahan pendugaan yang relatif lebih besar dari pada bajak yang terbuat dari besi.

Berdasarkan kedalaman pembajakannya, secara umum hasil pengamatan menunjukkan bahwa pada kedalaman kurang dari 60 mm, kesalahan pendugaannya relatif lebih besar dibanding pada kedalaman pembajakan yang lebih besar. Kesalahan pendugaan ini diperkirakan disebabkan oleh kondisi tanah permukaan yang berbeda antara kondisi tanah yang dibuat di laboratorium dengan kondisi tanah aktual di lapangan. Pada kondisi laboratorium tanah dibuat homogen sedangkan pada kondisi lapang permukaan tanah sangat heterogen oleh pengaruh perakaran tanaman maupun batuan. Semakin dalam pembajakan maka homogenitas tanah relatif menjadi lebih besar dan pengaruh faktor perakaran tanaman maupun batuan secara persentase menjadi lebih kecil sehingga kesalahan pendugaannya juga relatif lebih kecil.

Dari kinerja pendugaan yang dihasilkan, maka metode pendugaan dengan cara komparasi yang dikembangkan dalam percobaan ini cukup layak untuk digunakan dalam pendugaan gaya penarikan oleh bajak singkal lokal. Dengan menggunakan nilai indek bajak yang dihasilkan, maka untuk memperkirakan besarnya gaya pembajakannya pada suatu kondisi lahan atau daerah tertentu tidak perlu menguji bajak yang bersangkutan tetapi cukup dilakukan pengujian dengan bajak pahat. Besarnya gaya penarikan bajak singkal tersebut dapat dihitung berdasarkan besarnya gaya penarikan oleh bajak pahat dikalikan dengan nilai indeks bajak.

KESIMPULAN

1. Suatu pendekatan empiris pengukuran gaya penarikan beberapa bajak singkal lokal telah dilakukan berdasarkan pendekatan atas gaya-gaya yang bekerja pada suatu bajak pahat standar yang dinyatakan dalam bentuk hubungan faktor kekuatan tanah dan geometri alat. Suatu persamaan nilai indeks bajak singkal lokal telah dibuat berdasarkan perbandingan antara gaya penarikan oleh bajak singkal terhadap gaya penarikan oleh bajak pahat berdasarkan kedalaman pengolahan tanahnya.
2. Hubungan nilai indeks bajak (I) dengan kedalaman pembajakan (d) dapat dinyatakan dengan fungsi polinomial order 3. Persamaan indeks bajak untuk beberapa bajak singkal lokal adalah :
 - a. Bajak singkal Sleman :

$$I = -0,0000009d^3 + 0,000203d^2 - 0,0083d + 1,3446$$
 - b. Bajak singkal Gunungkidul :

$$I = -0,0000015d^3 + 0,000338d^2 - 0,0295d + 1,7330$$
 - c. Bajak singkal Kulonprogo :

$$I = -0,0000010d^3 + 0,000227d^2 - 0,0069d + 0,8476$$
 - d. Bajak singkal Purworejo :

$$I = -0,0000002d^3 - 0,0000013d^2 + 0,0086d + 0,8071$$
 - e. Bajak singkal Cilacap :

$$I = -0,00000001d^3 - 0,000086d^2 + 0,0187d + 0,4963$$
3. Kesalahan pendugaan adalah antara 8,54% sampai dengan 25,63%. Kesalahan pendugaan rata-rata untuk bajak singkal Sleman, Gunungkidul, Kulonprogo, Purworejo dan Cilacap, berturut-turut adalah 10,08%, 18,76%, 12,59%, 10,58%, dan 12,26%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini terealisasi atas biaya DPP Universitas Gadjah Mada dengan Nomor Kontrak : 3926/J01/PM.04.04/99. Untuk itu diucapkan terimakasih. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada Agus Heri Wijanarko dan Abdullah Effendi yang telah turut bekerjasama dalam mengumpulkan data penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Bowers, C G. 1989. Tillage Draft and Energy Measurements for Twelve Southeastern Soil Series. *Transaction of the ASAE*, 32 (5) : 1492 - 1602

Desbiolles, J.M.A, R.J. Godwin, J. Kilgor, B.S.Blackmore, 1997. A Novel Approach to the Prediction of Tillage Tool Draught using a Standard Tine. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 66: 295-309

Gill, W.R. and G.E Vanden Berg, 1968. *Soil Dynamics in Tillage and Traction*. USDA Washington. 511 pp

Glancey J L; Upadhyaya S K; Humsey J W. 1991. Prediction of Implement Draft Using an Instrumented Analog Tillage Tool. *ASAE Paper No. 91 : 1065*.

Godwin R J; Spoor G, 1977. Soil Failure with Narrow Tines. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 22(4): 213-228

Koolen , A J. 1972. Mechanical Behavior of Soil By Treatment With a Curved Blade Having a Small Angle of Approach. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 17: 355 -367

Koolen, and H. Kuipers. 1983. *Agricultural Soil Mechanics*. Springer-Verlag, Berlin.

McKyes, E. 1978. The calculation of Draft Force and soil Failure Boundaries of Narrow Cutting Blades. *Transaction of the ASAE* 21: 20 – 24

Singh, G; D. Singh. 1986. Optimum Energy Model For Tillage. *Soil and Tillage Research*. 6 : 235 - 245

Stafford, J.W. 1984. Force Prediction Model for Brittle and Flow Failure of Soil by Draught Tillage Tools. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 29: 51 – 60.