

**IDENTIFIKASI STRUKTUR GEOMETRIK BAJAK BERDASARKAN  
OBSERVASI PERMUKAAN KERJA SINGKAL**

Ade Moetangad Kramadibrata  
Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran  
Jatinangor, Bandung 40600

**ABSTRAK**

Bajak singkal dalam pengolahan tanah membutuhkan energi terbesar di antara alat pengolah tanah pertama lainnya, karena itu identifikasi struktur geometrik permukaan kerja singkal ke dalam suatu model persamaan matematik diperlukan, agar diperoleh peluang untuk menentukan hubungan kuantitatif dengan kebutuhan energi (tahanan draft) yang dialami ketika dioperasikan dalam pengolahan tanah. Melalui metode matriks transpose terhadap titik-titik koordinat permukaan singkal yang diproyeksikan ke dalam sistem koordinat Cartesian, identitas beberapa bajak singkal yang digunakan di lahan basah, seperti bajak lanyam Cidaun (M-1) bajak lanyam Ciamis (M-2) dan bajak Brujul (M-3), serta bajak singkal yang digunakan di lahan kering seperti bajak baja Kubota (M-4) dan bajak besi Muara/Ciwidey (M-5) dapat didefinisikan ke dalam model persamaan hiperboloid. Secara umum identitas bajak-bajak tersebut dapat dinyatakan berdasarkan besarnya nilai rasio antara konstanta persamaan hiperboloid dari bajak singkal bersangkutan ( $a$ ,  $b$ , dan  $c$ ), dimana  $R1 (=a/b) < 1$  berlaku untuk bajak lahan basah, dan  $R1 > 1$  berlaku untuk bajak lahan kering.

**Kata Kunci :** Bajak singkal, identitas struktur geometrik, persamaan hiperboloid, tahanan draft tanah, bajak lahan basah dan lahan kering.

**IDENTIFICATION OF PLOUGH GEOMETRIC STRUCTURES RESULTED  
FROM OBSERVATIONS OF MOULDBOARD WORKING SURFACE**

**ABSTRACT**

Tillage using mouldboard plough needs the greatest energy compared to other ploughs. Hence, the identification of geometric structures of mouldboard working surfaces into mathematical model equations is required to enable to determine quantitative relations of energy needs (soil draft resistance) as experienced by a plough when operated. Through the method of matrix transpose upon coordinate points on mouldboard working surface that had been projected into Cartesian coordinate system, the identities of some mouldboard ploughs - such as ones for tillage on lowland soil, i.e. : lanyam Cidaun (M-1), lanyam Ciamis (M-2), and brujul Kopo (M-3); as well as for tillage on upland, i.e. : Kubota Steel plough (M-4) and Muara/Ciwidey Cast-iron one (M-5), can be defined into models of hyperboloid equations. Generally, the identities of the ploughs can be stated

according to the value ratios between hyperboloid constants (a, b, and c) of respective ploughs, where  $a/b = R1 < 1$  applies for lowland and  $R1 > 1$  for upland ploughs.

**Keywords** : Mouldboard plough, geometrical structure identity, hyperboloid equation, soil draft resistance, lowland and upland ploughs.

## PENDAHULUAN

Peningkatan produktivitas lahan secara teknis berkaitan erat dengan upaya penghematan energi dalam pengolahan tanah dengan bajak singkal (Gee-Clough, 1985), mengingat kebutuhan energi untuk pengolahan tanah berkisar antara 30-40 persen dari total kebutuhan energi dalam satu siklus panen (Stout, 1990). Kebutuhan energi ini ditentukan dari besarnya gaya reaksi tanah horisontal (tahanan draft tanah) yang dialami oleh bajak ketika dioperasikan untuk mengolah tanah. dimana struktur geometrik singkal dari bajak bersangkutan (McKyes, 1985) berperan terhadap besarnya kebutuhan energi untuk pengolahan tanah. Kebutuhan energi ini, baik pada lahan basah (sawah) maupun pada lahan kering (ladang), dicirikan sebagai bajak Asia (lahan basah) dan bajak Eropa/Amerika (lahan kering) di dalam gambar Profilograph (Sakai, 1997), dimana pada bajak Asia pembelokan arah garis draft tanah yang relatif halus (smooth), baik ke arah vertikal maupun ke arah samping, sebagai akibat struktur geometrik singkal yang landai, berefek menetralsir tekanan samping (landside pressure) dan cenderung menambah tekanan ke bawah (bottomside pressure). Sedang pada bajak Eropa/Amerika, pembelokan arah draft ke arah samping sebagai akibat struktur geometrik singkal yang mencuat tajam, mengakibatkan makin besarnya tekanan ke samping (landside pressure).

Struktur geometrik singkal pada bajak Eropa demikian menjelaskan alasan bahwa pengolahan tanah dengan bajak singkal membutuhkan energi relatif paling besar daripada bajak lainnya (Kepner *et al.*, 1982), seperti bajak piring, bajak rotari, atau bajak pahat

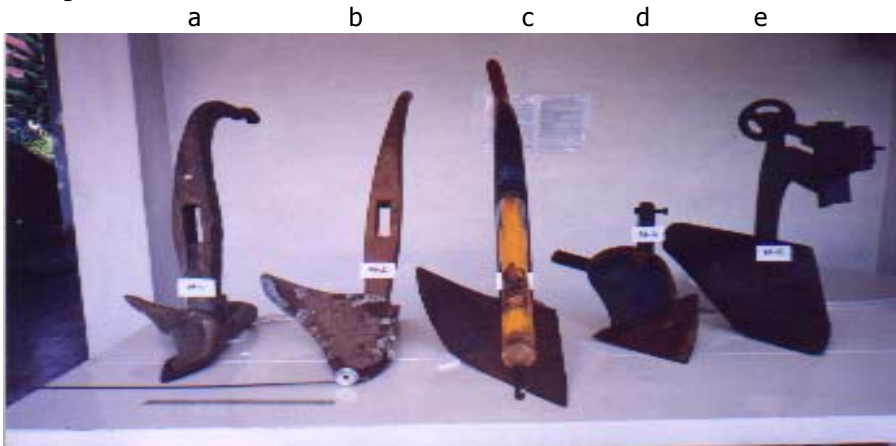
White (dalam Kepner *et al.*, 1955) telah mengkategorikan rancang-bangun bajak singkal ke dalam struktur geometrik silinder yang memenuhi persamaan hiperboloid satu lapis (Bartsch, 1972), yaitu:  $X^2/a^2 + Y^2/b^2 - Z^2/c^2 = 1$ , sehingga secara teoretis identitas bajak singkal dapat didefinisikan dengan menentukan konstanta a, b, dan c dari persamaan hiperboloid tersebut.

Dengan konstanta tersebut, struktur geometrik bajak singkal dapat dianalisis secara kualitatif dan diharapkan menjadi dasar perhitungan untuk menentukan hubungan kuantitatif antara struktur geometrik bajak singkal dan tahanan draft tanah aktual ketika bajak dioperasikan, sehingga kebutuhan energi bajak singkal dalam pengolahan tanah secara operasional dapat diperhitungkan lebih efisien dan efektif.

## INSTRUMENTASI DAN PROSEDUR KERJA

### Bajak Singkal Yang Diamati

Dari berbagai bajak singkal yang digunakan dalam pengolahan tanah, baik di lahan basah (sawah) maupun lahan kering (ladang) telah dipilih lima struktur geometrik permukaan kerja singkal pewartik, seperti terlihat pada Gambar 1: a. Lanyam Cidaun (M-1), b. Lanyam Ciamis (M-2); c. Brujul Kopo (M-3); d. Baja Kubota (M-4), dan e. Bajak Besi Muara/Ciwidey (M-5). Singkal kedua bajak lanyam terbuat dari kayu dengan bantalan (plow body) dari balok kayu dengan permukaan bawah yang lebar, sementara singkal bajak brujul terbuat dari pelat besi yang ditunjang oleh bantalan balok kayu yang juga lebar. Bantalan kayu yang lebar ini memungkinkan bajak mengantisipasi tekanan ke bawah (bottomside pressure), sehingga mengambang ketika dioperasikan di lahan basah. Sedang bajak bajak Kubota dan bajak besi Muara seluruhnya terbuat dari logam dengan dasar bantalan besi yang sempit namun relatif panjang untuk mengantisipasi tekanan samping (landside pressure) saat dioperasikan di lahan kering.



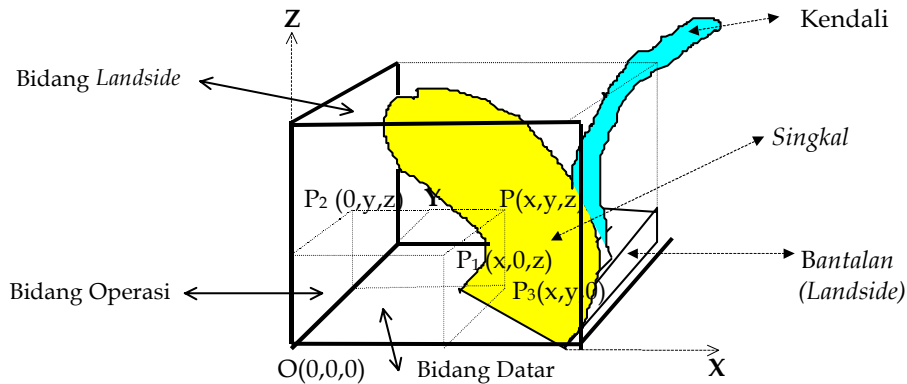
**Gambar 1.** Struktur Geometrik Permukaan Kerja Singkal Bajak

a. M-1      b. M-2      c. M-3      d. M-4      e. M-5

### Alat Ukur Tiga Dimensi (AUTD)

Permukaan kerja singkal bajak diamati dengan menempatkan bajak singkal dalam posisi operasional pada alat ukur tiga dimensi (AUTD) yang menganut sistem koordinat Cartesian, dimana bajak singkal ditempatkan pada posisi operasional di bidang datar X-Y (bidang horisontal yang terbentuk antara sumbu-X dan sumbu-Y), menghadap tegak lurus terhadap bidang operasi Z-X (bidang vertikal antara sumbu-Z dan sumbu-X) dengan ujung pisau bajak tepat menyentuh sumbu-X (titik awal), dan sejajar bidang *landside* Z-Y (bidang vertikal

antara sumbu-Z dan sumbu-Y), seperti terlihat pada Gambar 2. Pada posisi demikian titik-titik koordinat pada permukaan kerja singkal, masing-masing diukur jarak posisinya ke sumbu-X, sumbu -Y, dan sumbu-Z, dimulai dari bagian bawah bajak (ujung pisau bajak) sampai ke bagian teratas singkal (ujung singkal). Posisi operasional ini menunjukkan contoh proyeksi sebuah titik  $P(x,y,z)$  pada permukaan kerja singkal ke bidang operasi Z-X adalah titik  $P_1(x,0,0)$ , ke bidang *landside* Z-Y adalah titik  $P_2(0,y,z)$ , dan ke bidang datar X-Y adalah titik  $P_3(x,y,0)$ .



**Gambar 2.** Posisi Operasional Bajak Singkal Pada AUTD

## METODOLOGI

### Lokasi Dan Waktu Penelitian

Penelitian berupa pengamatan dan pengukuran titik koordinat permukaan kerja dari singkal bajak M-1, M-2, M-3, M-4, dan M-5, serta analisis dilaksanakan di Laboratorium Alat-Mesin Pertanian Jurusan Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran Jatinangor. Waktu penelitian dimulai awal bulan Mei sampai dengan pertengahan Agustus 1998.

### Penyusunan Titik Koordinat Sebagai Matriks Bilangan Hingga

Titik-titik koordinat adalah asumsi titik-titik tumpu dari gaya-gaya reaksi tanah pada permukaan singkal bajak yang langsung berinteraksi (bidang kontak) dengan tanah, sebatas luas bidang operasi (dalam dan lebar operasi efektif bajak singkal ke dalam tanah) ketika bajak dioperasikan. Titik-titik koordinat tersebut disusun secara berurutan mengikuti garis horisontal (baris grid) dan dinominasi dengan nomor *kolom grid* 1, 2, 3, ..., ..k, dimulai dari nomor *baris grid* di bagian terbawah sampai dengan baris grid di bagian daun bajak teratas. Penomoran titik koordinat diawali dari titik di ujung kiri ke ujung kanan baris grid pertama, dan

dilanjutkan lagi dari awal baris grid kedua, dan seterusnya, sehingga tersusun nomor urut suatu bilangan hingga pada permukaan kerja singkal.

## **Metode Analisis**

### **Penentuan Konstanta Persamaan Hiperboloid**

Proyeksi titik koordinat dalam sistem koordinat Cartesian yang diukur pada alat ukur tiga dimensi (AUTD) disusun dalam tabel matriks sumbu-X, -Y dan -Z, dan melalui operasi matriks dalam Program Excel, Lotus 123, dan SPSSx versi 6.0 di dalam Window 3.1., nilai konstanta a, b, dan c, dari persamaan hiperboloid untuk setiap bajak singkal yang diamati dapat dihitung. Prosedur komputasi dilakukan dengan metode transposisi matriks sebagai berikut:

1. mengkuadratkan nilai data titik koordinat struktur geometrik permukaan singkal bajak di sumbu X, Y, Z, dan menyusunnya sebagai resiprok komponen matriks  $(n \times 3) = [(A^2)]$ , dimana nilai data pada sumbu Z diberi tanda negatif, sesuai dengan tanda negatif pada persamaan hiperboloid  $(-Z^2/c^2)$ .
2. menyusun matriks  $(n \times 1) = [B]$  dengan nilai komponen matriks = 1 yang sama banyaknya dengan jumlah data pada  $[A]$ .
3. melakukan transposisi terhadap  $[(A^2)]$  menjadi matriks  $(3 \times n) = [(A^2)^T]$
4. melakukan multiplikasi matriks :  $[(A^2)^T] * [(A^2)] = [(A^2)^T \cdot (A^2)]$
5. melakukan inversi matriks :  $[(A^2)^T \cdot (A^2)]^{-1}$
6. melakukan multiplikasi :  $[(A^2)^T \cdot (A^2)]^{-1} \times [(A^2)^T \cdot (A^2)]$  menjadi matriks identitas =  $[I]$
7. melakukan multiplikasi :  $[(A^2)^T \cdot (A^2)]^{-1} \times [(A^2)^T]$  menjadi matriks  $C = [C]$
8. melakukan multiplikasi :  $[C] * [B]$  menjadi matriks  $(3 \times 1) = [D]$
9.  $[D]$  adalah matriks  $(3 \times 1)$ , dimana nilai kuadrat konstanta a, b, dan c, merupakan penjabaran dari nilai 1 yang menjadi komponen diagonal matriks identitas  $[I]$ , sementara komponen di luar diagonal tersebut memiliki nilai mendekati nol
10. Akar dari komponen matriks  $[D]$  adalah nilai konstanta a, b, dan c.

Secara analog, komputasi demikian dilakukan untuk semua data struktur geometrik dari setiap bajak singkal yang diamati, sehingga diperoleh persamaan hiperboloid dari bajak singkal yang diamati.

### **Analisis Kualitatif Permukaan Kerja Singkal**

Secara kualitatif struktur geometrik permukaan kerja singkal dianalisis melalui pengamatan terhadap rasio (R) antar konstanta persamaan hiperboloid. Dalam analisis, rasio antara a dan b dinyatakan sebagai  $R_1$ , antara a dan c sebagai  $R_2$ , dan antara b dan c sebagai  $R_3$ , atau  $R_1 = a/b$ ;  $R_2 = a/c$ ; dan  $R_3 = b/c$ . Dengan demikian kombinasi antar nilai R pada suatu bajak singkal tertentu

akan menentukan bentuk (shape) dari bajak bersangkutan, yang dapat menjelaskan magnifikasi besarnya tahanan draft tanah bajak tersebut.

**HASIL DAN DISKUSI**

**Formulasi Identitas Struktur Geometrik**

Hasil perhitungan dengan metode transposisi matriks terhadap data struktur geometrik permukaan kerja singkal kelima bajak yang diamati diperlihatkan pada Tabel 1, dimana identitas bajak M-1 sampai M-5 ditunjukkan oleh konstanta a, b, dan c, dari persamaan hiperboloid umum yang berlaku untuk masing-masing bajak. Sebagai contoh, konstanta hiperboloid pada bajak M-3, adalah: a = 22,96; b = 25,72; dan c = 26,90 cm, diperoleh dari hasil komputasi terhadap 209 bilangan hingga (titik koordinat).

**Tabel 1.** Identitas Struktur Geometrik Permukaan Kerja Singkal

No	Bajak Singkal	Formulasi Persamaan	Konstanta		
		Hiperboloid $X^2/a^2 + Y^2/b^2 - Z^2/c^2 = 1$	a	b	c
1	M-1 Lanyam Cidaun	$X^2/221,25 + Y^2/392,57 - Z^2/448,05 = 1$ (N = 221 titik koordinat)	14,87	19,81	21,17
2	M-2 Lanyam Ciamis	$X^2/412,37 + Y^2/673,85 - Z^2/4166,67 = 1$ (N = 168 titik koordinat)	20,31	25,96	64,55
3	M-3 Brujul Kopo	$X^2/526,87 + Y^2/661,38 - Z^2/724,11 = 1$ (N = 209 titik koordinat)	22,96	25,72	26,90
4	M-4 Bajak Baja	$X^2/1362,40 + Y^2/783,09 - Z^2/2309,47 = 1$ (N = 211 titik koordinat)	36,91	27,98	48,05
5	M-5 Bajak Besi	$X^2/1601,18 + Y^2/576,49 - Z^2/1012,43 = 1$ (N = 156 titik koordinat)	40,04	24,01	31,82

N = populasi bilangan hingga (jumlah titik koordinat yang diamati)  
Sumber: Kramadibrata, 2000

Bentuk formulasi persamaan secara keseluruhan mendefinsikan identitas struktur geometrik umum yang spesifik dari setiap bajak yang diamati. Penjabaran konstanta hiperboloid sebagai ciri kelengkungan struktur geometrik bajak singkal, ditampilkan pada Tabel 2 dalam nilai rasio (R) kelima bajak singkal yang diamati.

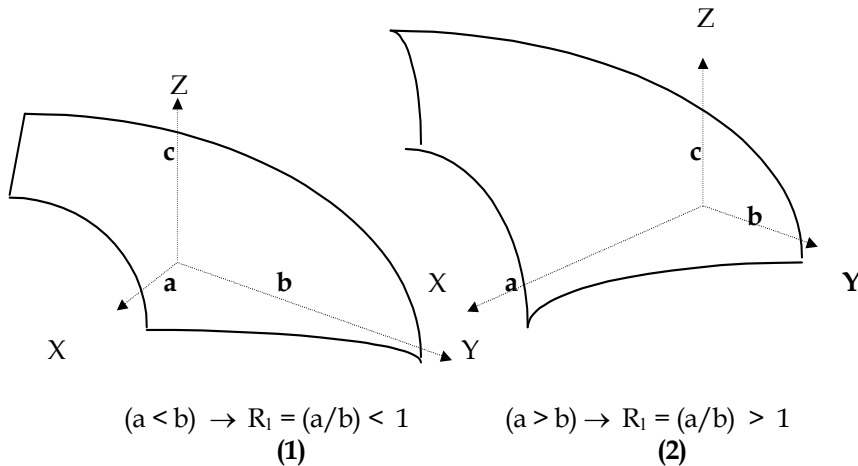
**Tabel 2.** Rasio Antar Nilai Konstanta Persamaan Hiperboloid Singkal

**Identifikasi Struktur Geometrik Bajak Berdasarkan Observasi Permukaan Kerja Singkal (Ade Moetangad Kramadibrata)**

Rasio (R)	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5
$R_1 = a/b$	0,8927	1,6666	0,7354	0,7836	1,3192
$R_2 = a/c$	0,8535	1,2576	0,7024	0,3146	0,7682
$R_3 = b/c$	0,9561	0,7546	0,9358	0,4015	0,5823

Sumber: Kramadibrata, 2000

Dari Tabel 2, terlihat fenomena yang menunjukkan ciri perbedaan antara bajak M-4 dan M-5 di satu pihak, dengan bajak Lanyam M-1, M-2, dan M-3 di lain pihak, dimana pada bajak M-4 dan M-5 nilai konstanta  $a > b$ , sedang pada bajak M-1, M-2, dan M-3, nilai konstanta  $a < b$ . Ciri ini secara kualitatif diperlihatkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Struktur Geometrik Permukaan Kerja Bajak Singkal

← = arah pembelokan tahanan draft tanah

Sumber: Kramadibrata, 2000

Gambar 3 menjelaskan ciri bajak singkal sebagai berikut:

- (1) pada kasus  $a < b$ , maka  $(a/b) < 1$ , atau  $R_1 < 1$ , seperti halnya pada bajak M-1, M-2 dan M-3, permukaan kerja singkal akan berbentuk memanjang ke depan searah dengan operasi bajak (sejajar dengan sumbu-Y), dan lebar permukaan kerja singkal menyempit dengan lekukan landai sampai ke bagian belakang singkal. Konsekuensinya ketika singkal dioperasikan memotong tanah pada kedalaman tertentu, potongan massa tanah akan bergerak menyusur sepanjang permukaan kerja singkal yang melengkung landai. Gerakan massa tanah ini searah dengan garis gaya (tahanan draft tanah) yang sejajar sumbu-Y yang bergerak sepanjang permukaan kerja singkal dan secara perlahan terdeviasi ke sisi karena lengkungan singkal. Bila kondisi ini didukung oleh  $(a/c)$  mendekati nilai 1, atau  $R_2 < 1$  dan  $(b/c)$  juga mendekati 1

atau  $R_3 < 1$ , maka posisi permukaan kerja singkal akan condong ke belakang, sehingga garis gaya tadi juga akan terdeviasi secara perlahan ke atas mengikuti lengkungan permukaan kerja singkal, sehingga garis gaya ke samping dan ke atas akan berefek saling mengimbas dan menekan singkal ke bawah [Gambar 3(1)]. Kondisi ini relevan dengan arah garis gaya yang diilustrasikan pada Profilograph (Sakai, 1997) untuk bajak singkal Asia yang umum digunakan di lahan basah.

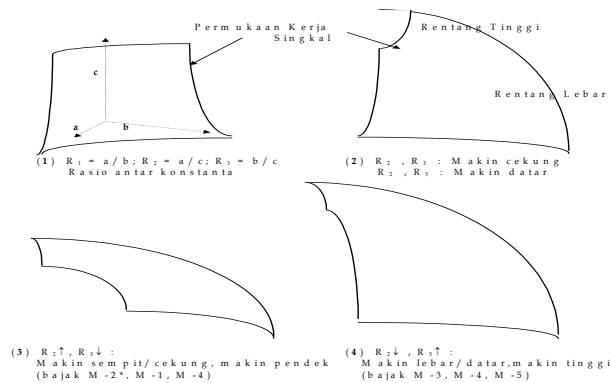
- (2) pada kasus  $a > b$ , sehingga  $(a/b) > 1$ , atau  $R_1 > 1$ , seperti halnya bajak M-4 dan M-5, maka permukaan kerja singkal akan cenderung melebar ke samping (melintang sumbu-Y, sejajar sumbu-X) dengan lengkungan yang relatif tajam dan lebar kerja singkal meluas. Konsekuensinya, ketika bajak dioperasikan memotong tanah, maka gerakan massa tanah menelusur permukaan kerja singkal dan terdeviasi ke samping secara tajam, sehingga potongan massa tanah cenderung terlempar dan terbalikan serta menimbulkan tekanan lebih besar ke arah sisi yang beralawanan [Gambar 3(2)]. Bila kondisi ini didukung oleh  $a/c$  makin kecil daripada 1, atau  $R_1 < 1$ , dan  $(b/c)$  juga makin kecil, atau  $R_3 < 1$ , maka posisi permukaan kerja singkal akan lebih tegak dan lebih tinggi, sehingga garis gaya terdeviasi lebih tajam ke samping mengikuti lengkungan tajam permukaan kerja singkal. Kondisi ini relevan dengan arah garis gaya pada Profilograph untuk bajak singkal Eropa (Sakai, *ibid*) yang digunakan di lahan kering.

Interpretasi nilai R dengan merujuk Tabel 2, diamati lebih jelas pada Gambar 4, sebagai berikut:

- 1) Nilai  $R_1$  masing-masing bajak singkal cenderung makin meningkat bila diurut dari bajak M-1 ( $R_1=0,7354$ ) ke M-5 ( $R_1=1,6667$ ). Hal ini menunjukkan bahwa makin besar nilai  $R_1$ , makin panjang dan makin mendatar cekungan permukaan kerja melintang singkal [Gambar 4 (1)], atau sebaliknya, makin kecil nilai  $R_1$ , makin pendek dan makin cekung rentang lebar permukaan kerja singkal. Pengertian ini sekaligus menjelaskan fenomena yang terlihat pada bajak M-4 ( $R_1=1,3192$ ) dan M-5 ( $R_1=1,6666$ ), yaitu kedua bajak ini memiliki konstanta a (radius pendek) lebih panjang dari konstanta b (radius panjang). atau  $a > b$ , sehingga  $a/b > 1$ . Fenomena ini terarah kepada ciri identitas bagi bajak M-4 dan M-5 yang membedakannya dari bajak M-1, M-2, dan M-3.



**Identifikasi Struktur Geometrik Baja Berdasarkan Observasi Permukaan Kerja Singkal  
(Ade Moetangad Kramadibrata)**



**Gambar 4.** Interpretasi Nilai R Pada Struktur Geometrik Singkal

- 2) Nilai rasio antara konstanta nyata dan imajiner, yaitu  $a/c$  ( $=R_2$ ) atau  $b/c$  ( $=R_3$ ) pada kelima bajak tersebut bervariasi satu sama lain, dimana  $R_2$  dan  $R_3$  berturut-turut mewakili rentang lebar cekungan dan rentang tinggi cekungan permukaan kerja singkal [Gambar 4 (2)], sehingga berlaku interpretasi berikut: a) Asumsi logis atas makin tingginya nilai  $R_2$  dan  $R_3$  adalah makin kecil lengkungan permukaan kerja singkal (relatif makin datar), baik dari rentang lebar maupun rentang tinggi cekungan permukaan kerja singkal. Sedang dengan makin rendahnya nilai  $R_2$  dan  $R_3$ , makin besar lengkungan permukaan kerja singkal bajak bersangkutan (relatif makin cekung), dimana permukaan kerja singkal berada di dalam cekungan [Gambar 4 (3)].
- b) Karena konstanta  $c$  adalah radius imajiner pada sumbu-Z yang panjangnya dibatasi oleh tinggi bajak, sedangkan konstanta  $a$  panjangnya dibatasi sampai ke titik singgung lengkungan permukaan horisontal singkal, maka kecuali untuk bajak M-5 dengan rasio  $R_2 = a/c = 1,2576$ , yang berada di atas nilai angka 1 yang kontras dengan nilai  $R_3 = b/c = 0,7546$ . Jadi ciri yang terlihat pada bajak M-5 adalah makin tinggi nilai  $R_2$  dengan nilai  $R_3$  yang makin rendah, sehingga singkal makin mendatar sepanjang rentang lebar, dan makin melengkung sepanjang rentang tinggi permukaan singkal bajak tersebut [Gambar 4 (4)].
- c) Konsekuensinya untuk bajak M-1 sampai M-4, dengan nilai  $R_2$  yang lebih kecil dari nilai 1, makin pendek dan makin condong singkal bajak tersebut ke arah belakang. Dalam hal ini, dengan nilai  $R_2 = 0,3146$  dan  $R_3 = 0,4015$ , maka bajak M-2 tampil dengan struktur geometrik singkal sepanjang permukaan horisontal dan vertikal yang relatif paling melengkung, serta paling condong ke belakang, sehingga struktur geometrik singkal menjadi relatif terpendek dan tercondong.

Dengan demikian besarnya nilai draft tanah berkaitan dengan struktur geometrik kelengkungan singkal, yaitu;  $R_1$  (kecekungan permukaan kerja singkal),  $R_2$  (rentang tinggi cekungan permukaan kerja singkal), atau  $R_3$  (rentang

lebar cekungan permukaan kerja singkal). Dalam hal ini, besarnya draft tanah ditentukan oleh nilai  $R_1$ ,  $R_2$ , dan  $R_3$ , yang mempengaruhi luas bidang operasi (bidang Z-X), dimana tertumpu berat jenis massa tanah yang meluncur dengan kecepatan aliran sebanding dengan kecepatan operasi bajak. Dengan demikian, dengan makin besarnya nilai  $R_1$  yang diiringi oleh makin rendahnya nilai  $R_2$  dan  $R_3$  (berarti cekungan permukaan kerja singkal relatif makin datar, baik ke arah melintang dan membujur singkal), akan menyebabkan makin besarnya nilai draft tanah.

Contoh nilai draft tanah pada bajak M-2 teoritis harus relatif lebih besar daripada nilai draft tanah pada bajak M-1, karena bajak M-2 memiliki nilai  $R_1$  lebih besar namun dengan nilai  $R_2$  dan  $R_3$  lebih rendah daripada bajak M-1. Artinya, bajak M-2 relatif lebih panjang dan lebih mendatar permukaan kerja singkalnya daripada bajak M-1, baik ke arah melintang maupun membujur, sehingga terbentuk bidang operasi lebih besar yang menahan gerak horisontal luncuran massa tanah. Analogi yang sama terjadi bila dibandingkan berturut-turut dengan bajak M-3, M-4 dan M-5, yang masing-masing memiliki nilai  $R_1$  lebih besar. Namun, antara bajak M-3 dan M-4 terdapat fenomena, dimana nilai tahanan draft tanah pada bajak M-4 lebih rendah daripada bajak M-3, walau nilai  $R_1$  bajak M-4 lebih tinggi daripada bajak M-3. Pada kasus ini nilai  $R_2$  dan  $R_3$  bajak M-4 lebih rendah daripada bajak M-3, karena permukaan kerja singkal bajak M-4 terbagi menjadi dua segmen berbeda yaitu segmen pisau bajak dan segmen singkal yang berbentuk kepala dan batang panah, sehingga draft tanah pada bajak M-4 relatif lebih kecil daripada bajak M-3.

Secara kualitatif hubungan hipotetik antara nilai draft tanah dan struktur geometrik pada masing-masing bajak dikompilasikan pada Tabel 3, dimana draft tanah dipengaruhi oleh besarnya nilai  $R_1$  (kecekungan atau kedataran),  $R_2$  (sempit atau leganya rentang singkal), dan  $R_3$  (tinggi atau rendahnya rentang singkal). Makin cekung dengan rentang singkal yang sempit dan tinggi, seperti pada bajak M-1, makin kecil nilai draft tanah. Sebaliknya, makin datar dengan rentang singkal yang lebar dan tinggi, seperti pada bajak M-5, makin besar nilai draft tanah.

**Tabel 3.** Kompilasi Hubungan Hipotetik Da dan Struktur Geometrik

Bajak Singkal	Nilai Draft Tanah	Struktur Geometrik Permukaan Kerja Singkal		
		$R_1 = a/b$	$R_2 = a/c$	$R_3 = b/c$
M-1	kecil	Cekung	agak sempit	agak tinggi
M-2	agak kecil	agak cekung	sempit	rendah
M-3	besar	agak mendatar	agak lebar	agak tinggi
M-4	agak besar	Mendatar	agak sempit	agak rendah
M-5	besar	lebih mendatar	lebar	agak tinggi

Interpretasi Tabel 3 dan Profilograf (Sakai, 1997), yang ditunjukkan oleh Gambar 2 di atas secara kualitatif menerangkan bahwa draft tanah pada bajak

singkal dengan  $R_1 > 1$  lebih besar daripada pada bajak singkal dengan  $R_1 < 1$ . Seperti terlihat pada Gambar 2, bajak (1) dengan  $R_1 < 1$  membelokan arah garis gaya (draft) dengan lengkungan yang relatif lebih halus, sehingga draft pada permukaan singkal hanya mengakibatkan tekanan ke samping (landside) relatif kecil. Sebaliknya, bajak (2) dengan  $R_1 > 1$  membelokan garis gaya dengan lengkungan yang lebih kasar, sehingga draft tanah pada permukaan kerja singkal mengakibatkan tekanan gaya ke samping yang relatif besar. Di sini terlihat jelas ciri yang membedakan bajak (1) sebagai bajak Asia, dengan bajak (2) sebagai bajak Eropa, sebagaimana dimaksudkan oleh Profilograph (Sakai, 1997).

## **KESIMPULAN**

Dari pembahasan di atas, penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Identitas bajak singkal berdasarkan persamaan hiperboloid ditentukan oleh rasio nilai konstanta a, b, dan c, yaitu: (1) bajak M-1 dengan  $R_1 = 0,7506$ ;  $R_2 = 0,6996$ ;  $R_3 = 0,9356$ ; (2) bajak M-2 dengan  $R_1 = 0,8008$ ;  $R_2 = 0,3146$ ;  $R_3 = 0,4022$ ; (3) bajak M-3 dengan  $R_1 = 0,8927$ ;  $R_2 = 0,8535$ ;  $R_3 = 0,9561$ ; (4) bajak M-4 dengan  $R_1 = 1,3191$ ;  $R_2 = 0,9209$ ;  $R_3 = 0,6981$ ; dan bajak M-5 dengan  $R_1 = 1,6676$ ;  $R_2 = 1,2583$ ;  $R_3 = 0,7546$ .
2. Dari besarnya nilai R, bajak M-1, M-2, dan M-3 dengan nilai  $R_1 < 1$  dikategorikan sebagai bajak lahan basah yang membutuhkan energi relatif lebih rendah dari pada bajak M-4 dan M-5 dengan nilai  $R_1 > 1$  yang dikategorikan sebagai bajak lahan kering.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Bartsch, H-J. 1972. *Mathematische Formeln*, VEB Fachbuch Verlag Leipzig, s.252-254.
- Gee-Clough, D. 1985. The Special Problem of Wetland Traction and Floatation, *J. Agric. Engineering Research*, Vol.32., The British Society for Research in Agric. Engineering, Academic Press, London, pp. 279-288.
- Kepner, R.A., R. Bainer, E.L. Barger. 1955; 1982. *Principle of Farm Machinery*, 3<sup>rd</sup> Edition, AVI Publishing Company, Inc., Wesport, pp. 112-113, 136-159, 506-508.
- Kramadibrata, MAM. 2000. Analisis Kinerja Beberapa Struktur Geometrik Bajak Singkal Pada Pengolahan Lahan Sawah, *Disertasi S-3*, Pascasarjana IPB Bogor.
- McKyes, E. 1985. *Soil Cutting and Tillage*, Elsevier, Amsterdam, pp. 3-86.
- Sakai, J. 1997. Cultural Difference of Tillage Science and Technology Between Euro-American Upland Wheat Farming and Asian Lowland Paddy Rice

Farming, *Keynote Paper*, Perkemahan dan Seminar Tahunan Perhimpunan Teknik Pertanian, TEKNOTAN-PERTETA-FAPERTA UNPAD, Bandung.

Stout, B.E. 1990. *Handbook of Energy for World Agriculture*, Elsevier Applied Science, Elsevier Science Publisher Ltd., London, pp. 81-85