

**PENDUGAAN TAHANAN TARIK TANAH PADA BERBAGAI
TINGKAT KADAR AIR DENGAN MENGGUNAKAN
MODEL BAJAK SINGKAL PADA SOIL BIN TEST**



Oleh

YANUAR WARSONO

F. 23.0998



1993

**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR**

IPB University
YANUAR WARSONO, F 23 0998, Pendugaan tahanan tarik tanah pada berbagai tingkat kadar air dengan menggunakan model bajak singkal pada Soil Bin Test di bawah bimbingan Raja Godfried Sitompol dan Frans Jusuf Daywin.

RINGKASAN

Pengolahan tanah merupakan proses penghancuran partikel tanah yang besar menjadi bagian-bagian yang kecil dengan pengolahan tanah diharapkan dapat memperbaiki pertumbuhan tanaman. ada tiga faktor yang mempengaruhi besarnya tahanan tarik dalam pengolahan tanah yaitu kondisi awal tanah, bentuk bajak serta cara kerja alat .

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan pengaruh kadar air terhadap besarnya tahanan tarik tanah melalui pendekatan analisis dimensi; menentukan hubungan antara besarnya tahanan tarik tanah dengan kadar air tanah, kohesi, sudut geser dalam serta densitas dengan menggunakan model bajak singkal pada "Soil Bin".

Parameter-parameter yang digunakan dalam persamaan pendugaan adalah $D = f(g, v, d, \alpha, \phi, \theta, \rho, c, p, m, l)$, dimana D = tahanan tarik tanah (N) ; g = percepatan gravitasi (m/s^2); v = kecepatan pembajakan (m/s); d = kedalaman olah (m); α = sudut olah bajak ($^\circ$); ϕ = sudut geser dalam ($^\circ$); θ = koefien gesekan logam dengan tanah; ρ = densitas tanah (kg/m^3); c = kohesi (kg/m^2); p = panjang bajak (m); m = masa bajak (kg); l = lebar bajak (m). Nilai-nilai θ , ϕ , c berubah-ubah sesuai dengan perubahan kadar air dengan hitungan analisis teori Pi Buckingham di dapat fungsi

sebagai berikut:

$$D/mg = f(g/v^2, d/l, \alpha, \phi, \theta, \rho_{dp}/m, \rho_{dc}/m, p/l)$$

Pengukuran dilakukan pada lima tingkat kadar air yaitu pada selang (23 - 26)%bk, (27 - 30)%bk, (31 - 34)%bk, (35 - 39)%bk, (40 - 43)%bk dan dua jenis tanah yaitu tanah latosol leuwikopo dan tanah lotosol cikabayan, setiap perlakuan dilakukan dengan tiga kali ulangan.

Kalibrasi terhadap unit pengindra/transduser dilakukan dengan penambahan dan pengurangan beban. Beban yang digantungkan untuk kalibrasi gaya berkisar 0 - 46.2 Kg dengan tingkat penguat DPM 613 pada range 5 x 100 mV. Persamaan Regresi yang didapat $W = 0.30617 B + 0.0041334$ dengan koefisien korelasi $(r) = 0.99978$, dimana W = berat beban (Kgf) dan B = tegangan listrik (volt).

Besarnya tahanan tarik tanah mengalami penurunan sampai batas terendah dengan bertambahnya kadar air sampai mendekati batas plastis dan semakin bertambahnya kadar air akan meningkatkan kembali tahanan tarik sehingga didapat persamaan $D = 71.0 - 0.00517K^3 + 0.000108 K^4$ dengan koefisien korelasi $(r) 0.965$ untuk tanah latosol leuwikopo dan persamaan $D = 60.5 - 0.00252 K^3 + 0.000047 K^4$ dengan koefisien korelasi $(r) 0.859$ untuk tanah latosol Cikabayan, dimana D = tahanan tarik tanah, K = kadar air tanah.

Besarnya tahanan tarik tanah semakin besar dengan meningkatnya sudut geser dalam sehingga didapat hubungan yang linier antara tahanan tarik tanah dengan sudut geser

dalam. Bentuk persamaan yang dihasilkan adalah $D = -10.3 + 2.10 \phi$; ($r = 0.986$) untuk tanah leuwikopo dan $D = -3.23 + 1.74 \phi$; ($r = 0.968$), dimana D = tahanan tarik tanah, ϕ = sudut geser dalam.

Besarnya tahanan tarik tanah meningkat dengan meningkatnya kohesi sehingga menunjukkan hubungan berbanding lurus antara tahanan tarik tanah dengan kohesi, maka didapat persamaan $D = -26.3 + 447 c - 1532 c^2 + 1839 c^3$ ($r = 0.965$) untuk tanah leuwikopo dan $D = -9.10 + 228 c - 563 c^2 + 643 c^3$ ($r = 0.959$) untuk tanah cikabayan; dimana D = tahanan tarik tanah, c = kohesi tanah.

Dari persamaan model yang didapat untuk tanah leuwikopo adalah : $D/mg = 10^{1.5892} \times (\tan \phi)^{2.0865} \times (\rho_{ldp}/m)^{4.4375} \times (l_{dc}/m)^{0.3864}$. Dalam pendugaan persamaan prototipe dengan menggunakan bajak singkal diperoleh nilai $\delta = 5.063461$: $\alpha = 2.9254$ $\beta = 3.3588$ $\gamma = 0.8327$ sehingga persamaan prototipenya menjadi $(D/mg)_T = 11.5396 \times 10^{-208.768} \times (\tan \phi)^{-145.038} \times (\rho_{ldp}/m)^{-17.018} \times (l_{dc}/m)^{81.030}$

Sedangkan untuk tanah Cikabayan, persamaan model yang didapat $D/mg = 10^{0.8614} \times (\tan \phi)^{1.0155} \times (\rho_{ldp}/m)^{1.1148} \times (l_{dc}/m)^{0.2601}$. Dalam pendugaan persamaan prototipe dengan menggunakan bajak singkal diperoleh nilai $\delta = 8.3514$: $\alpha = 3.4985$ $\beta = 3.6190$ $\gamma = 0.8719$ sehingga persamaan prototipenya menjadi : $(D/mg)_T = 24.4230 \times 10^{-18} \times (\tan \phi)^{-31.2833} \times (\rho_{ldp}/m)^{-11.6507} \times (l_{dc}/m)^{14.1871}$

**PENDUGAAN TAHANAN TARIK TANAH PADA BERBAGAI
TINGKAT KADAR AIR DENGAN MENGGUNAKAN
MODEL BAJAK SINGKAL PADA SOIL BIN TEST**

Oleh :

YANUAR WARSONO

F 23.0998

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN

pada Jurusan Mekanisasi Pertanian

Fakultas Teknologi Pertanian

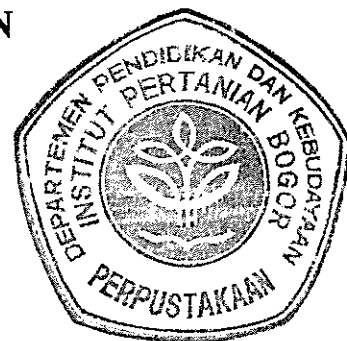
Institut Pertanian Bogor

1993

FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

INSTITUT PERTANIAN BOGOR

B O G O R



INSTITUT PERTANIAN BOGOR
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

**PENDUGAAN TAHANAN TARIK TANAH PADA BERBAGAI
TINGKAT KADAR AIR DENGAN MENGGUNAKAN
MODEL BAJAK SINGKAL PADA SOIL BIN TEST**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN

pada Jurusan Mekanisasi Pertanian

Fakultas Teknologi Pertanian

Institut Pertanian Bogor

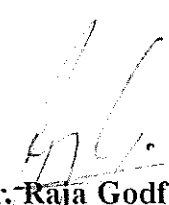
Oleh :

Yanuar Warsono

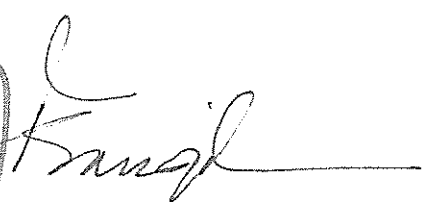
F 23. 0998

Disetujui :

Bogor, 10 September 1993


Ir. Raja Godfried Sitompul

Dosen Pembimbing I


Dr. Ir. Frans Jusuf Daywin, MSc.

Dosen Pembimbing II

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah yang Maha Pengasih dan maha Pemurah, karena dengan RahmatNyalah maka skripsi ini dapat penulis selesaikan.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ir. Raja Godfried Sitompol, sebagai dosen pembimbing utama yang telah banyak memberikan bimbingannya kepada penulis.
2. Dr. Ir. Frans Jusuf Daywin, MSc sebagai dosen pembimbing kedua yang telah banyak membimbing penulis.
3. Kedua orang tuaku, serta adik-adikku yang senantiasa berdoa dan memberikan dorongan hingga selesainya penulisan skripsi ini.
4. Iwan DPR, warga asrama pondok Darmaga dan semua pihak yang telah memberi bantuan selama penelitian.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan tulisan selanjutnya. Penulis mengharap semoga tulisan ini dapat bermanfaat.

Bogor, September 1993

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
I. PENDAHULUAN	1
A. LATAR BELAKANG	1
B. TUJUAN PENELITIAN	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
A. PENGOLAHAN TANAH	4
B. SIFAT-SIFAT FISIK TANAH	6
1. Kadar Air Tanah	6
2. Konsistensi Tanah	8
3. Bulk Density	9
4. Kekuatan Tanah	11
C. REAKSI TANAH TERHADAP KEBUTUHAN TENAGA TARIK	12
D. BAJAK SINGKAL	15
E. TAHANAN TARIK TANAH	19
F. ANALISA MODEL	23
III. PENDEKATAN RANCANGAN	27
A. PRINSIP KERJA	27
B. PEMASANGAN PENGUKUR REGANGAN	28
C. PEMASANGAN MODEL BAJAK SINGKAL	30

IV. METODE PENELITIAN	32
A. TEMPAT DAN WAKTU PENELITIAN	32
B. ALAT DAN BAHAN	32
C. PROSEDUR PERCOBAAN	33
D. PERLAKUAN	35
E. KALIBRASI	36
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	38
A. KALIBRASI TRANSDUSER	38
B. PENGARUH KADAR AIR DAN BEBERAPA SIFAT MEKANIK TANAH TERHADAP TAHANAN TARIK TANAH	40
1. Pengaruh Kadar Air Terhadap Tahanan Tarik Tanah	40
2. Pengaruh Sudut Geser Dalam Terhadap Tahanan Tarik Tanah	42
3. Pengaruh Kohesi Tanah Terhadap Tahanan Tarik Tanah	45
4. Pengaruh Densitas Tanah Terhadap Tahanan Tarik Tanah	47
C. PENDUGAAN PERSAMAAN TAHANAN TARIK TANAH PROTOTIPE DENGAN MODEL BAJAK SINGKAL	50
1. Tanah Latosol Leuwikopo	52
2. Tanah Latosol Cikabayan	58
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	63
A. KESIMPULAN	63
B. SARAN	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN	69

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Pengukuran Rata-rata Serta Pendugaan Tahanan Tarik Tanah Untuk Tanah Latosol Leuwikopo	53
Tabel 2. Nilai-Nilai Tahanan Tarik Tanah Leuwikopo pada soil bin serta nilai-nilai Tahanan Tarik Tanah di Lapangan	56
Tabel 3. Besar Tahanan Tarik Pembajakan melalui Pengukuran di Lapangan dengan hasil pendugaan analisis dimensi pada tanah latosol Leuwikopo	58
Tabel 4. Ukuran Rata-rata Serta Pendugaan Tahanan Tarik Tanah Untuk Tanah Latosol Cikabayan	59
Tabel 5. Nilai-Nilai Tahanan Tarik Tanah Cikabayan pada soil bin serta nilai-nilai Tahanan Tarik Tanah di Lapangan	60
Tabel 6. Besar Tahanan Tarik Pembajakan melalui Pengukuran di Lapangan dengan hasil pendugaan analisis dimensi pada tanah latosol Cikabayan	62

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data Pengukuran Plastisitas Tanah ...	69
Lampiran 2. Data Pengukuran Tekstur Tanah	70
Lampiran 3. Data Pengukuran Mekanika Tanah	71
Lampiran 4. Data Pengujian Kalibrasi Unit Pengindera	72
Lampiran 5. Data Hasil Pengukuran Fisika Tanah Hasil dari Interpolasi	73
Lampiran 6. Contoh Regresi Antara Tahanan Tarik Tanah Dengan Sudut Geser Dalam, Densitas dan Kohesi	74
Lampiran 7. Data Hasil Pengukuran Tahanan Tarik Tanah	75
Lampiran 8. Hasil Perhitungan π_{10} , π_5 , π_{14} , π_{11} Beserta Logaritmanya	76
Lampiran 9. Regresi Linier Berganda dari Loga- ritma π_{10} , π_5 , π_{14} , π_{11}	77
Lampiran 10. Grafik Hubungan Titik Pengambilan dengan Keluaran Voltase Pembajakan ..	78

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Hubungan Faktor-faktor Dinamis Pada Pengolahan Tanah Dengan Kandungan Air Tanah	14
Gambar 2. Bagian-bagian Bajak Singkal	16
Gambar 3. Diagram Gaya-gaya Dan Resultannya Pada Bajak Singkal	17
Gambar 4. Konstruksi Pengukur Regangan	22
Gambar 5. "Soil Bin Test" Dan Alat Pengukur Tahanan Tarik	28
Gambar 6. Transduser Tahanan Tarik	30
Gambar 7. Model Bajak Singkal	31
Gambar 8. Unit Penggerak Serta Sistem Transmisi "Soil Bin Test"	34
Gambar 9. Unit Instrumen Untuk Pengukur Tahanan Tarik Tanah	36
Gambar 10. Kalibrasi Transduser	37
Gambar 11. Hubungan Antara Beban Dan Ekuivalen Bit Biner Pada Kalibrasi Transduser	39
Gambar 12. Hubungan Tahanan Tarik Tanah Dengan Kadar Air	41
Gambar 13. Hubungan Tahanan Tarik Tanah Dengan Sudut Geser Dalam	44
Gambar 14. Hubungan Antara Tahanan Tarik Tanah Dengan Kohesi Tanah	46
Gambar 15. Hubungan Tahanan Tarik Tanah Dengan Densitas Tanah	49

I. PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Pengolahan tanah yang baik dan benar akan menciptakan kondisi tanah yang baik untuk ditanami. Untuk meningkatkan kapasitas dan efisien kerja serta mutu dari tanah yang diolah digunakan traktor sebagai sumber daya tarik.

Traktor dapat digunakan mulai dari pembukaan dan penyiapan lahan sampai dengan pengangkutan hasil-hasil pertanian. Pendayagunaan traktor yang paling besar di dalam kegiatan pengolahan tanah terjadi pada pembajakan atau pengolahan tanah pertama.

Penentuan mesin dan alat pertanian secara tepat yang dioperasikan pada tanah dengan jenis tanah serta kondisi tanah tertentu merupakan suatu syarat untuk berhasilnya usaha mekanisasi pertanian terutama dalam penggunaan tenaga yang optimal.

Agar traktor dapat memberikan daya optimum dengan menggunakan alat bajak pada jenis dan kondisi tanah tertentu perlu diketahui faktor yang berperan dalam menentukan besarnya daya traktor yang diperlukan ketika beroperasi.

Menurut Gill dan Berg (1968), besarnya daya penggerak yang dapat diberikan oleh traktor umumnya dibatasi oleh kapasitas traksi yang diberikan oleh alat

traksi pada tanah. Oleh karena itu kemampuan traksi suatu traktor akan menentukan besarnya tenaga tarik yang dapat dihasilkan dari traktor tersebut.

Adanya kelebihan daya dalam mengolah tanah akan mengakibatkan pemborosan dalam biaya pengoperasian, sedangkan apabila kekurangan daya akan mengakibatkan hasil pengolahan tanah yang kurang baik. Dengan adanya ketidak sesuaian dalam penggunaan daya ini juga akan menimbulkan kerusakan traktor ataupun implementasinya.

Salah satu faktor yang mempengaruhi kemampuan daya traktor adalah kondisi lahan seperti tahanan tarik tanah, Untuk itu perlu dilakukan manipulasi terhadap faktor-faktor tersebut. Untuk mengetahui beberapa faktor yang mempengaruhi tahanan tarik tanah digunakan model bajak singkal pada kotak tanah "soil bin".

Bila hubungan antara tahanan tarik tanah dengan faktor-faktor yang mempengaruhinya sudah diketahui maka besarnya daya traktor yang diperlukan dapat diduga, sehingga efisiensi daya traktor yang tersedia dapat dipergunakan seluruhnya untuk melakukan kerja.

Pada pengolahan tanah dengan kadar air tanah tertentu yang siap dikerjakan sehingga dapat menghasilkan daya yang minimum, serta kemungkinan pemadatan yang rendah (Baver, 1972).

B. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan sejauh mana pengaruh kadar air terhadap besarnya tahanan tarik tanah sehingga dapat dibuat suatu persamaan melalui pendekatan analisis dimensi.

Menentukan hubungan antara besarnya tahanan tarik tanah dengan kadar air tanah, kohesi tanah, sudut geser dalam tanah serta densitas tanah dengan menggunakan model bajak singkal pada kotak tanah "soil bin".

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. PENGOLAHAN TANAH

Barger et al. (1978) mendefinisikan pengolahan tanah merupakan penghancuran partikel tanah yang besar menjadi bagian-bagian yang kecil. Hal ini mengakibatkan bertambah luasnya hubungan antara partikel tanah dengan tanaman, sehingga tanaman mendapat zat hara yang lebih banyak. Dapat juga diartikan bahwa pengolahan tanah adalah sebagai pengaruh luar berupa gaya mekanis yang digunakan manusia untuk merubah sifat-sifat tanah sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan.

Dengan pengolahan tanah diharapkan dapat memperbaiki pertumbuhan tanaman melalui perbaikan aerasi, pergerakan air, dan penetrasi akar dalam profil tanah. Oleh karena itu tanah harus cukup mengandung air dan udara serta cukup gembur agar akar dapat tumbuh dan menyerap unsur hara bagi pertumbuhan.

Salah satu pengolahan tanah yang paling perlu diperhatikan adalah pada saat pembajakan karena pada proses pembajakan daya traktor yang digunakan sangat besar.

Pembajakan adalah proses deformasi atau penghancuran tanah dengan menggunakan alat bajak, dimana proses tersebut terdiri dari pemasukan hasil potongan tanah oleh bagian pemotong atau pisau, pengaliran tanah

pada permukaan bajak, dan proses pengeluaran hasil pemotongan pada perpanjangan keluarnya tanah dari bajak. Ketiga proses ini saling berinteraksi (Koolen, 1977).

Selanjutnya Koolen (1977) mendapatkan tiga tipe deformasi tanah pada saat proses pemasukan pemotongan tanah pada daerah sedikit di depan mata pisau. Ketiga deformasi tersebut adalah deformasi tanah akibat pergeseran, keruntuhan mengalirnya tanah menunjukkan adanya pemisahan yang jelas dan peretakan pada bagian bawah potongan tanah.

Menurut Davidson (1954), pengolahan tanah yang baik akan mempunyai fungsi membalikan tanah, membenamkan rumput, sisa tanaman dan bahan organik, menghaluskan tanah kedalaman struktur granuler, menghasilkan olahan tanah yang lurus, serta mempunyai lebar dan jarak serta kedalaman yang seragam, mengolah semua bagian tanah tanpa memberikan efek pemadatan tanah.

Karena adanya tindakan mekanis pengolahan tanah, maka dari tanah itu sendiri akan mengadakan reaksi mekanis terhadap alat pengolah tanah. Sifat dinamis yang mempengaruhi reaksi tanah dalam pengolahannya adalah ketahanan tanah terhadap tekanan, geseran, pemotongan, kohesi dan adhesi. Keadaan ini akan mempengaruhi besarnya tenaga yang dibutuhkan untuk mengolah tanah (Baver et al., 1972).

Penilaian hasil pengolahan tanah dapat dilakukan terhadap ukuran butiran agregat tanah, porositas tanah, dan daya penetrasi tanah (Baver et. al., 1972).

B. SIFAT-SIFAT FISIK TANAH

Penentuan sifat-sifat fisik tanah sangat penting artinya dalam bidang pertanian karena berhubungan dengan persediaan air bagi tanaman, aerasi tanah, suhu tanah, tekstur, dan struktur tanah untuk pertumbuhan tanaman (Hillel, 1980).

Tekstur dan struktur tanah merupakan dua sifat fisik tanah yang penting. Tekstur menunjukkan kasar halusnya tanah berdasarkan perbandingan relatif jumlah fraksi liat, debu, dan pasir, sedangkan struktur tanah adalah susunan yang bersifat saling keterkaitan antara partikel-partikel dalam tanah. Peranan tekstur dan struktur secara bersama-sama tidak hanya membantu dalam penyediaan air dan udara, tetapi juga unsur hara bagi tanaman (Soepardi, 1983).

1. Kadar Air Tanah

Ada dua pengertian pokok tentang air tanah. Pertama adalah air yang diikat dalam ruang pori dengan kekuatan yang berbeda-beda tergantung jumlahnya, dan pengertian yang kedua adalah air dengan garam terlarut didalamnya yang disebut

larutan tanah, yang penting sebagai medium untuk memberikan unsur-unsur tumbuhan (Buckman dan Brady, 1974).

Kadar air tanah merupakan nisbah antara berat air dengan berat tanah kering(basis kering) atau nisbah antara berat air dengan berat tanah basah (basis basah) atau nisbah antara volume air dengan volume tanah utuh. Kadar air dinyatakan dalam per-sen berat atau persen volume(Sapei et. al.,1990) Biasanya kadar air tanah dinyatakan dalam persen berat, yaitu perbandingan berat air yang ada dalam ruang pori terhadap berat partikel tanah dan dirumuskan sebagai berikut :

$$K = \frac{W_a}{W_b} \times 100 \% \dots\dots\dots(1)$$

dimana, K : kadar air tanah (%)

W_a : berat air (gr)

W_b : berat partikel tanah (gr)

Dan untuk konversi kadar air dari persen berat kering kedalam persen volume adalah sebagai berikut:

$$K_v = K(\% \text{ berat kering}) \times \frac{\rho_d}{\rho_w}$$

dimana : ρ_d = bulk density tanah

ρ_w = bulk density air

2. Konsistensi Tanah

Konsistensi tanah menunjukkan kekuatan daya kohesi butir-butir tanah atau gaya-gaya adhesi butir-butir tanah dengan benda lain. Dalam keadaan lembab, tanah dibedakan kedalam konsistensi gembur (mudah diolah) sampai teguh (sulit diolah). Dalam keadaan kering, tanah dibagi lagi konsistensinya dari lunak sampai kering. Dalam keadaan basah dibedakan plastisitasnya yaitu dari plastis sampai tidak plastis atau kelekatanannya dari tidak lekat sampai lekat (Harjowigeno, 1987).

Konsistensi dimanifestasikan sebagai reaksi tanah akibat gaya dorong dan gaya tarik, kecenderungan tanah untuk menempel pada benda-benda yang bersentuhan dan keadaan ini dapat dirasakan oleh jari pada saat pengamatan (Baver, 1959). Selanjutnya Baver et al (1972) menyatakan bahwa Konsistensi lunak ditunjukkan oleh kegemburan tanah dimana butir-butir sangat lunak dan kohesi berada pada nilai minimum. Kandungan air pada konsistensi ini cukup untuk meniadakan efek sementasi tapi tidak cukup banyak untuk menimbulkan lapisan-lapisan tipis air untuk membangkitkan adhesi.

Batas melekat ("Sticky limit") adalah kadar air dimana tanah tidak melekat lagi pada benda lain. Oleh karena itu kadar air lebih tinggi dari

batas melekat maka tanah akan sukar diolah (Hardjowigeno, 1987).

Batas mengalir ("Liquid limit") adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis (Wesley, 1973).

Batas plastis ("Plastic limit") adalah suatu keadaan tanah dimana tanah berada dalam keadaan setengah kaku dan mudah pecah. Pada kadar air lebih kecil dari batas menggolek tanah sukar diolah (Hardjowigeno, 1987).

Baver et. al. (1972) memberikan batasan konsistensi tanah sebagai keadaan yang menunjukkan perwujudan dari gaya adhesi dan kohesi tanah pada berbagai tingkat kandungan air tanah. Perwujudan ini meliputi perubahan berat, tekanan, dorongan dan tarikan, serta kecenderungan tanah untuk menempel pada benda lain.

3. Bulk Density

Tingkat pemadatan tanah dapat dinyatakan dalam beberapa cara yaitu : void ratio, porosity, bulk density dan spesifik gravitasi. Namun yang umum digunakan dalam perhitungan sejauh ini adalah bulk density, yaitu perbandingan antara berat tanah terhadap unit volume.

Blake (1965) menyatakan bahwa ada beberapa metoda dalam mengukur atau menentukan bulk density salah satunya adalah dengan cara pengambilan contoh di lapangan yang diketahui volumenya dan kemudian menentukan berat kering tanah tersebut.

Ada dua cara dalam pengukuran bulk density yaitu : (1) wet bulk density

(2) dry bulk density

Wet bulk density atau bulk density basah adalah perbandingan massa tanah basah per unit volume dan dirumuskan dengan persamaan :

$$\rho_t = \frac{M_t}{V_t} \dots\dots\dots (2)$$

dimana, ρ_t : wet bulk density (gr/cm³)

M_t : massa tanah basah (gr)

V_t : volume tanah total (cm³)

Dry bulk density atau bulk density kering adalah perbandingan massa tanah kering terhadap volume total tanah dan besarnya lebih kecil dari bulk density basah dan dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_t} \dots\dots\dots (3)$$

dimana, ρ_s : dry bulk density (gr/cm³)

M_s : massa tanah kering (gr)

V_t : volume tanah total (cm³)

4. Kekuatan Tanah

Kekuatan tanah tergantung pada gaya-gaya yang bekerja diantara butirnya. Kekuatan geser tanah dapat dianggap terdiri atas : bagian yang bersifat kohesi yang tergantung pada macam tanah dan kepadatan butirnya, serta bagian yang mempunyai sifat gesekan ("frictional") yang sebanding dengan tegangan efektif yang bekerja pada bidang geser (Wesley, 1973).

Soetoto dan Aryono (1980) menyatakan bahwa percobaan uji tekan tak tertekan ("Unconfined Compression Test") adalah percobaan uji kompresi triaksial yang menggunakan $\sigma_3 = 0$. Percobaan ini bisa dilakukan pada tanah kohesif dan merupakan "Undrained test". Wesley (1973) menambahkan bahwa percobaan uji tekan tak terkekang dimaksudkan terutama untuk tanah lempung atau lanau.

Selanjutnya Soetoto dan Aryono (1980) menyatakan nilai kohesi untuk tanah lempung tidak murni didapatkan dengan menggunakan persamaan :

$$\sigma_1 = 2 c \tan (45^\circ + \frac{1}{2} \phi) \dots\dots\dots (4)$$

dimana :

σ_1 = tekanan maksimum yang dikenakan pada contoh tanah sampai tanah pecah, nilai ini didapat dari percobaan

c = kohesi tanah

ϕ = sudut gesek dalam

Nilai sudut pecah tanah (α) dapat diukur dari hasil percobaan pada contoh tanah, yang mana nilai sudut pecah tanah adalah |

$$\alpha = (45^\circ + \frac{1}{2} \phi) \dots \dots \dots (5)$$

Nilai sudut gesek dalam tanah dapat diperoleh dari persamaan di atas. Sedangkan untuk tanah lempung murni (kohesif murni) akan didapat nilai $\phi = 0$, sehingga akan berlaku bersamaan (Soetoto dan Aryono, 1980) sebagai berikut :

$$\sigma_1 = 2 c \tan 45^\circ \dots \dots \dots (6)$$

$$\sigma = \frac{1}{2} \sigma_1 \dots \dots \dots (7)$$

dimana :

σ_1 = tekanan maksimum yang dikenakan pada
contoh tanah sampai tanah pecah

c = kohesi tanah

C. REAKSI TANAH TERHADAP KEBUTUHAN DAYA TARIK

Tanah sebagai tubuh bumi yang dinamis akan memberikan reaksi mekanis jika kepadanya diberikan suatu kerja mekanis (Wirjodihardjo, 1953). Besarnya reaksi mekanis ini ditentukan oleh adanya sifat fisik yang dimiliki tanah yang terwujud oleh sifat mekanis tanah (Anonim, 1973).

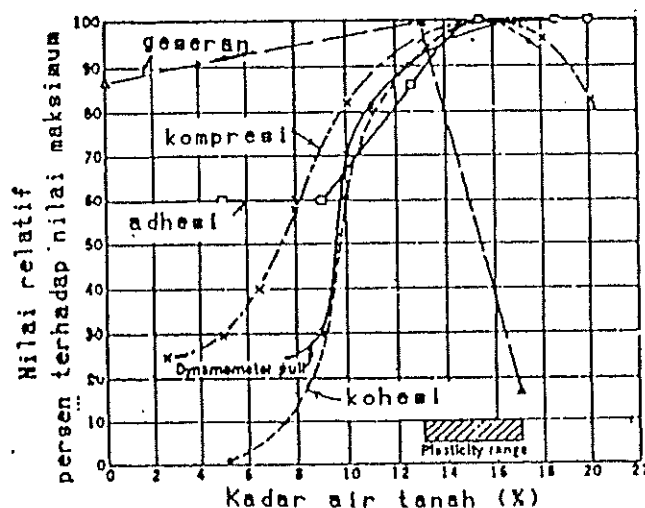
Sifat mekanis yang dimiliki tanah terhadap kerja pengolahan tanah dapat dibedakan atas sifat memberikan beban tahanan dalam arah horizontal, serta sifat memberikan penyangga terhadap beban dinamis dan kekerasan tanah yang berhubungan dengan kemampuan penetrasi alat. Besarnya sifat mekanis tanah yang melawan gaya dari luar bervariasi menurut kandungan air tanah dan kandungan koloida atau liat berinteraksi dan terwujud sebagai sifat konsistensi tanah yang mempengaruhi parameter-parameter tanah yang menentukan besar gaya reaksi mekanis.

Pengolahan tanah juga dipengaruhi oleh sifat dinamis tanah seperti tahanan terhadap tekanan, gesekan antara partikel tanah "shear", gesekan antara tanah dengan logam, kohesi dan adhesi tanah (Nichols dalam Baver et al. 1972).

Grafik hubungan antara kadar air tanah dengan faktor-faktor dinamis tanah, dengan nilai maksimum masing-masing faktor diambil sebesar 100 dapat dilihat pada Gambar 1.

Kandungan air tanah dan kandungan koloid tanah mempengaruhi parameter kohesi yang menentukan besar tahanan geser tanah, menyebabkan timbulnya adhesi yang mempengaruhi besar sudut friksi. Sedangkan kandungan air tanah mempengaruhi density tanah akibat karakteristik pengembangan dan pengerutan dimana tingkat

pengembangan dan pengerutan ditentukan oleh jenis koloida atau jenis liat yang dikandung tanah.



Gambar 1. Hubungan faktor-faktor dinamis pada pengolahan tanah dengan kandungan air tanah (Baver et. al., 1972).

Pengaruh kandungan air tanah terhadap kebutuhan draft mengikuti kecenderungan seperti yang dikemukakan oleh Bakhtin et al. (1970) dalam Koolen (1977) sebagai berikut :

$$K/b \cdot d = k_1 - k_2m + k_3m \dots\dots\dots (8)$$

dimana, K : draft total

b : lebar olah

d : kedalaman olah

m : kandungan air tanah berdasarkan persentase berat tanah

k : konstanta

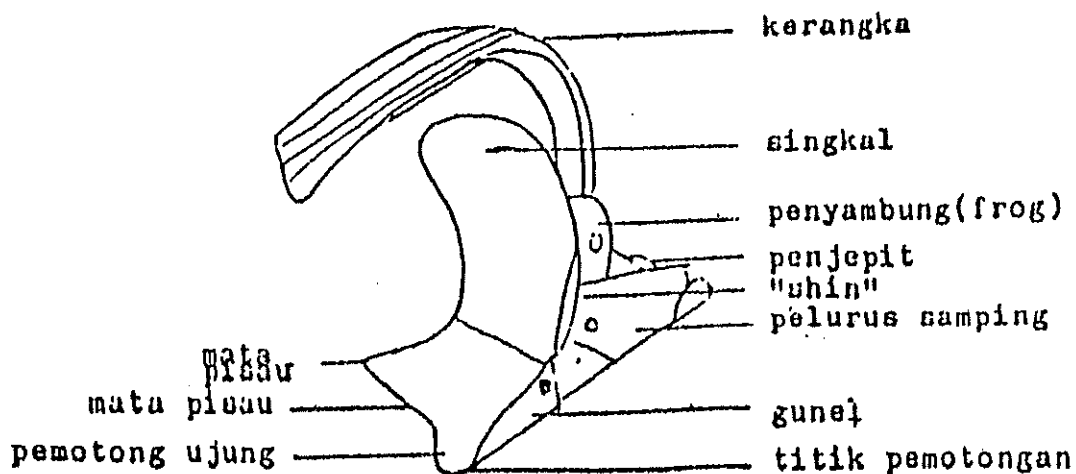
Persamaan di atas membentuk parabola dengan titik minimum, yang menunjukkan terdapatnya nilai kandungan air dimana draft yang dihasilkan minimum, persamaan diatas berlaku pada selang kandungan air tertentu.

D. BAJAK SINGKAL

Koolen (1977) mengungkapkan bahwa penghancuran tanah pada bajak dapat digolongkan kedalam tiga proses yaitu proses pemasukan potongan tanah oleh bagian pemotong, proses aliran pada permukaan bajak dan proses keluaran tanah dari bajak. Ketiga proses ini saling berinteraksi.

Fungsi utama bajak singkal adalah memotong lapisan tanah, mengangkut serta membalikkan tanah (Smith dan Wilkes, 1977 dan Bainer et al. 1972). Bagian bajak yang berfungsi dalam penghancuran tanah adalah bajak singkal yang terdiri dari bagian-bagian seperti mata pisau, penahan samping dan singkal, bagian-bagian tersebut diperlukan dalam mengangkut, memutar dan membalikkan tanah. Gambar 2 menunjukkan bagian-bagian bajak singkal.

Smith dan Wilkes (1977) menerangkan bahwa pada mata pisau terjadi daya hisap ke arah bawah yang menyebabkan bajak melakukan penetrasi ke dalam tanah dan menyebabkan bajak mampu bekerja pada letak olah yang tepat.

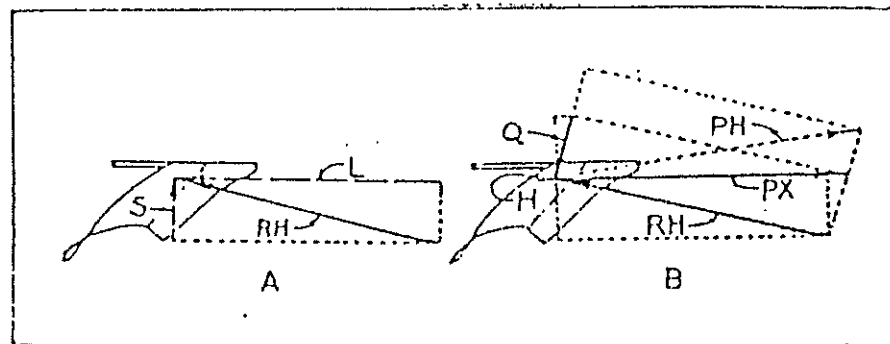


Gambar 2. Bagian-bagian bajak singkal

Bagian bajak singkal merupakan bagian terpenting dari penghancuran tanah selanjutnya (Smith dan Wilkes, 1977). Jari-jari kelengkungan bajak singkal akan menentukan tingkat penghancuran tanah. Semakin kecil jari-jari kelengkungan tingkat penghancuran akan bertambah besar. Dengan berkurangnya jari-jari kelengkungan maka potongan tanah akan lebih mengalami pelekukan yang tiba-tiba akibat pemberian momen pelekukan oleh singkal (Bushan dan Ghildyal, 1972).

Menurut Clyde (1936) dan Bainer et al. (1972) besarnya gaya-gaya yang bekerja pada bajak akibat reaksi tanah seperti pada Gambar 3 dimana gaya-gaya tersebut digolongkan akan gaya-gaya yang berguna dan gaya-gaya parasitik. Gaya-gaya berguna merupakan

resultan untuk mengatasi alat dalam melakukan pemotongan, penghancuran dan pembalikan tanah. Sedangkan gaya-gaya parasitik adalah resultan gaya untuk mengatasi kesetimbangan, friksi dasar bajak, tapak bajak dan landasan samping.



Keterangan :

- RH : Tahanan tanah pada pisau bajak
- S : Gaya samping
- L : Gaya depan
- Q : Gaya gesek
- PX : Resultan Q dan RH
- PH : Tahanan tanah pada pengolahan tanah menyudut

Gambar 3. Diagram gaya-gaya dan resultannya pada bajak singkal (Clyde, 1949 dalam Smith dan Wilkes, 1977).

Total gaya tarik bajak merupakan resultan gaya-gaya untuk mengatasi reaksi tanah pada arah longitudinal L, lateral S, dan vertikal V (Richey et al. 1966 ; Bainer et al. 1972).

Clyde (1936) menjelaskan bahwa besarnya gaya yang berlaku pada bajak singkal seperti pada gambar 13a dan 13b dimana posisi dansudut RH akan berbeda sesuai

dengan kondisi tanah. Dalam setiap titik pada RH gaya L dan S dapat disubstitusikan seperti pada gambar 3b, RH membuat sudut $13\frac{1}{2}^{\circ}$ arah maju traktor sedang gaya S besarnya 24% dari L. Jika Tanah univorm (sempurna) secara teoritis bajak dapat ditarik oleh gaya sebesar RH dan berlawanan arah tanpa memerlukan tahanan samping. Jika penarikan lurus kedepan seperti pada gambar 3b maka bajak akan memerlukan tahanan samping dari dinding alur, tahanan samping ini akan menyebabkan yang tampak oleh sudut Q. Untuk keseimbangan samping, komponen samping dari Q harus sama dengan S yaitu gaya yang bekerja kearah kiri dan jika resultangaya pada RH dan Q maka gaya PX akan mengimbangnya, PX sedikit lebih besar dari L karena PX juga harus mengatasi tahanan samping. Perhatikan PX melalui H, perpotongan RH dan Q, jika H biasanya disebut pusat tahanan tarik dari bajak maka gaya tarikan harus membentuk sudut PH dan harus melalui titik H, sudut PH sedemikian rupa sehingga komponen samping mendekati 80% S dan akumulatif dengan S.

Mata pisau bajak yang memisahkan potongan tanah dari alurnya memberikan energi pada tanah untuk membentuk belahan-belahan. Bagian bajak singkal yang berfungsi untuk membalikkan potongan-potongan tanah dengan mengatasi friksi tanah pada permukaan singkal, untuk mengangkat tanah dengan melawan gravitasi, untuk

melakukan akselerasi potongan-potongan tanah dan untuk mengatasi adhesi antara tanah dengan singkal.

E. TAHANAN TARIK TANAH

Tahanan tarik tanah didefinisikan sebagai komponen horizontal dari gaya tarik peralatan pembajakan yang searah dengan unit penggerak. Tahanan tarik tanah dalam tiap luas pengolahan tanah disebut tahanan tarik tanah spesifik. Sedangkan tahanan tarik tanah yang tegak lurus arah gerak dinamakan tahanan samping dari tanah (Berger et al. 1978).

Gill dan Vanden Berg (1968), mengungkapkan ada tiga faktor untuk menentukan besarnya gaya tarik drawbar untuk mengatasi tahanan tarik tanah didalam pengolahan tanah yaitu kondisi tanah awal, bentuk alat bajak, dan cara kerja alat.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kondisi tanah awal adalah sifat fisik tanah yaitu tekstur tanah, struktur tanah, kerapatan tanah dan berat butir tanah, serta kandungan air tanah. Sifat mekanik dan sifat dinamik tanah yang berpengaruh adalah kohesi tanah, adhesi tanah dan koefisien gesekan tanah dan logam (Baver et al. 1972 ; Gill dan Vanden Berg, 1968).

Jenis bajak yang paling sering digunakan adalah bajak singkal, bajak piring, dan bajak rotary, Bentuk dari bajak juga akan mempengaruhi tahanan tarik tanah.

Faktor-faktor bentuk alat bajak adalah lebar bajak, panjang bajak, jari-jari kelengkungan pada bajak singkal, sudut antara singkal dan tanah, tinggi dari singkal, bentuk dari tahanan samping. Sedangkan Cara kerja alat yang berpengaruh terhadap pendugaan tahanan tarik adalah kedalaman penbajakan, sudut alat bajak dan tanah, serta koefisien gesekan logam dan tanah.

Untuk menduga besarnya tahanan tarik tanah dari bajak singkal diduga dengan persamaan berikut :

$$D = f (m, g, v, p, d, l, \alpha, \phi, \theta, c, \rho) \dots\dots(9)$$

dimana, D : tahanan tarik tanah (kN)

m : massa bajak (kg)

g : gravitasi tanah (m/det²)

v : kecepatan pembajakan (m/det)

p : panjang bajak (m)

d : kedalaman olah (m)

l : lebar bajak (m)

α : sudut olah bajak dan tanah (°)

ϕ : Sudut gesek dalam tanah (°)

θ : Koefisien gesekan logam-tanah

c : kohesi tanah (kg/m²)

ρ : Densitas tanah (kg/m³)

Ada dua tujuan pokok pengukuran tahanan tarik tanah. Tujuan pertama adalah untuk mengetahui jumlah

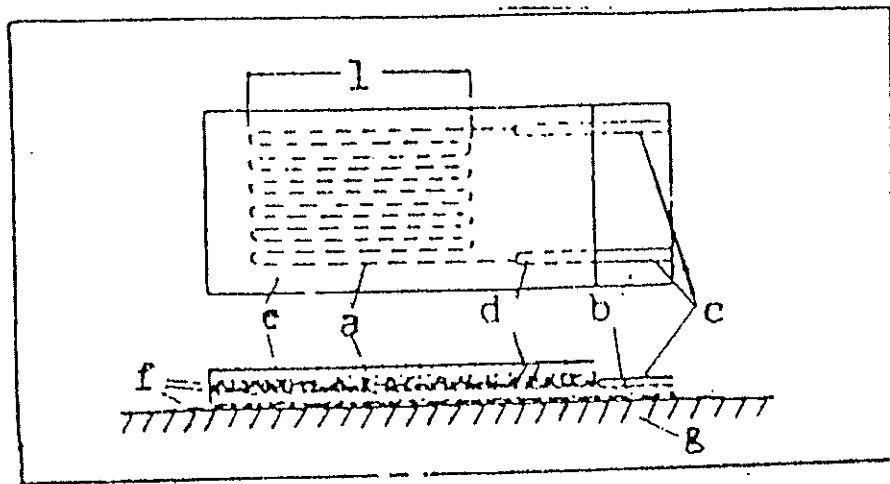
daya traktor maksimum pada suatu pembajakan tanah dengan alat tertentu. Tujuan kedua (akibat tujuan pertama) adalah untuk memilih dan mempertimbangkan penggunaan disain alat tertentu yang cocok untuk kondisi tanah dengan tenaga yang tersedia (Kisu, 1972).

Penentuan tahanan tarik tanah dengan menggunakan penetrometer dan pengukuran tahanan tanah (SR-2) tidak memasukkan pengaruh kecepatan (Kisu, 1972). Pengukuran tahanan tarik tanah yang turut memperhitungkan pengaruh kecepatan dapat dilakukan dengan menggunakan dinamometer. Jenis-jenis dinamometer antara lain adalah dinamometer pegas, hidrolik, dan pengukur regang (Mertaperdana, 1973).

Prinsip dinamometer pegas didasarkan pada perpanjangan dan pempendekan dari pegas. Dinamometer ini terbatas untuk pengukuran kasar, disebabkan oleh fluktuasi beban yang terjadi pada penggandengan peralatan pertama (Liljedahl et al. 1979). Pada penggunaan dinamometer hidrolik pada pembacaan tenaga tarik, karena guncangan jarum penunjuk dapat dihilangkan. Alat dinamometer pegas dapat dilengkapi dengan alat pencatat secara kontinu pada kertas (Wanders, 1978).

Pengukuran tahanan tarik dengan dinamometer pengukur regang menggunakan dua prinsip yaitu tegangan-regangan (hukum Hook) dan modulus elastisitas logam, serta perubahan tahanan listrik sensor pengukur regang

karena perubahan panjang akibat adanya gaya tarik pada pengukur regang (Perry dan Lissner, 1962; Kuhl, 1972).



Keterangan : l : Panjang pengukur aktif
 a : Kawat kisi-kisi
 b : Penyekat
 c : Elektroda
 d : Sambungan
 e : Penutup
 f : Perekat
 g : Obyek yang akan diukur

Gambar 4. Konstruksi pengukur regang (Kuhl, 1972)

Perubahan tahanan tarik dimanipulasi melalui rangkaian listrik ($V = \text{volt}$) atau kuat arus ($I = \text{Am-pere}$), yang cukup kuat untuk dibaca alat pengukur. Melalui konversi gaya tarik yang diberikan terhadap perubahan tegangan listrik dan kuat arus yang terjadi dapat ditunjukkan sebagai tahanan tarik. Menurut Mertaperdana (1973), pengukur regang terdiri dari kawat halus tersusun dalam pola kisi-kisi yang disemen diantara dua lembar kertas isolasi. Kemudian pengukur

regang tersebut direkatkan dengan perekat kedap air kepada batang penghubung alat pengolah tanah yang akan diukur, yang selanjutnya dihubungkan dengan sumber daya tarik. Struktur pengukur regangan umumnya terdiri dari kawat hambatan filamen yang ditempelkan pada suatu bantalan dengan perekat khusus (gambar 4).

F. ANALISIS MODEL

Parameter-parameter yang digunakan dalam persamaan pendugaan tahanan tarik tanah adalah sebagai berikut :

	Satuan	Dimensi
D : Tahanan tarik tanah	Newton	MLT^{-2}
g : Percepatan gravitasi	m/det^2	LT^{-2}
v : Kecepatan pembajakan	m/det	LT^{-1}
d : Kedalaman olah	m	L
α : Sudut olah bajak dan tanah	°	-
ϕ : Sudut gesek dalam tanah	°	-
θ : Koefisien gesekan logam-tanah	-	-
c : Kohesi tanah	$kg.m^2$	ML^{-2}
ρ : Densitas tanah	kg/m^3	ML^{-3}
p : panjang bajak	m	L
m : massa bajak	kg	M
l : lebar bajak	m	L

Nilai-nilai θ , α , dan c berubah-ubah sesuai dengan perubahan kadar air.

Hubungan kualitatif antara parameter-parameter yang digunakan dalam pendugaan persamaan tahanan tarik tanah adalah :

$$D = f (g, v, d, \alpha, \phi, \theta, \rho, c, p, m, l) \dots (10)$$

Persamaan di atas menjadi :

$$c^a d^b g^c v^d \alpha^e \phi^f \theta^g \rho^h c^i p^j m^k l^l = 1 \dots (11)$$

Menurut teori Pi Buckingham, banyaknya yang terlibat dalam suatu persamaan adalah :

$$s = n - b$$

dimana, s : jumlah

n : jumlah parameter yang terlibat

b : jumlah dimensi dasar yang digunakan

jadi $s = 12 - 3 = 9$. Dengan demikian jumlah parameter yang terlibat adalah sembilan.

Hubungan persamaan dimensionalnya adalah sebagai berikut :

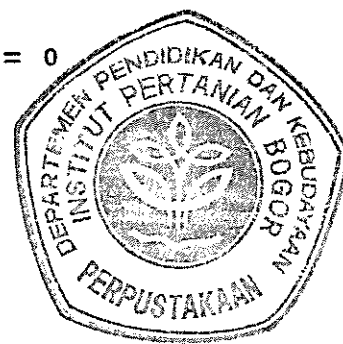
$$(MLT^{-2})^a (LT^{-2})^b (LT^{-1})^c (L)^d (\alpha)^e (\phi)^f (\theta)^g (ML^{-3})^h (ML^{-2})^i (L)^j (M)^k (L)^l = 0 \dots (12)$$

Dari persamaan dimensional di atas, maka diperoleh tiga persamaan pembantu yaitu :

$$M : a + h + i + k = 0$$

$$L : a + b + c + d - 3h - 2i + j + l = 0$$

$$T : -2a - 2b - c = 0$$



Karena tiga persamaan pembantu yang akan menyelesaikan duabelas bentuk persamaan yang tidak diketahui, maka nilai variabel-variabel yang berubah-ubah harus ditentukan kedalam tiga bentuk yang tidak diketahui, dalam hal ini ditentukan c , k , dan l .

Determinan dari hasil penentuan c , k , dan l adalah :

$$\begin{array}{c|ccc} M & 0 & 1 & 0 \\ L & 1 & 0 & 1 \\ T & -1 & 0 & 0 \end{array} = -1 - 0 = -1$$

Pemilihan c , k , dan l adalah benar, karena determinan tidak sama dengan nol.

Dengan aplikasi teori Pi dari Buckingham (Murphy, 1950), didapatkan bilangan Pi sehingga hitungan fungsi analisis Pi dari Buckingham seperti pada persamaan berikut :

$$\frac{Dl}{v^2 m} = f \left(\frac{gl}{v^2}, \frac{d}{l}, \alpha, \phi, \theta, \frac{l^3 \rho}{m}, \frac{l^2 c}{m}, \frac{p}{l} \right) \dots \dots \dots (13)$$

atau :

$$\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_7, \pi_8, \pi_9)$$

Untuk mendapatkan nilai π yang lebih sederhana lagi maka dilakukan perkalian dan pembagian nilai π seperti dibawah ini :

$$\pi_{10} = \pi_1 / \pi_2 = D/mg$$

$$\pi_{11} = \pi_8 \times \pi_3 = ldc/m$$

$$\pi_{12} = \pi_7 / \pi_8 = l\rho/m$$

$$\pi_{13} = \pi_{12} \times \pi_{11} = l^2 d\Gamma/m$$

$$\pi_{14} = \pi_{13} \times \pi_9 = \rho l d p / m$$

Maka persamaan yang diperoleh adalah :

$$\frac{D}{mg} = f \left(\frac{gl}{v^2}, \frac{d}{l}, \alpha, \phi, \theta, \frac{\rho l d p}{m}, \frac{l d c}{m}, \frac{p}{l} \right) \dots\dots\dots (14)$$

Persamaan diatas digunakan untuk 2 jenis tanah sehingga dengan demikian akan didapat dua persamaan tahanan tarik tanah. Dan yang merupakan parameter berubah adalah D , ϕ , c , dan θ serta ρ , sedangkan parameter konstan adalah $m = 0.633 \text{ kg}$, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, $v = 0.329 \text{ m/det}$ $d = 45 \text{ mm}$, $l = 85 \text{ mm}$, $p = 0.135 \text{ m}$, dan $\alpha = 25^\circ$

Hasil pengukuran tahanan tarik tanah, sudut geser dalam tanah, kohesi, density, tekstur, dan plastisitas dapat dilihat pada lampiran 1, 2, dan 3.

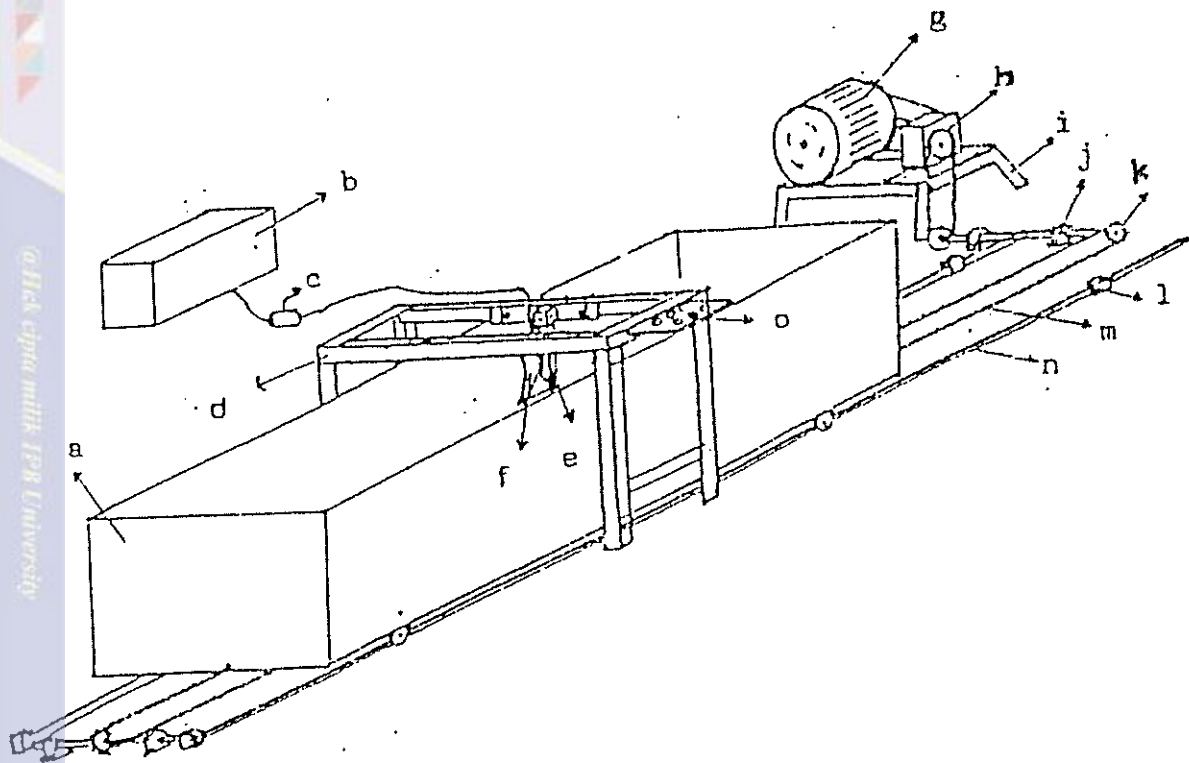
III. PENDEKATAN RANCANGAN

A. PRINSIP KERJA

Pengukuran tahanan tarik bajak yang dilakukan merupakan pengukuran secara tidak langsung di laboratorium yaitu pada alat "Soil bin test" seperti terlihat pada Gambar 5, yang didasarkan pada beberapa prinsip dasar yaitu tegangan dan regangan bahan yang terjadi saat pembajakan.

Tenaga yang berasal dari motor listrik sebagai penggerak dengan memakai sistem transmisi melalui rantai dan sproketnya yang dihubungkan dengan "Soil bin". Kecepatan sudut motor listrik diubah menjadi kecepatan linier. Pada waktu motor listrik dihidupkan, "soil bin" akan bergerak sedangkan model bajak singkal diam ditempatnya.

Model bajak singkal akan memotong tanah yang berada pada soil bin sejajar dengan arah pergerakan alat. Sedangkan tanah yang dibajak akan memberikan gaya tahanan pada model bajak singkal sehingga menimbulkan tegangan-regangan pada batang penarik atau beam yang diteruskan pada "Strain Gauge" yang dapat mengubah dari tahanan listrik menjadi tegangan listrik.



Keterangan :

- | | |
|--------------------------------|----------------------------|
| a. Peti tanah (soil bin) | h. Sistem transmisi |
| b. Pencatat dan penguat data. | i. Dudukan motor listrik |
| c. "Bridge Box" | j. Dudukan poros transmisi |
| d. Dudukan model bajak | k. Sproket |
| e. Transduser penguat regangan | l. Penahan laju peti tanah |
| f. Model bajak singkal | m. Rantai |
| g. Motor listrik | n. Rel |
| | o. Panel pengendali |

Gambar 5. "Soil bin test" dan alat pengukur tahanan tarik

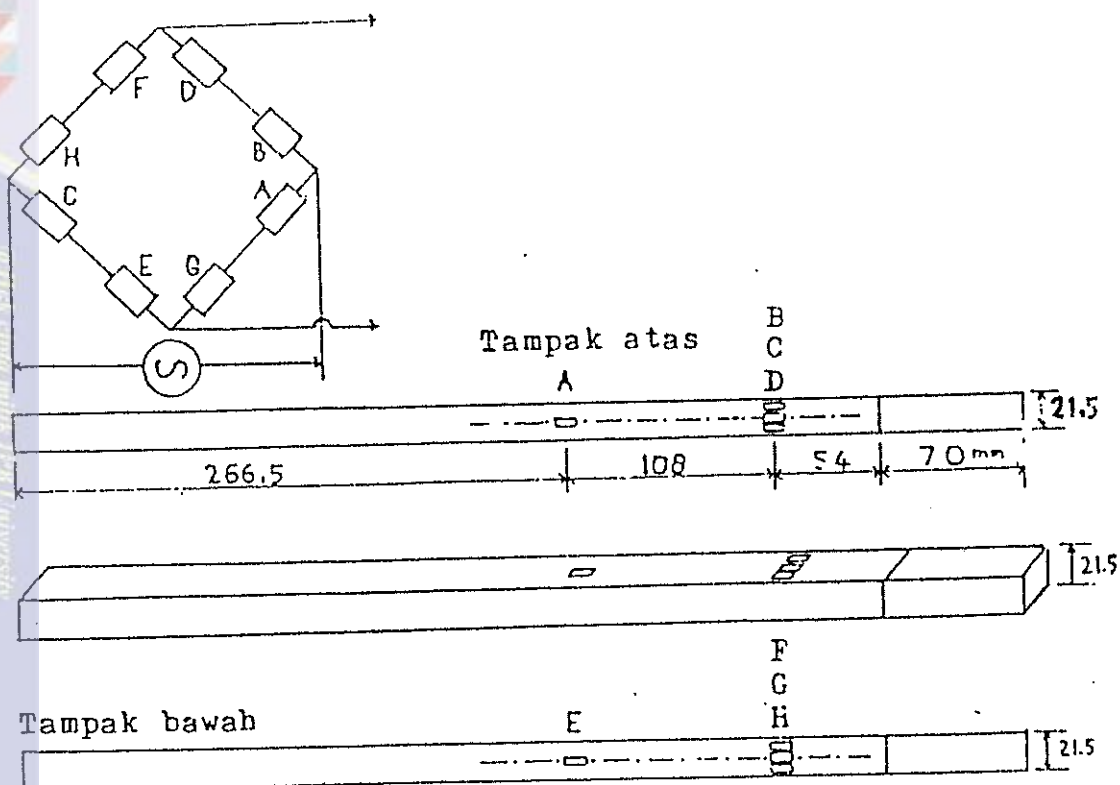
B. PEMASANGAN PENGUKUR REGANGAN

Batang tarik (beam) dari bajak singkal yang mengalami tegangan-regangan akibat dari gaya tarik peti tanah yang digerakkan motor listrik dapat diukur oleh dinamometer pengukur regangan sehingga dapat menunjukkan besarnya tahanan tarik tanah yang terjadi.

Menurut Susanto (1991) yang merancang transduser tahanan tarik berdasarkan teori yang dikemukakan oleh Perry dan Lissner (1962) dan Srivastava (1987), seperti terlihat pada Gambar 6. Tegangan keluaran dari jembatan "wheatstone" sebanding dengan perbedaan momen bengkok pada penampang AE dan BCDFGH. Keluarannya tidak tergantung pada lokasi beban asalkan di luar sumbu AE. Keadaan ini sangat penting karena dapat digunakan untuk mengolah tanah pada kedalaman yang bervariasi, dimana lokasi titik bebannya bervariasi pula.

Pemasangan pengukur regangan dilakukan pada sebuah plat baja berpenampang 21.5 mm x 21.5 mm dan panjang 498.5 mm padaudukannya seperti pada Gambar 6, dimana jarak AC harus tiga kali jarak BC (Perry dan Lissner, 1962).

Selain itu transduser harus dapat mendeteksi gaya dari satu arah saja serta tidak begitu dipengaruhi oleh posisi titik beban, yaitu arah dari gaya tahanan tanah horizontal yang searah dengan gerakan alat pada saat pembajakan. Dengan demikian dilakukan kombinasi pemasangan pengukur regangan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan.



Keterangan : A, B, C, D, E, F, G, H = pengukur regangan

Gambar 6. Transduser tahanan tarik (Susanto, 1991)

C. PEMASANGAN MODEL BAJAK SINGKAL

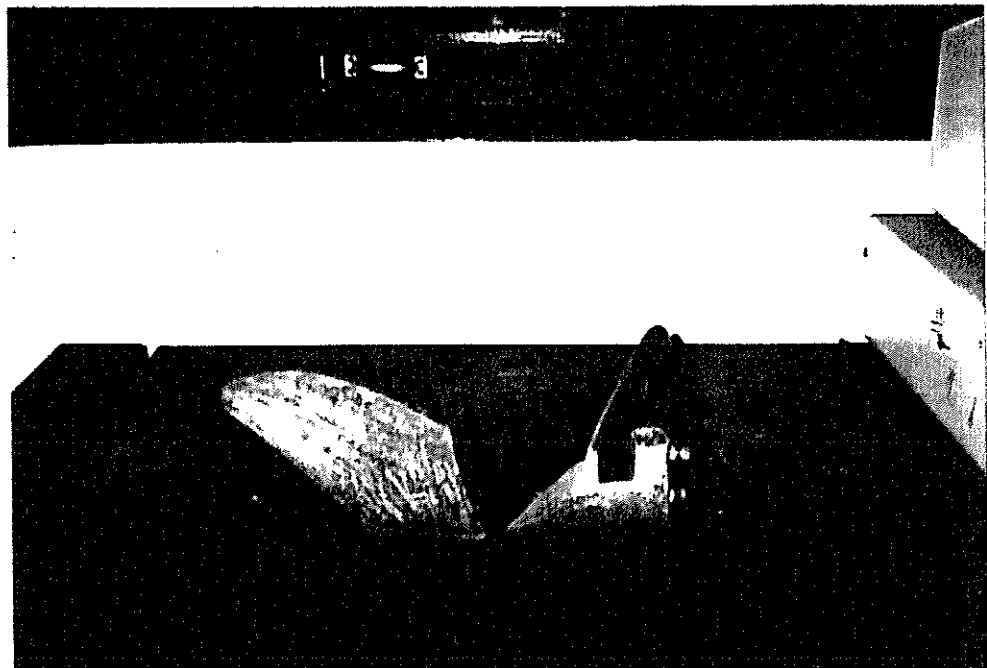
Model bajak singkal yang digunakan adalah model geometris ukurannya semua sesuai dengan skala yang dibuat. Mengingat ukuran soil bin yang tersedia maka ukuran model bajak singkal yang dibuat adalah berskala 1 : 4. Ukuran bajak ini dibuat berdasarkan contoh bajak singkal yang sudah ada dan biasanya ditarik dengan traktor 94 Hp.

Adapun ukuran model bajak singkal yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Panjang "land side" (p) = 135 cm

- Tinggi "landside"	= 70 mm
- Lebar bajak (l)	= 85 mm
- Panjang pisau	= 105 mm
- Jari-jari kelengkungan	= 103 mm
- Berat model bajak	= 633 gr
- Sudut olah bajak (α)	= 25 °

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 7.



Keterangan : l = lebar bajak
 s = panjang pisau
 p = panjang landside
 t = tinggi landside

Gambar 7. Model bajak singkal

Berhubung model bajak singkal yang dibuat merupakan suatu model, maka dengan menggunakan teori model diharapkan dari pengukuran tahanan tarik tanah di laboratorium dapat menduga besarnya tahanan tarik yang sebenarnya di lapangan, dengan skala yang sesuai.



IV. METODE PENELITIAN

A. TEMPAT DAN WAKTU PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Alat dan Mesin Budidaya Pertanian dan di laboratorium Fisika dan Mekanika Tanah. Jurusan Mekanisasi Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Penelitian dilaksanakan pada bulan Pebruari 1993 sampai dengan bulan Maret 1993.

B. ALAT DAN BAHAN

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. "Soil Bin test"
2. Model bajak singkal
3. Pengukur regangan beserta perlengkapannya
4. Dynamic Stain amplifier DPM 613
5. Isolasi dan kabel koloaksial
6. Penetrometer
7. Busur derajat
8. Uniaxial test
9. Kunci pas (1 set)
10. Penggaris/pita ukur
11. Oven pengering
12. Multimeter digital

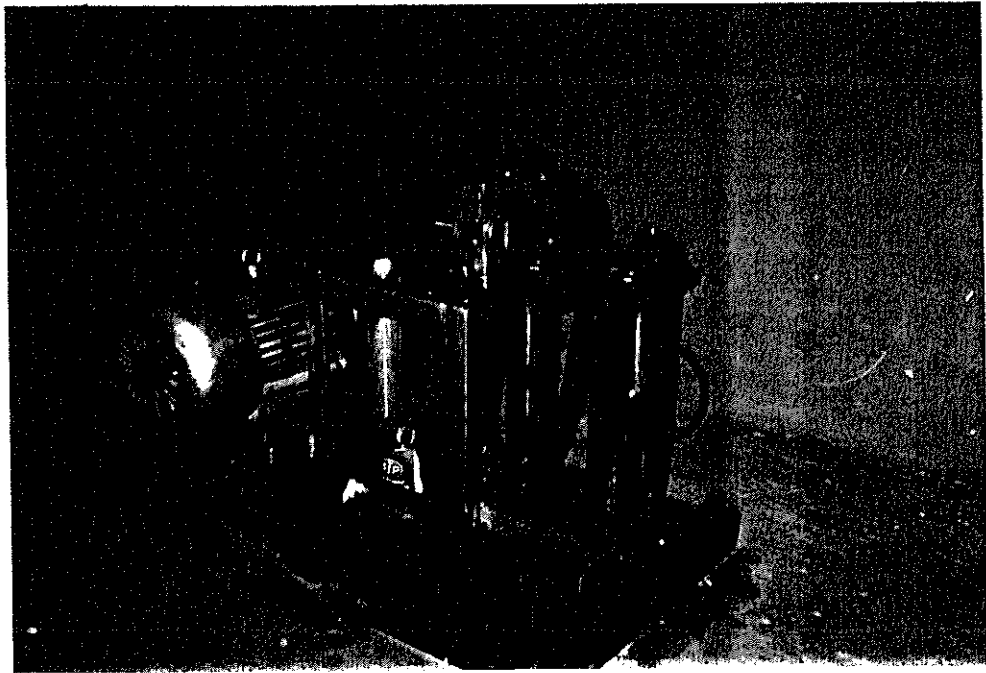
13. Ring sample
14. Cangkul
15. Pemadat dan perata tanah
16. Adaptor
17. Stopwatch
18. Timbangan
19. Pompa air/penyemprot air
20. Saringan tanah 2 mm dan 10 mm

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Tanah Latosol Cikabayan
2. Tanah Latosol Leuwikopo
3. Air
4. Air destilata

C. PROSEDUR PERCOBAAN

1. Sebagai langkah awal adalah pemilihan model bajak singkal yang tepat dengan pengaturan kedalaman dan sudut potongnya.
2. Memasang pengukur regangan pada batang tarik dari model bajak singkal, serta menghubungkannya pada amplifier DPM 613 lalu masuk ke interfase dan kemudian ke komputer.
3. Mengatur sistem transmisi agar dapat digunakan pada kecepatan tertentu.



Gambar 8. Unit penggerak serta sistem transmisi "Soil Bin test"

4. Pengambilan contoh tanah dari Cikarawang dan Leuwikopo untuk diisikan kedalam "Soil bin Test" kemudian tanah diratakan dan diapadatkan sesuai dengan kepadatan yang diinginkan.
5. Jika semuanya telah terpasang dengan baik maka dilakukan pengujian terhadap kerja alat secara keseluruhan.

Setelah semuanya siap barulah dilakukan perlakuan-perlakuan yang sesuai dengan yang direncanakan untuk pengambilan data tahanan tarik tanah serta data sifat-sifat fisik tanah berupa kadar air, kohesi bulk density, serta sudut gesek dalam.

D. PERLAKUAN

Parameter berubah yang dalam pengukuran adalah tahanan tarik tanah, jenis tanah, kohesi, sudut geser dalam tanah dan densitas tanah. Persamaannya adalah :

$$D = f (T, c, \phi, \rho)$$

Untuk kohesi, sudut geser dalam tanah dan densitas tanah diwakili dengan merubah kadar air tanah (K). Dengan demikian persamaannya :

$$D = f (T, K)$$

Sehingga dengan mengkombinasikan T dan K akan didapatkan 10 perlakuan yaitu dari perlakuan 5 (lima) tingkat kadar air dan 2 (dua) jenis tanah. Setiap perlakuan dilakukan dengan tiga kali ulangan, sehingga jumlah data tahanan tarik yang masuk ada 30 data :

Jenis tanah yang digunakan adalah :

T1 = Tanah Cikarawang

T2 = Tanah Leuwikopo

Tingkat kadar air yang digunakan adalah :

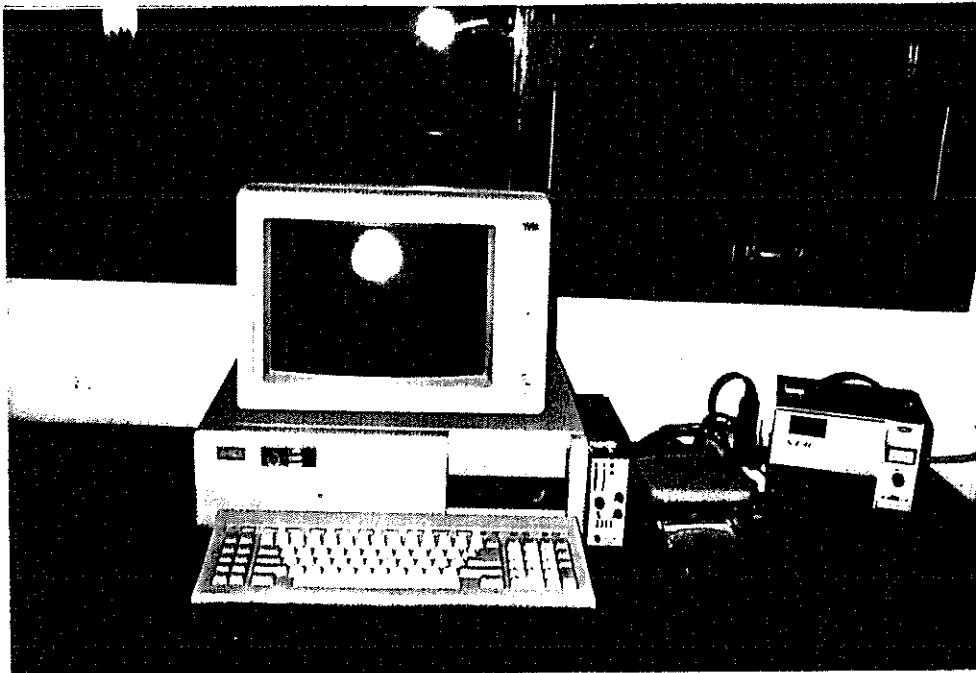
K1 = kadar air (23 - 26)%

K2 = kadar air (27 - 30)%

K3 = kadar air (31 - 34)%

K4 = kadar air (35 - 39)%

K5 = kadar air (40 - 43)%



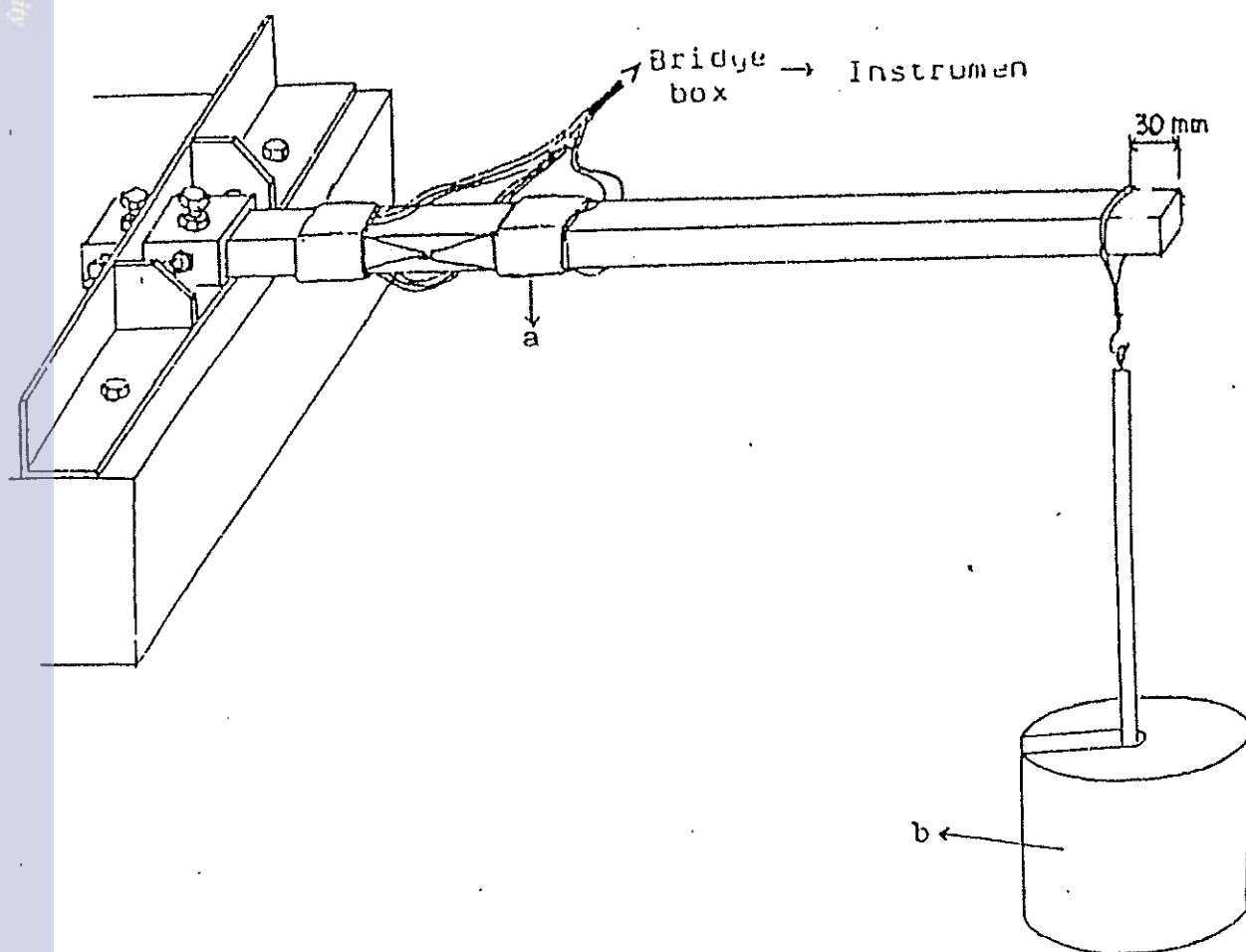
Gambar 9. Unit instrumen untuk pengukuran tahanan tarik tanah

E. KALIBRASI

Kalibrasi ini berfungsi untuk mendapatkan hubungan antara tinggi grafik dan beban yang diterima oleh tranduser, atau regangan yang diterima oleh tranduser.

Kalibrasi tranduser dilakukan dengan cara menggantung beban pada ujung tranduser seperti terlihat pada gambar 10. Beban yang digantungkan untuk kalibrasi gaya berkisar dari 0 - 46.2 kg. Tingkat penguat instrumen pada DPM 613 berada pada range $5 \times 100 \mu\epsilon$, pada vern tertentu.

Pada kalibrasi ini dilakukan juga penambahan dan pengurangan beban yang nantinya dipergunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya gejala histerisis. Masukan unit ini yang berasal dari pembebanan yang kemudian dikondisikan di unit penguat (DPM 613) serta unit penguat penyangga. Sehingga didapatkan antara gaya tahanan tarik yang diukur oleh tranduser dengan hasil yang dibaca dengan komputer.



Keterangan : a = Tranduser
b = Beban

Gambar 10. Kalibrasi Tranduser

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. KALIBRASI TRANSDUSER

Kalibrasi yang dilakukan untuk mendapatkan hubungan antara tegangan yang dihasilkan dengan beban yang diterima oleh transduser atau unit pengindra. Hasil kalibrasi dinyatakan dalam bentuk persamaan regresi. Dengan demikian apabila tegangannya diketahui maka dengan memasukkannya pada persamaan regresi nilai beban yang diterima oleh transduser akan dapat diketahui.

Pada pengujian dan kalibrasi transduser dalam penelitian ini dilakukan penyetelan unit penguat (strain amplifier) pada range $5 \times 100 \mu\epsilon$ dengan Vern maksimum.

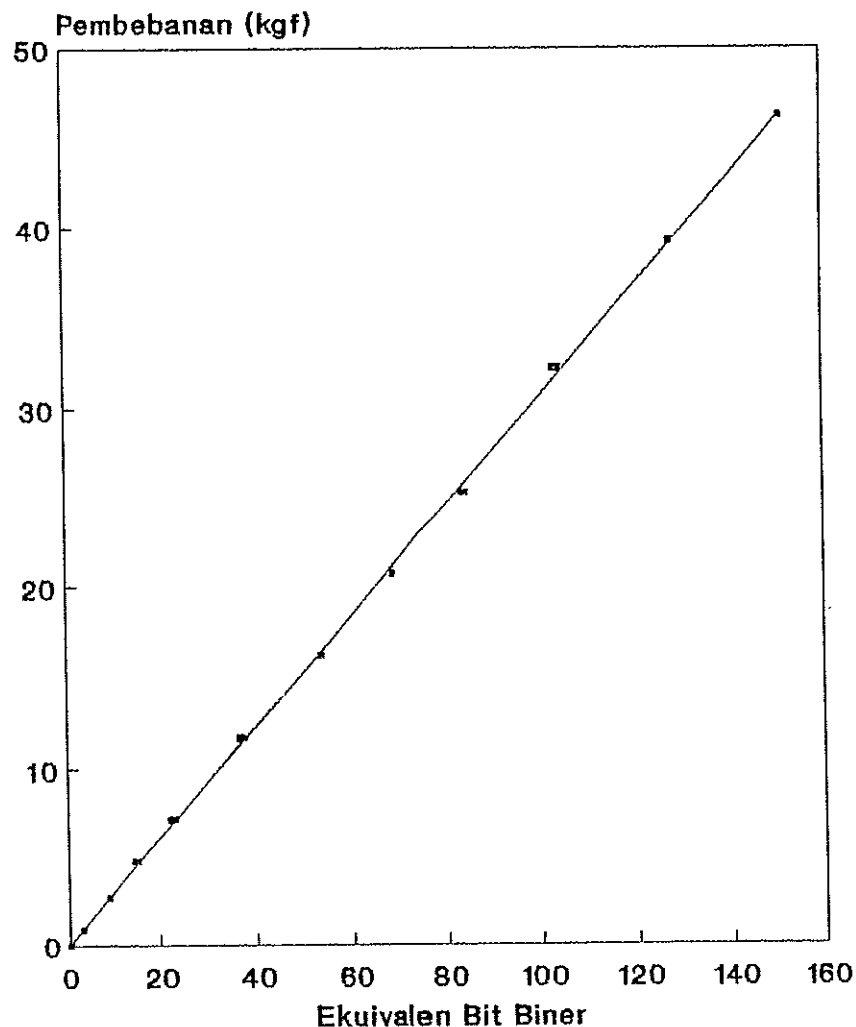
Persamaan regresi yang diperoleh adalah :

$$W = 0.306174 B + 0.0041334 \quad \dots\dots\dots(15)$$

dimana W adalah berat beban (kgf) dan B adalah ekuivalen bit biner (EBB) dengan nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0.99978.

Pengujian juga dilakukan untuk melihat ada atau tidaknya gejala histerisis pada transduser atau unit penggerak untuk itu kalibrasi pada transduser dilakukan dengan dua perlakuan yaitu perlakuan dengan penambahan beban dan perlakuan dengan pengurangan beban. Untuk itu data hasil pengujian kalibrasi transduser dapat dilihat pada Lampiran 5.

Grafik regresinya dapat dilihat pada gambar 11. dari grafik tersebut terlihat bahwa gejala histerisis sangat kecil sekali yang artinya letak grafik pada penambahan beban dan grafik pengurangan beban hampir berhimpit, sehingga apabila dilakukan pengukuran tidak akan begitu berpengaruh.



Gambar 11. Hubungan antara beban dan ekuivalen bit biner pada kalibrasi transduser.

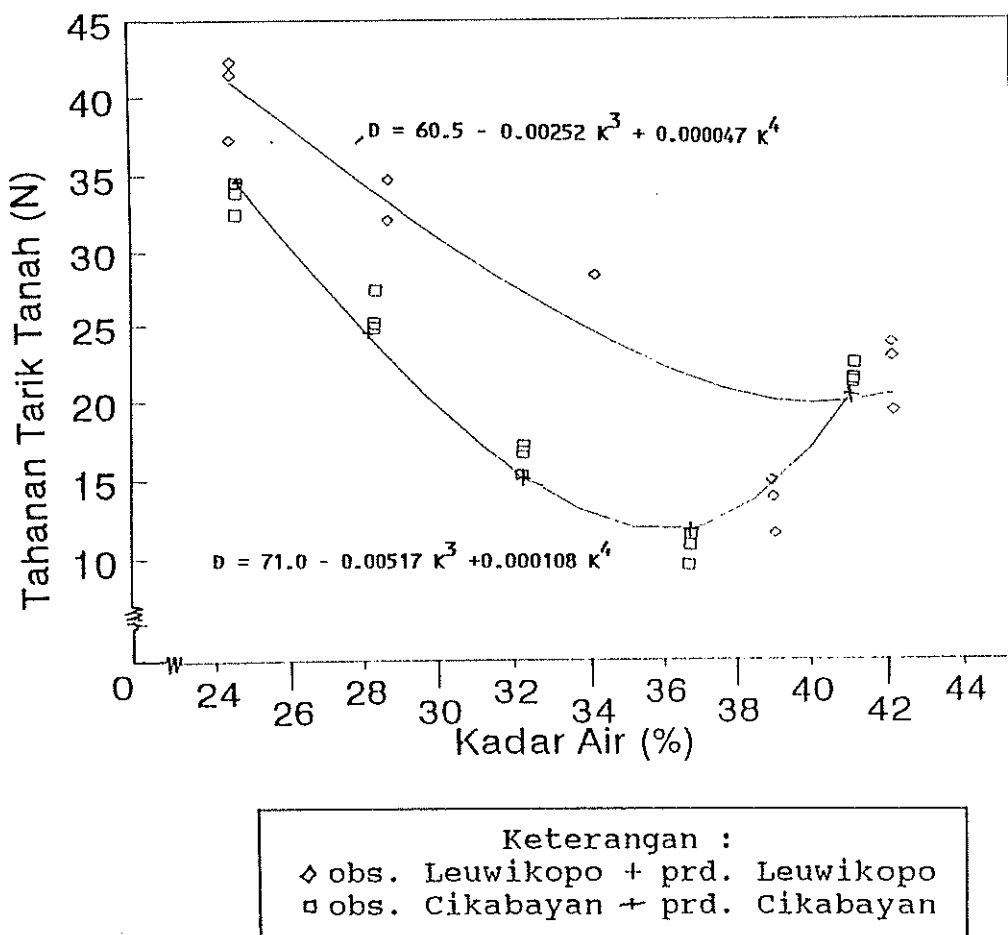
B. PENGARUH KADAR AIR DAN BEBERAPA SIFAT MEKANIK TANAH TERHADAP TAHANAN TARIK TANAH

1. Pengaruh Kadar Air Terhadap Tahanan Tarik Tanah

Besarnya tahanan tarik tanah pada berbagai tingkat kandungan air tanah seperti yang ditunjukkan pada Lampiran 7 serta Gambar 12, maka akan terlihat bahwa dengan bertambahnya kandungan air tanah maka tahanan tarik tanah akan berkurang mencapai suatu titik terendah dan kemudian akan naik kembali dengan bertambahnya kandungan air tanah, titik terendah tersebut terjadi pada tanah yang mendekati batas plastis seperti yang dikemukakan oleh Hardjowigeno (1987) bahwa batas plastis ("Plastic limit") adalah suatu keadaan tanah dimana tanah berada dalam keadaan setengah kaku dan mudah pecah, dan pada kadar air lebih kecil atau pada batas menggolek tanah sukar untuk diolah.

Pengolahan tanah dibagi kedalam dua macam yaitu pengolahan tanah basah atau tanah sawah serta pengolahan tanah kering seperti dalam penelitian ini. Dalam pengolahan tanah kering semakin kering suatu keadaan tanah maka semakin sukar tanah tersebut untuk diolah dan dengan penambahan kadar air sampai batas plastis, tanah semakin mudah untuk diolah disini air berperan sebagai pelumas antara tanah dengan mata bajak serta dengan penambahan kadar air

terjadi perubahan konsistensi tanah dari konsistensi keras menjadi konsistensi lunak dan gembur atau remah kemudian dengan terus bertambahnya kadar air sampai batas tertentu akan mempengaruhi kelengketan tanah sehingga tanah menjadi sukar untuk diolah. Disini jelas bahwa pengolahan yang efektif terjadi pada selang mendekati batas plastis (berada dibawah limit batas plastis dan diatas limit batas plastis).



Gambar 12. Hubungan antara tahanan tarik tanah dengan kadar air

Hasil penelitian ini diperoleh hubungan antara tahanan tarik tanah dengan kadar air tanah (persen basis kering) pada tanah latosol Leuwikopo didapat suatu persamaan $D = 71.0 - 0.00517 K^3 + 0.000108 K^4$ dengan nilai koefisien korelasi $(r) = 0.965$ sedangkan untuk tanah latosol Cikabayan diperoleh persamaan $D = 60.5 - 0.00252 K^3 + 0.000047 K^4$ dengan nilai koefisien korelasi $(r) = 0.859$.

dimana D = Tahanan tarik tanah (N)

K = Kandungan air tanah (% b.k.)

Dalam grafik yang terdapat pada gambar 1 dimana tahanan tarik meningkat secara polinomial sampai pada nilai maksimum diatas batas atas kisaran plastis dan akan menurun setelah melewati batas tersebut. Sedangkan dalam penelitian ini terjadi penurunan terlebih dahulu sebelum terjadi kenaikan yang mendekati batas plastis, jadi kemungkinan besar penelitian ini berada jauh disebelah kiri grafik tahanan tarik dalam gambar 1 tersebut.

2. Pengaruh Sudut Geser Dalam Terhadap Tahanan Tarik Tanah

Besarnya tahanan tarik tanah sangatlah dipengaruhi oleh besarnya sudut geser dalam, semakin besar sudut geser dalam tanah maka akan semakin besar pula nilai tahanan tarik tanah sehingga didapat hubungan yang linier antara tahanan tarik tanah dengan sudut

geser dalam tersebut sebagaimana dalam Gambar 13.

Seperti terlihat dalam Lampiran 3 menunjukkan bahwa semakin meningkatnya kadar air tanah akan menurunkan nilai sudut geser tanah sampai mencapai batas terendah yaitu mendekati limit plastis dan akan naik kembali dengan bertambahnya kadar air tanah.

Pembajakan dengan menggunakan bajak singkal pada pengolahan tanah akan menimbulkan gaya gesekan tanah yang diberikan oleh tanah untuk menentang gaya yang diberikan bajak singkal. Semakin besar atau meningkatnya sudut geser dalam tanah maka akan mempengaruhi besarnya gaya gesekan sesuai dengan yang dinyatakan oleh Perry (1962) bahwa gaya gesekan tanah akan meningkat sesuai dengan meningkatnya sudut geser dalam tanah. Semakin meningkatnya gaya gesekan tanah akan meningkatkan pula kekuatan tanah terhadap gaya-gaya dari luar tanpa tanah mengalami kerusakan baik berupa perpecahan, pemisahan dan aliran maka dengan meningkatnya kekuatan tanah tersebut akan meningkatkan pula besarnya tahanan tarik tanah.

Hasil penelitian ini diperoleh hubungan antara tahanan tarik tanah dengan sudut geser dalam. Hubungan tahanan tarik tanah dengan sudut geser dalam tanah pada tanah latosol Leuwikopo dapat dibuat dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$D = -10.3 + 2.10 \phi \text{ dengan } r = 0.986$$

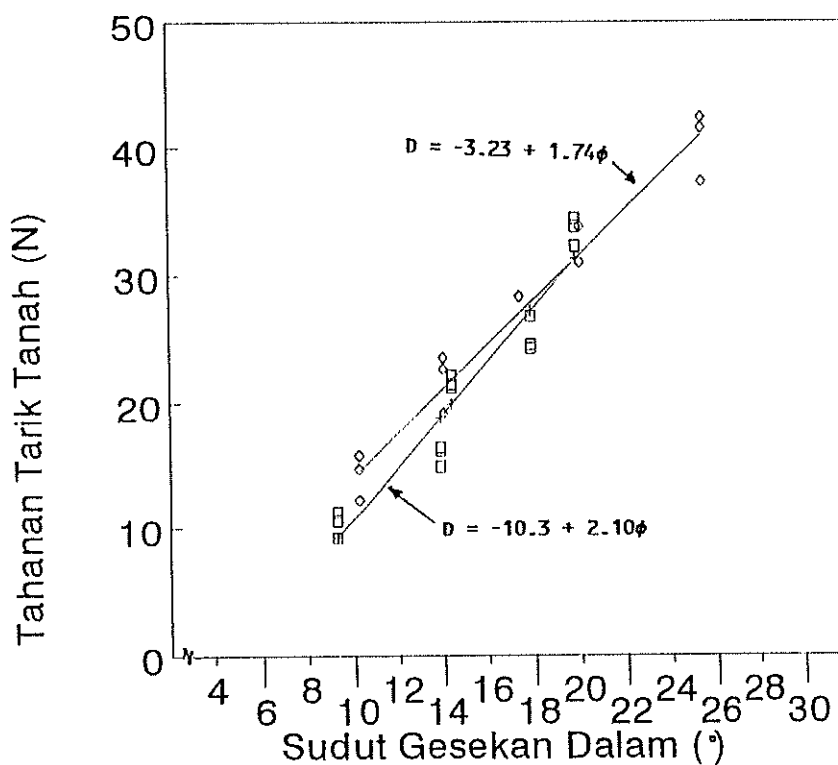
Sedangkan untuk tanah latosol Cikabayan dapat dibuat persamaan :

$$D = -3.23 + 1.74 \phi \text{ dengan } r = 0.968$$

dimana ; D = tahanan tarik tanah (N)

ϕ = sudut geser dalam (°)

r = koefisien korelasi



Keterangan :

□ obs. Leuwikopo + prd. Leuwikopo

◇ obs. Cikabayan - prd. Cikabayan

Gambar 13. Hubungan tahanan tarik tanah dengan sudut geser dalam

Dalam grafik yang diperlihatkan pada gambar 1 nilai tahanan geser meningkat secara linier dengan meningkatnya kadar air samapai pada nilai maksimum

pada batas bawah kisaran plastis dan kemudian menurun sampai nilai sangat rendah pada batas atas kisaran plastis . Keadaan ini berbeda dengan penelitian ini dimana tahanan geser terus menurun dengan bertambahnya kadar air.

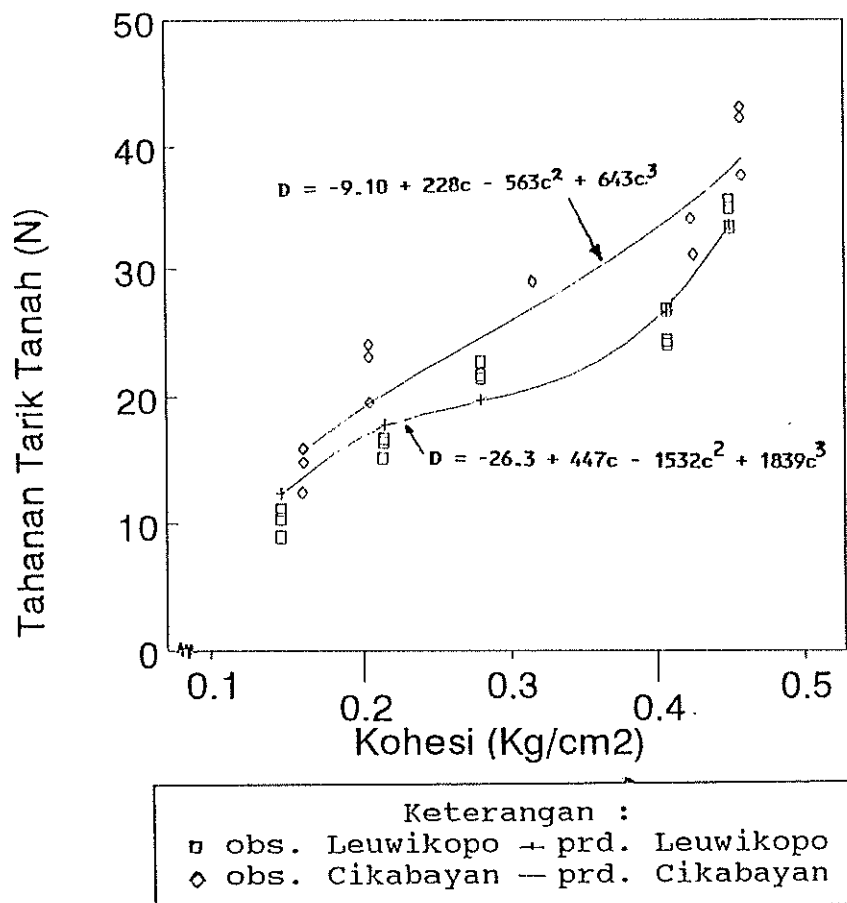
3. Pengaruh Kohesi Tanah Terhadap Tahanan Tarik Tanah

Pada Lampiran 3 terlihat bahwa semakin bertambahnya kadar air tanah sampai mendekati batas plastis maka nilai kohesi semakin berkurang. Dengan memasukkan nilai-nilai kohesi pada lampiran 3 pada persamaan 4, 5, 6 serta 7 sehingga semakin besarnya nilai kohesi tanah maka akan menyebabkan kenaikan pada nilai tahanan tarik tanah.

Besarnya kohesi tanah ditentukan oleh kekuatan ikatan antara partikel-partikel koloida. Pada batas ganti warna partikel-partikel koloida terikat oleh adanya air yang terwujud dalam molekul-molekul higroskopis sehingga dengan semakin berkurangnya ikatan masing-masing partikel, maka partikel-partikel tersebut mudah pecah dengan masuknya mata bajak dalam pembajakan sehingga akan mengurangi besarnya tahanan tarik tanah, sebagaimana yang dikemukakan oleh Baver (1959) bahwa berkurangnya nilai kohesi tanah disebabkan daya ikat masing-masing tanah berkurang dengan bertambahnya jumlah air yang berada di ruang

pori, dan konsistensi tanah dalam keadaan remah.

Selanjutnya Baver et al.(1972) menyatakan bahwa besarnya gaya kohesi tanah tergantung pada kadar air dan muatan liat. Gaya kohesi tanah akan meningkat dengan meningkatnya kandungan liat, sehingga pada tanah pasir nilai kohesinya sama dengan nol.



Gambar 14. Hubungan antara tahanan tarik tanah dengan kohesi tanah

Selanjutnya Koolen dan Kuipers (1983) menyatakan bahwa tahanan tarik tanah meningkat dengan meningkatnya kohesi tanah dan kandungan liat.

Gambar 14 menunjukkan hubungan antara tahanan tarik tanah dengan kohesi tanah yang merupakan persamaan linier pangkat tiga. Untuk tanah latosol Leuwikopo bentuk persamaan sebagai berikut :

$$D = -26.3 + 447c - 1532c^2 + 1839c^3 ; r = 0.965$$

Sedangkan untuk tanah latosol Cikabayan bentuk persamaannya adalah :

$$D = -9.10 + 228c - 563c^2 + 643c^3 ; r = 0.959$$

Dalam grafik yang diperlihatkan pada gambar 1 dimana kohesi tanah meningkat dan mencapai nilai maksimum pada daerah kisaran plastis dan setelah itu akan menurun dengan bertambahnya kadar air. Sedang dalam penelitian ini dengan meningkatnya kadar air tanah terjadi penurunan nilai kohesi.

4. Pengaruh Densitas tanah terhadap tahanan tarik Tanah

Dalam Lampiran 3 menunjukkan bahwa nilai densitas tanah akan meningkat dengan meningkatnya kadar air tanah dan mencapai puncak yang disebut densitas maksimum pada nilai kadar air optimum yaitu pada batas plastis, dan berikutnya densitas akan menurun dengan meningkatnya kadar air tanah sehingga dalam pengaruhnya terhadap tahanan tarik tanah adalah

berbanding terbalik yang mana semakin besarnya nilai densitas tanah maka tahanan tarik tanah semakin kecil.

Densitas tanah menunjukkan tingkat kepadatan tanah yang dapat terjadi oleh usaha pemadatan maupun oleh kadar air dan dinyatakan dalam satuan berat pervolume. Jadi densitas tanah semakin besar maka berat tanah dalam volume yang sama akan semakin besar sehingga kepadatan semakin besar. Dengan meningkatnya kepadatan tanah akibat dari peningkatan densitas tanah oleh kadar air tidaklah menyebabkan peningkatan tahanan tarik tanah sebab walaupun pada pemadatan yang besar tetapi terjadi pada kadar air yang besar pula sehingga menyebabkan konsistensi tanah yang remah dan mudah pecah.

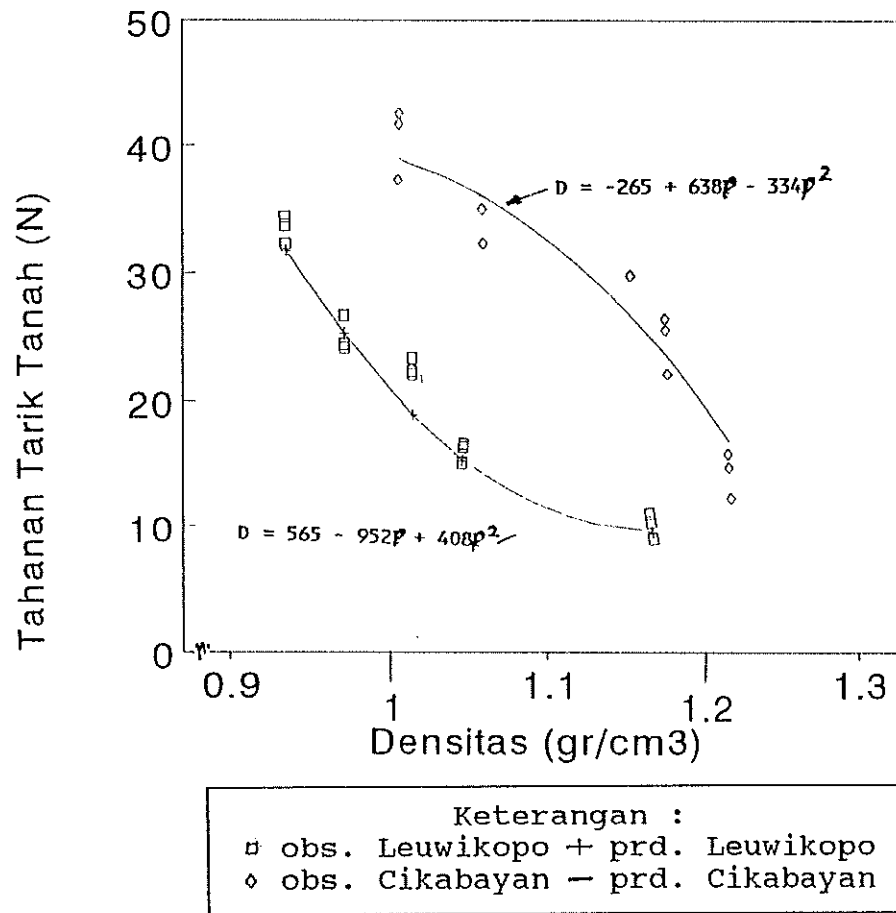
Untuk tanah Latosol Leuwikopo serta Cikabayan nilai tahanan tarik adalah berbanding terbalik secara kuadratik dari densitas.

Gambar 15 memperlihatkan hubungan antara tahanan tarik tanah dengan densitas tanah. Dan bentuk persamaan untuk tanah latosol Leuwikopo adalah :

$$D = 565 - 952p + 408p^2 ; r = 0.893$$

Sedangkan untuk tanah latosol Cikabayan adalah :

$$D = -265 + 638p - 334p^2 ; r = 0.906$$



Gambar 15. Hubungan antara tahanan tarik tanah dengan densitas tanah

Hillel, (1980) Mengatakan bahwa mulai dari kondisi kering "bulk density" meningkat dengan meningkatnya kadar air tanah dan mencapai densitas maksimum pada kadar air optimum dan berikutnya densitas akan menurun dengan bertambahnya kadar air. Maka dalam penelitian ini kadar air optimum terjadi pada nilai mendekati batas plastis.

C. PENDUGAAN PERSAMAAN TAHANAN TARIK TANAH PROTOTIPE DENGAN MODEL BAJAK SINGKAL

Model bajak singkal yang digunakan dalam penelitian ini merupakan model rancangan baru berupa model setengah penggali. Seandainya model tersebut dibuat prototipe dan digunakan dalam pembajakan dilapang, maka tahanan tarik tanah pembajakan dapat diduga dengan menggunakan rumus yang telah didapat dengan menggunakan parameter tertentu.

Adapun model bajak singkal tersebut telah dirancang dengan spesifikasi :

- a. Bahan terbuat dari plat baja
- b. panjang (p) = 0.135 m
- c. Lebar (l) = 0.085 m
- d. Massa (m) = 0.633 kg
- f. Tinggi (t) = 0.071 m
- g. Kecepatan pembajakan (v) = 0.329 m/s
- h. Sudut potong (α) = 25°

Dari persamaan 15 diperoleh :

$$\pi_{10} = f (\pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_{14}, \pi_{11}, \pi_9)$$

atau :

$$\frac{D}{mg} = f \left(\frac{gl}{v^2}, \frac{d}{l}, \alpha, \phi, \theta, \frac{\rho_{ldp}}{m}, \frac{l_{dc}}{m}, \frac{p}{l} \right)$$

Nilai α , ϕ dan θ dirubah menjadi $\tan \alpha$, $\tan \phi$ dan $\tan \theta$ sehingga menjadi persamaan :

$$\frac{D}{mg} = f \left(\frac{gl}{v^2}, \frac{d}{l}, \tan \alpha, \tan \phi, \tan \theta, \frac{\rho l d p}{m}, \frac{l d c}{m}, \frac{p}{l} \right) \dots \dots \dots (16)$$

nilai gl/v^2 , d/l , $\tan \alpha$, $\tan \theta$, dan p/l adalah konstan, yaitu :

$$gl/v^2 = 9.81 (0.085)/(3.642)^2 = 0.063$$

$$d/l = 0.045/0.085 = 0.529$$

$$\tan \alpha = \tan 25^\circ = 0.466$$

$$\tan \theta = \text{suatu nilai yang konstan}$$

$$p/l = 0.135/0.085 = 1.588$$

Nilai-nilai yang konstan dikeluarkan sehingga menjadi persamaan :

$$\frac{D}{mg} = f \left(\tan \phi, \frac{\rho l d p}{m}, \frac{l d c}{m} \right) \dots \dots \dots (17)$$

Untuk pengembangan persamaan bentuk selanjutnya adalah dengan memakai bentuk perkalian. Sebab jika menggunakan bentuk penjumlahan akan terlalu rumit, mengingat jumlah π yang terlibat dalam persamaan ada empat π .

Dengan menggunakan bentuk perkalian maka diperoleh persamaan :

$$\pi_{10} = C (\pi_5^a, \pi_{14}^b, \pi_{11}^c)$$

$$D/mg = C. (\tan \phi)^a. (\rho l d p/m)^b. (l d c/m)^c \dots \dots \dots (18)$$

Kemudian dari persamaan 18 dilogkan, maka menjadi persamaan :

$$\log \pi_{10} = \log C + a \log \pi_5 + b \log \pi_{14} + c \log \pi_{11}$$

$$\text{atau : } \log (D/mg) = \log C + a \log(\tan \phi) +$$

$$b \log(\rho_{ldp}/m) + c \log(l_{dc}/m) \dots\dots\dots(19)$$

Hasil perhitungan π_{10} , π_5 , π_{14} , π_{11} , $\log \pi_{10}$, $\log \pi_5$, $\log \pi_{14}$, dan $\log \pi_{11}$ dapat dilihat pada lampiran 8. Nilai-nilai tersebut untuk kedua jenis tanah yang berbeda yaitu tanah latosol leuwikopo dan tanah latosol Cikabayan. Nilai-nilai dari persamaan $\log(D/mg)$, $\log(\tan \phi)$, $\log(\rho_{ldp}/m)$, $\log(l_{dc}/m)$ dimasukkan kedalam analisa regresi berganda dengan $\log(D/mg)$ sebagai peubah tak bebasnya sedangkan yang lainnya sebagai peubah bebasnya, dan nilainya dapat dilihat pada lampiran 9.

Nilai $C' = \log C$, a , b , dan c merupakan konstanta yang didapatkan dari analisa regresi linier berganda . Untuk mendapatkan persamaan 17 maka persamaan 18 di antilogkan.

1. Tanah Latosol Leuwikopo

Hasil dari perhitungan regresi linier berganda dengan menggunakan konstanta seperti pada lampiran 8 diperoleh nilai $C' = 1.5892$ sehingga C merupakan nilai antilog $C' = 10^{1.5892}$ $a = 2.0865$,

$b = 4.4375$, $c = 0.3864$, maka persamaan yang diperoleh adalah sebagai berikut :

$$\text{Log } (D/mg) = \text{Log } 1.5892 + \text{Log } (\tan \phi)^{2.0865} + \text{Log } (\rho_{ldp}/m)^{4.4375} + \text{Log } (ldc/m)^{0.3864}$$

atau :

$$D/mg = 10^{1.5892} \times (\tan \phi)^{2.0865} \times (\rho_{ldp}/m)^{4.4375} \times (ldc/m)^{0.3864} \dots\dots\dots (19)$$

atau :

Dengan memasukkan nilai-nilai $m = 0.633 \text{ kg}$;
 $l = 0.085 \text{ m}$; $m = 0.633 \text{ kg}$; $g = 9.81 \text{ m/det}^2$ serta
 nilai-nilai ϕ ; ρ dan c yang sesuai pada tingkat
 kadar air tertentu seperti terdapat pada lampiran 3
 maka akan didapat nilai-nilai hasil pengukuran
 rata-rata dan hasil pendugaan tahanan tarik tanah
 seperti terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Pengukuran rata-rata serta pendugaan tahanan tarik tanah untuk tanah Latosol Leuwikopo

Perlakuan	Pengukuran rata ² (kgf)	Pendugaan (kgf)
T1K1	33.4088	30.7397
T1K2	25.2439	28.1303
T1K3	15.7980	15.2370
T1K4	10.2961	10.1484
T1K5	21.8577	20.7804

Untuk menghitung besarnya tahanan tarik pembajakan dengan prototipe bajak singkal didapat dari persamaan 16, yaitu :

$$\frac{D}{mg} = f \left(\frac{gl}{v^2}, \frac{d}{l}, \tan \alpha, \tan \phi, \tan \theta, \frac{p_{ldp}}{m}, \frac{ldc}{m}, \frac{p}{l} \right)$$

$$\pi_{10} = f(\pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_{14}, \pi_{11}, \pi_9)$$

maka diperoleh hubungan antara π_n model dengan π_n prototipe sebagai berikut :

$$\pi_{10M} = \pi_{10T}$$

$$\pi_{2M} = \pi_{2T}$$

$$\pi_{3M} = \pi_{3T}$$

$$\pi_{4M} = \pi_{4T}$$

$$\pi_{5M} = \pi_{5T}$$

$$\pi_{6M} = \pi_{6T}$$

$$\pi_{14M} = \pi_{14T}$$

$$\pi_{11M} = \pi_{11T}$$

$$\pi_{9M} = \pi_{9T}$$

Akan tetapi dengan adanya perbedaan pengukuran yang dilakukan di Laboratorium dengan pengukuran yang dilakukan di Lapangan seperti Tahanan Tarik Tanah, Sudut geser dalam, Densitas tanah dan Kohesi Tanah maka tidak menggunakan hubungan diatas atau hubungan similiary akan tetapi menggunakan hubungan distorted, sehingga persamaannya menjadi :

$$\pi_{10M} = \delta \pi_{10T} \dots\dots\dots (20)$$

$$\pi_{5M} = \alpha \pi_{5T} \dots\dots\dots (21)$$

$$\pi_{14M} = \beta \pi_{14T} \dots\dots\dots (22)$$

$$\pi_{11M} = \gamma \pi_{11T} \dots\dots\dots (23)$$

Dimana δ , α , β , dan γ adalah faktor penduga (prediction factor) maka pendugaan tahanan tarik tanah pembajakan dengan prototipe bajak singkal adalah :

$$\pi_{10M} = \delta \pi_{10T}$$

$$\delta \pi_{10T} = f (\alpha \pi_{5T}, \beta \pi_{14T}, \gamma \pi_{11T}) \dots\dots\dots (24)$$

$$(D/mg)_M = \delta (D/mg)_T \dots\dots\dots (25)$$

dimana : D_T : tahanan tarik tanah pembajakan dengan prototipe bajak singkal (Newton)

D_M : tahanan tarik pembajakan dengan model bajak singkal (Newton)

m_T : massa prototipe (kg)

m_M : massa model (kg)

g : percepatan Gravitasi (kgm/s^2)

δ : faktor penduga (prediction factor)

Dalam pengerjaan analisis dimensi dengan beberapa variabel yang berbeda antara laboratorium dan lapangan sehingga perlu untuk membandingkan besarnya nilai Tahanan Tarik Tanah pada pengukuran yang dilakukan di Soil Bin serta nilai Tahanan Tarik Tanah yang pengukurannya di lapangan. Data

lapangan diambil dari penelitian yang dilaksanakan oleh Widiana (1988), sehingga dengan menginterpolasi berdasarkan kadar air akan didapat nilai-nilai seperti pada tabel 2 dibawah ini :

Tabel 2. Nilai-Nilai Tahanan Tarik Tanah pada soil Bin serta nilai-nilai tahanan tarik tanah diLapangan

Kadar Air	Nilai Tahanan Tarik Tanah(kgf) Pada Soil Bin	Di Lapangan
23.32	33.4088	1614.95
28.17	25.2439	1083.86
32.11	15.7980	774.99
36.61	10.2961	422.24
41.04	21.8577	1208.16

Data yang berkaitan dengan ukuran dari desain bajak singkal dimana lebar prototipe bajak singkal empat kali lipat dari lebar model bajak singkal, maka Desain bajak singkal yang dibuat adalah :

$$(ldc/m)_T = (ldc/m)_M \text{ dengan nilai } l_T = 0.340 \text{ m}$$

$$d_T = 0.18 \text{ m}$$

$$(p/l)_T = (p/l)_M \text{ dengan nilai } p_T = 0.540 \text{ m}$$

$$(gl/v^2)_T = (gl/v^2)_M \text{ dengan nilai } v_T = 0.658 \text{ m/s}$$

$$m_T = 150 \text{ kg}$$

Dengan memasukkan nilai-nilai dari Tabel 2 pada persamaan 20 maka nilai paktor prediksi δ rata-rata = 5.0635 ;

Dengan perhitungan yang sama untuk π_5 , π_{14} , π_{11} dengan memasukkan nilai-nilai sifat fisik tanah

antara pengukuran di Laboratorium dengan pengukuran dilapangan seperti pada tabel 3 dan 4 pada persamaan 21, 22 dan 23 akan diperoleh nilai-nilai sebagai berikut :

$$\alpha \text{ rata-rata} = 2.9254 \quad ; \quad 1.9050 \leq \alpha \leq 3.5086$$

$$\beta \text{ rata-rata} = 3.3588 \quad ; \quad 3.1796 \leq \beta \leq 3.5765$$

$$\tau \text{ rata-rata} = 0.8327 \quad ; \quad 0.4723 \leq \tau \leq 1.0594$$

Dari persamaan 20 :

$$\delta\pi_{10T} = f(\alpha\pi_{5T}, \beta\pi_{14T}, \gamma\pi_{11T}) \dots\dots\dots(24)$$

Dengan menggunakan perkalian maka diperoleh persamaan :

$$\delta\pi_{10T} = C (\alpha\pi_{5T}^X, \beta\pi_{14T}^Y, \gamma\pi_{11T}^Z)$$

$$(\delta D/mg)_T = C \cdot (\alpha \tan \phi)_T^X \cdot (\beta \rho_{ldp/m})_T^Y \cdot (\gamma c_{ld/m})_T^Z$$

Kemudian persamaan diatas di-Logkan Selanjutnya nilai-nilai logaritmanya dimasukkan kedalam analisa regresi berganda dengan peubah bebasnya $(\log(\delta D/mg)_T)$ sehingga didapatkan nilai $C' = \log C = 10^{-184.768}$; $x = -145.038$; $y = -17.018$; $z = 81.030$ dengan korelasi ($r = 99.91\%$)

Maka persamaan yang diperoleh adalah sebagai berikut :

$$\delta(D/mg)_T = 10^{-184.768} \times \alpha^{-145.038} \cdot (\tan \phi)^{-145.038} \times \beta^{-17.018} \cdot (\rho_{ldp/m})^{-17.018} \times \tau^{81.030} \times (ldc/m)^{81.030}$$

$$(D/mg)_T = 1/\delta \cdot 10^{-184.768} \times 2.4 \times 10^{-68} (\tan \phi)^{-145.038} \\ \times 1.110 \times 10^{-9} (\rho_{ldp}/m)^{-17.018} \times 3.607 \times 10^{-7} \\ \times (ldc/m)^{81.030}$$

$$(D/mg)_T = 11.5396 \times 10^{-208.768} (\tan \phi)^{-145.038} \times \\ (\rho_{ldp}/m)^{-17.018} \times (ldc/m)^{81.030}$$

Sehingga dengan demikian dari perhitungan di atas maka dapat dibuat suatu tabel besarnya tahanan tarik pembajakan dengan model dan besarnya pendugaan tahanan tarik prototipe dilapangan dari bajak singkal pada tanah latosol Leuwikopo.

Tabel 3. besar tahanan tarik pembajakan melalui pengukuran dilapangan dengan hasil pendugaan analisa Dimensi Pada tanah latosol Leuwikopo

Perlakuan	Hasil Pengukuran Lapangan (kgf)	Hasil pendugaan (kgf)
T1K1	1614.95	1842.77
T1K2	1083.86	1095.51
T1K3	774.99	750.50
T1K4	422.34	418.11
T1K5	1208.16	1187.56

2. Tanah Latosol Cikabayan

Hasil dari perhitungan regresi linier berganda dengan menggunakan konstanta seperti pada lampiran 8 diperoleh nilai $C' = 0.8614$ sehingga C me-

rupakan nilai antilog $C' = 10^{0.8614}$ $a = 1.0155$,
 $b = 1.1148$, $c = 0.2601$, maka persamaan yang diperoleh adalah sebagai berikut :

$$\text{Log } (D/mg) = \text{Log } 0.8614 + \text{Log } (\tan \phi)^{1.0155} + \text{Log } (\rho_{ldp}/m)^{1.1148} + \text{Log } (ldc/m)^{0.2601}$$

atau :

$$D/mg = 10^{0.8614} \times (\tan \phi)^{1.0155} \times (\rho_{ldp}/m)^{1.1148} \times (ldc/m)^{0.2601} \dots\dots\dots (19)$$

atau :

Dengan memasukkan nilai-nilai $m = 0.633 \text{ kg}$;
 $l = 0.085 \text{ m}$; $m = 0.633 \text{ kg}$; $g = 9.81 \text{ m/det}^2$; $m = 0.045$ serta nilai-nilai ϕ ; ρ dan c yang sesuai pada tingkat kadar air tertentu seperti terdapat pada lampiran 3 maka akan didapat nilai-nilai hasil pengukuran rata-rata dan hasil pendugaan tahanan tarik tanah seperti terlihat pada tabel 4.

Tabel 4. Pengukuran rata-rata serta pendugaan tahanan tarik tanah untuk tanah Latosol Leuwikopo

Perlakuan	Pengukuran rata ² (kgf)	Pendugaan (kgf)
T2K1	40.3997	38.0483
T2K2	31.8844	31.6921
T2K3	28.3532	28.4162
T2K4	14.2131	14.1816
T2K5	21.8123	21.6182

Dalam pengerjaan analisis dimensi dengan beberapa variabel yang berbeda antara laboratorium dan lapangan sehingga perlu untuk membandingkan besarnya nilai Tahanan Tarik Tanah pada pengukuran ang dilakukan di Soil Bin serta nilai Tahanan Tarik Tanah yang pengukurannya dilapangan. Data lapangan diambil dari penelitian yang dilaksanakan oleh Widiana (1988), sehingga dengan menginterpolasi berdasarkan kadar air akan didapat nilai-nilai seperti pada tabel 5 dibawah ini :

Tabel 5. Nilai-Nilai Tahanan Tarik Tanah pada soil Bin serta nilai-nilai tahanan tarik tanah diLapangan

Kadar Air	Nilai Tahanan Tarik Tanah(kgf) Pada Soil Bin	Di Lapangan
24.11	40.3997	1528.69
28.91	31.8844	1025.85
33.98	28.3532	628.41
38.76	14.2131	253.70
42.23	21.8123	1241.76

Data yang berkaitan dengan ukuran dari desain bajak singkal dimana lebar prototipe bajak singkal empat kali lipat dari lebar model bajak singkal, maka Desain bajak singkal yang dibuat adalah :

$$(ldc/m)_T = (ldc/m)_M \text{ dengan nilai } l_T = 0.340 \text{ m}$$

$$d_T = 0.18 \text{ m ; } m_T = 150 \text{ kg}$$

$$(p/l)_T = (p/l)_M \text{ dengan nilai } p_T = 0.540 \text{ m}$$

$$(gl/v^2)_T = (gl/v^2)_M \text{ dengan nilai } v_T = 0.658 \text{ m/s}$$

Dengan memasukkan nilai-nilai dari Tabel 5 pada persamaan 20 maka nilai faktor prediksi δ rata-rata = 8.3515 ;

Dengan perhitungan yang sama untuk π_5 , π_{14} , π_{11} dengan memasukkan nilai-nilai sifat fisik tanah antara pengukuran di Laboratorium dengan pengukuran di lapangan seperti pada lampiran 3 dan 4 pada persamaan 21, 22 dan 23 akan diperoleh nilai-nilai sebagai berikut :

$$\alpha \text{ rata-rata} = 3.4985 \quad ; \quad 2.1722 \leq \alpha \leq 4.6158$$

$$\beta \text{ rata-rata} = 3.6190 \quad ; \quad 3.4090 \leq \beta \leq 3.8220$$

$$\gamma \text{ rata-rata} = 0.8719 \quad ; \quad 0.5349 \leq \gamma \leq 1.0818$$

Dari persamaan 20 :

$$\delta\pi_{10T} = f(\alpha\pi_{5T}, \beta\pi_{14T}, \gamma\pi_{11T})$$

Dengan menggunakan perkalian maka diperoleh persamaan :

$$\delta\pi_{10T} = C(\alpha\pi_{5T}^X, \beta\pi_{14T}^Y, \gamma\pi_{11T}^Z)$$

$$(\delta D/mg)_T = C \cdot (\alpha \tan \phi)_T^X \cdot (\beta \rho_{ldp}/m)_T^Y \cdot (\gamma c_{ld}/m)_T^Z$$

Kemudian persamaan diatas di-Logkan Selanjutnya nilai-nilai logaritmanya dimasukkan kedalam analisa regresi berganda dengan peubah bebasnya $(\log(\delta D/mg)_T)$ sehingga didapatkan nilai $C' = \log C = 10^{-33.3047}$; $x = -31.2833$; $y = -11.6507$; $z = 14.1871$ dengan korelasi ($r = 99.91\%$)

Maka persamaan yang diperoleh adalah sebagai berikut :

$$\delta(D/mg)_T = 10^{-33.3047} \times \alpha^{-31.2833} \cdot (\tan \phi)^{-31.2833} \times \beta^{-11.6507} \cdot (\Gamma ldp/m)^{-11.6507} \times 14.1871 \times (ldc/m)^{14.1871}$$

$$(D/mg)_T = 1/\delta \ 4.958.10^7 \times 9.673 \times 10^{-18} (\tan \phi)^{-31.2833} \times 3.105 \times 10^{-7} (\rho ldp/m)^{-11.6507} \times 0.143 (ldc/m)^{14.1871}$$

$$(D/mg)_T = 24.4230 \times 10^{-18} (\tan \phi)^{-31.2833} \times (\rho ldp/m)^{-11.6507} \times (ldc/m)^{14.1871}$$

Sehingga dengan demikian dari perhitungan diatas maka dapat dibuat suatu tabel besarnya tahanan tarik pembajakan dengan model dan prototipe dari bajak singkal pada tanah latosol Cikabayan.

Tabel 6. besar tahanan tarik pembajakan melalui pengukuran dilapangan dengan hasil pendugaan analisa Dimensi Pada tanah latosol Cikabayan

Perlakuan	Hasil Pengukuran Lapangan (kgf)	Hasil pendugaan (kgf)
T2K1	1528.70	1608.38
T2K2	1025.85	1084.30
T2K3	628.41	481.83
T2K4	253.70	305.28
T2K5	1241.76	1216.20

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Dalam pengujian dan kalibrasi unit pengindra atau transduser menimbulkan gaya histerisis yang sangat kecil sekali sehingga tidak mempengaruhi pengukuran.

Hubungan antara beban W (kgf) dengan ekuivalen bit biner B yang merupakan hasil pembacaan komputer adalah

$$W = 0.306174 E + 0.041334$$

dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0.99978

Persamaan antara tahanan tarik tanah dengan kadar air tanah pada tanah Latosol Leuwikopo adalah

$$D = 71.0 - 0.00517 K^3 + 0.000108 K^4$$

dengan $r = 0.965$

sedangkan untuk tanah Latosol Cikabayan adalah

$$D = 60.5 - 0.00252 K^3 + 0.000047 K^4$$

dengan $r = 0.859$.

Hubungan antara tahanan tarik tanah dengan sudut geser dalam untuk tanah Latosol Leuwikopo dengan persamaan sebagai berikut :

$$D = -10.3 + 2.10\phi \quad \text{dengan } r = 0.986$$

dan untuk tanah Latosol Cikabayan

$$D = -3.23 + 1.74\phi \quad \text{dengan } r = 0.968$$

Hubungan antara tahanan tarik tanah dengan kohesi tanah untuk tanah Latosol Leuwikopo dengan persamaan :

$$D = -26.3 + 447c - 1532c^2 + 1839c^3$$

dengan $r = 0.965$

dan untuk tanah Latosol Cikabayan :

$$D = -9.10 + 228c - 563c^2 + 643c^3$$

dengan $r = 0.959$.

Hubungan antara tahanan tarik tanah dengan densitas tanah untuk tanah Latosol Leuwikopo dengan persamaan :

$$D = 565 - 952\rho + 408\rho^2$$

dengan $r = 0.893$

dan untuk tanah Latosol Cikabayan adalah :

$$D = -265 + 638\rho - 334\rho^2$$

dengan $r = 0.906$.

Pendugaan persamaan tahanan tarik tanah dengan model bajak singkal untuk tanah Latosol Leuwikopo adalah :

$$D/mg = 10^{1.5892} \times (\tan \phi)^{2.0865} \times (\rho_{ldp}/m)^{4.4375} \times (ldc/m)^{0.3864}$$

dan persamaan prototipe bajak singkalnya adalah :

$$(D/mg)^T = 11.5396 \times 10^{-208.768} \cdot (\tan \phi)^{-145.038} \times (\rho_{ldp}/m)^{-17.018} \times (ldc/m)^{81.030}$$

Pendugaan persamaan tahanan tarik tanah dengan model bajak singkal untuk tanah Latosol Cikabayan adalah :

$$D/mg = 10^{0.8614} \times (\tan \phi)^{1.0155} \times (\rho_{ldp}/m)^{1.1148} \\ (l_{dc}/m)^{0.2601}$$

Dan persamaan prototipe bajak singkalnya adalah :

$$(D/mg)_T = 24.4230 \times 10^{-18} (\tan \phi)^{-31.2833} \times \\ (\rho_{ldp}/m)^{-11.6507} \times (l_{dc}/m)^{14.1871}$$

B. SARAN

Penelitian tahanan tarik ini dilakukan berdasarkan pada tingkat kadar air tanah yang berbeda. Penelitian tahanan tarik berdasarkan tingkat kedalaman yang berbeda juga telah pernah dilakukan, untuk itu disarankan untuk melakukan penelitian tahanan tarik tanah pada tingkat kecepatan yang berbeda. Juga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada berbagai macam jenis tanah serta model bajak singkal yang berbeda.

Pada penelitian ini model bajak singkal diam ditempat dan yang berjalan kotak tanahnya , sehingga perlu dilakukan dengan model bajak singkal yang bergerak dengan kotak tanah yang tetap sesuai dengan pengerjaan pembajakan dilapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1973. Buku Petunjuk Penggunaan Peta Beban Tahanan Tanah. Direktorat Teknik Pertanian. Jakarta.
- Bainer, R., E. L. Berger dan R. A. Kepner. 1978. Principles of Farm Machinery. Avi Pub. Co., Inc., Westport.
- Baver, L. D. 1972. Soil Physics. Fourth Edition. John Willey and Sons, Inc., New York.
- Buckman, O. H. dan N. C. Brady. 1974. The Nature and Properties of Soil. 7 th ed. The Mac Millan Co., Collier Mac Millan ltd, London.
- Bushan, L. S. dan B. P. Ghildyal. 1972. Influence of Radius of Cultivation of Moldboard on Soil Struktur Indian. J. Agric Sci 42(1) : 1 - 5.
- Davidson, J. D. 1954. Agricultural Machinery. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Daywin, F. J. 1991. Analisis Penggunaan Daya Traktor untuk Pembajakan Berkadar Liat Tinggi. Tesis S3.
- Gill, W. R. and G. E. Vanden Berg. 1968. Soil Dynamics in Tillage and Traction. Agricultural Research Service, Washington.
- Gunawan, H. 1992. Pemadatan, Permeabilitas dan Kekuatan Tanah pada Jenis Tanah Latosol dan Podsolik Darmaga Bogor. Tesis S1.
- Hardjowigeno, S. 1987. Ilmu Tanah. Edisi Pertama. PT Mediyatama Sarana Perkasa, Jakarta.
- Hillel, D. 1980. Soil and Water, Physical Principles and Processes. Academic Press, New York.
- Kisu, M. 1972. Soil Physical Properties and Machine Performance. JARQ. 6 (3).
- Koolen, A. J. 1977. Soil Loosening Processes in Tillage. Analysis, Systematics and Predictability. H. Veenman & Zonen B. V., Wageningen.
- Kuhl, H. 1972. Strain Gauge Theory and Handling Philips Electronics Industries GmbH, Hamburg.

- Liljedahl, J. B., W. M. Carleton, P. K. Turnquist dan D. W. Smith. 1979. *Tractors and Their Power Units*. John Wile & Sons. New York.
- Martaperdana, H. 1973. *Pengukur Regang Dalam Penelitian Alat Pengolah Tanah*. Mekanisasi Pertanian.
- Perry, C. C. dan H. R. Lisner. 1962. *The Strain Gauge Primer*. Mc. Graw-Hill Book Company, London.
- Richey, C. B., P. Jacobson and C. W. Hall. 1961. *Agricultural Engineer Handbook*. Me Graw-Hill Book Company, Newyork.
- Sapei, A., M. A Dhalhar, Fuji K., Miyanchi, S. dan Sudou, S. 1990. *Buku Penuntun Pengukuran Sifat-Sifat Fisik dan Mekanik Tanah*. Pengembangan Akademik Program Pasca Sarjana, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut pertanian Bogor, Bogor.
- Smith, H. P. dan L. H. Wilkes. 1977. *Farm Machinery and Equipment*. Sixth Edition. Tata Mc. Graw-Hill Pub., Co., Ltd., New Delhi.
- Soepardi, D. 1983. *Sifat dan Ciri Tanah*. Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Soetoto dan Aryono. 1980. *Mekanika Tanah*. Jilid I. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Srivastava, A. C. 1987. *Teknik Instrumentasi*. Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.
- Susanto, S. E. 1991. *Pendugaan Tahanan Tarik Tanah dengan Menggunakan Model Bajak Singkal pada Soil Bin Test Terhadap Kecepatan Maju Pembajakan dan Beberapa Sifat Mekanik Tanah*. Tesis S1.
- Young, R. E. dan R. L. Schaffer. 1977. *Autotraction : How Automation Can Improve Traction*. Agric. Engineering. 15 - 18.
- Wanders, A. A. 1978. *Pengukuran Energi*. Di dalam Strategi Mekanisasi Pertanian. Kerjasama IPB-LWH. Bogor.
- Widiana, L. S. 1988. *Mempelajari Pengaruh Kandungan Air Tanah terhadap Kebutuhan Draft dan Struktur Tanah Hasil Olah pada Pengolahan Tanah Kering dengan Bajak Singkal*. Tesis S1.

Wirjodiharjo. 1953. Ilmu Tubuh Tanah Jilid II. Noordhoff Koeff N. Y., Jakarta.

Wesley, L. D. 1973. Mekanika Tanah. Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.

Lampiran 1. Data pengukuran plastisitas tanah

Jenis Tanah	Batas Plastis (%)	Batas Cair (%)
Leuwikopo (latosol)	39.54	56.56
Cikabayan (latosol)	38.66	54.21

Lampiran 2. Data Pengukuran tekstur tanah

Jenis Tanah	Pasir	Tekstur (%) Liat	Debu
Leuwikopo (Latosol)	19.5	8.7	71.8
Cikabayan	19.5	32.0	48.5

Keterangan : pasir (0.074 - 2.00)
debu (0.005 - 0.074)
liat (< 0.005)

Lampiran 3. Data pengukuran mekanika tanah

Jenis tanah	Kadar air (%)	Densitas (Γ) (kg/cm ³)	Kohesi (c) (kg/cm ²)	Sudut gesek dalam (ϕ) (°)
Leuwikopo	24.32	0.9346	0.4435	19.8304
	28.17	0.9700	0.4044	17.8682
	32.11	1.0320	0.2135	13.8432
	36.61	1.1608	0.1485	9.2686
	41.04	1.0542	0.2756	14.3768
Cikabayan	24.11	1.0027	0.4532	25.4487
	28.91	1.0656	0.4199	20.0160
	33.98	1.1660	0.3111	17.4000
	38.76	1.2160	0.1590	10.1852
	42.23	1.1935	0.2006	14.9048

Lampiran 4. Data hasil pengukuran fisika tanah di lapangan hasil dari interpolasi

Jenis tanah	Kadar air (%)	Densitas(Γ) (*) (kg/cm ³)	Kohesi (c) (kg/cm ²)	Sudut gesek dalam (ϕ) (°)
Leuwikopo	24.32	976.549	6.2881	5.8690
	28.17	1086.055	5.7471	5.5644
	32.11	1161.945	5.2430	5.2527
	36.61	1269.179	4.6738	4.8967
	41.04	1227.383	4.1138	4.5460
Cikabayan	24.11	971.306	6.2547	5.8856
	28.91	1085.689	5.7488	5.5058
	33.98	1206.506	5.0066	5.1047
	38.76	1320.413	4.4021	4.4727
	42.23	1210.454	3.9633	4.4520

Sumber : Frans Jusuf Daywin (1991)
(*) Heru Gunawan (1992)

Lampiran 5 Data pengujian kalibrasi unit pengindra

Beban (Kgf)	Tegangan keluaran (Range 5 x 100 μ e)			
	Penambahan beban		Pengurangan beban	
	Volt	EBB	Volt	EBB
0	0	0	0	0
0.9	0.06	0.06	2.9	2.9
2.7	0.18	0.18	8.7	8.7
4.8	0.32	0.31	15.5	14.5
7.2	0.48	0.47	23.2	22.2
11.7	0.78	0.77	37.7	36.7
16.2	1.09	1.09	53.2	53.2
20.7	1.40	1.40	68.7	68.7
25.2	1.71	1.70	84.2	83.2
32.2	2.15	2.14	103.8	102.8
39.2	2.62	2.62	127.3	127.3
46.2	3.1	3.10	150.9	150.9

Lampiran 6 Contoh Regresi Antara Tahanan Tarik Tanah Dengan Sudut Geser Dalam, Densitas dan Kohesi

tanah latosol Cikabayan adalah :

The regression equation is
 $C3 = -265 + 638 \rho - 334 \rho^2$

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p
Constant	-265.2	243.1	-1.09	0.297
C1	637.7	440.3	1.45	0.173
C6	-333.6	198.4	-1.68	0.118

s = 3.044

R-sq = 90.6%

R-sq(adj) = 89.0%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	2	1072.54	536.27	57.87	0.000
Error	12	111.21	9.27		
Total	14	1183.75			

SOURCE	DF	SEQ SS
C1	1	1046.32
C6	1	26.21

Obs.	C1	C3	Fit	Stdev.Fit	Residual	St.Resid
1	1.00	40.380	38.792	1.697	1.587	0.63
2	1.00	40.380	38.792	1.697	1.587	0.63
3	1.00	40.380	38.792	1.697	1.587	0.63
4	1.07	31.884	35.499	1.412	-3.614	-1.34
5	1.07	31.884	35.499	1.412	-3.614	-1.34
6	1.07	31.884	35.499	1.412	-3.614	-1.34
7	1.17	28.353	24.771	1.147	3.582	1.27
8	1.17	28.353	24.771	1.147	3.582	1.27
9	1.17	28.353	24.771	1.147	3.582	1.27
10	1.19	21.812	20.660	1.005	1.152	0.40
11	1.19	21.812	20.660	1.005	1.152	0.40
12	1.19	21.812	20.660	1.005	1.152	0.40
13	1.22	14.213	16.920	1.439	-2.707	-1.01
14	1.22	14.213	16.920	1.439	-2.707	-1.01
15	1.22	14.213	16.920	1.439	-2.707	-1.01

Lampiran 7. Data hasil pengukuran tahanan tarik tanah

Perlakuan	E.B.B (desimal)	Tahanan Tarik (N)	Tahanan Tarik Spesifik (N/cm ²)
T1K11	111.98	34.3267	0.8974
T1K12	106.63	32.6887	0.8546
T1K13	109.88	33.6837	0.8806
T1K21	80.22	24.6026	0.6432
T1K22	79.26	24.3087	0.6355
T1K23	87.63	26.8714	0.7025
T1K31	52.59	16.1430	0.4220
T1K32	53.42	16.3971	0.4287
T1K33	48.38	14.8540	0.3883
T1K41	34.25	10.5278	0.2752
T1K42	29.76	9.1531	0.2393
T1K43	36.47	11.2075	0.2930
T1K51	73.41	22.5176	0.5887
T1K52	69.32	21.2653	0.5560
T1K53	70.05	21.4888	0.5618
T2K11	138.37	42.4066	1.1087
T2K12	135.55	41.5432	1.0861
T2K13	121.33	37.1894	0.9723
T2K21	101.13	31.0047	0.8106
T2K22	101.00	30.9649	0.8095
T2K23	109.88	33.6837	0.8806
T2K31	92.33	28.3104	0.7401
T2K32	92.55	28.3777	0.7419
T2K33	92.55	28.3777	0.7419
T2K41	39.73	12.2056	0.3191
T2K42	51.37	15.7695	0.4123
T2K43	47.79	14.6734	0.3836
T2K51	73.95	22.6829	0.5930
T2K52	62.40	19.1466	0.5006
T2K53	76.97	23.6075	0.6172

Keterangan : T = Jenis Tanah

(1) Tanah latosol Leuwikopo

(2) Tanah latosol Cikabayan

K = Kadar air tanah

Lampiran 8. Hasil perhitungan π_{10} , π_5 , π_{14} , π_{11} beserta logaritmanya

Draft (N)	D/mg	log D/mg	ϕ	$\tan(\phi)$	log $\tan \phi$	Γ (kg/m ³)	c (kg/m ²)	$\Gamma l_{dp}/m$	log $\Gamma l_{dp}/m$	l_{dc}/m	log l_{dc}/m
34.3267	5.52789	0.74256	19.8304	0.3606	-0.44295	934.6	4435	0.76241	-0.11781	26.79917	1.58945
32.2159	5.18797	0.71500	19.8304	0.3606	-0.44295	934.6	4435	0.76241	-0.11781	26.79917	1.58945
33.6837	5.42434	0.73435	19.8304	0.3606	-0.44295	934.6	4435	0.76241	-0.11781	26.79917	1.58945
24.6026	3.96194	0.59791	17.8682	0.3224	-0.49165	970.0	4044	0.79219	-0.10167	24.43649	1.38804
24.3087	3.91461	0.59269	17.8682	0.3224	-0.49165	970.0	4044	0.79219	-0.10167	24.43649	1.38804
26.8174	4.31861	0.63534	17.8682	0.3224	-0.49165	970.0	4044	0.79219	-0.10167	24.43649	1.38804
16.1430	2.59963	0.41491	13.8432	0.2464	-0.60832	103.2	2135	0.84186	-0.07478	12.90107	1.11062
16.3971	2.64055	0.42169	13.8432	0.2464	-0.60832	103.2	2135	0.84186	-0.07478	12.90107	1.11062
14.8540	2.39205	0.37877	13.8432	0.2464	-0.60832	103.2	2135	0.84186	-0.07478	12.90107	1.11062
10.5278	1.69537	0.22926	9.2686	0.1632	-0.78731	1160.8	1485	0.94693	-0.02368	8.97334	0.95295
9.1530	1.47398	0.16849	9.2686	0.1632	-0.78731	1160.8	1485	0.94693	-0.02368	8.97334	0.95295
11.2075	1.80483	0.25644	9.2686	0.1632	-0.78731	1160.8	1485	0.94693	-0.02368	8.97334	0.95295
22.5175	3.62616	0.55945	14.3768	0.2563	-0.59121	1054.2	2756	0.85997	-0.06552	16.65355	1.22151
21.2653	3.42451	0.53460	14.3768	0.2563	-0.59121	1054.2	2756	0.85997	-0.06552	16.65355	1.22151
21.4888	3.46050	0.53914	14.3768	0.2563	-0.59121	1054.2	2756	0.85997	-0.06552	16.65355	1.22151
42.4066	6.82905	0.83436	25.4487	0.4758	-0.32257	1002.7	4532	0.81796	-0.08740	27.38531	1.43752
41.5432	6.69002	0.82543	25.4487	0.4758	-0.32257	1002.7	4532	0.81796	-0.08740	27.38531	1.43752
37.1894	5.98889	0.77734	25.4487	0.4758	-0.32257	1002.7	4532	0.81796	-0.08740	27.38531	1.43752
31.0047	4.99297	0.69835	20.0160	0.3643	-0.43854	1065.6	4199	0.86927	-0.06080	25.37310	1.40437
30.9649	4.98651	0.69780	20.0160	0.3643	-0.43854	1065.6	4199	0.86927	-0.06080	25.37310	1.40437
33.6837	5.42434	0.73435	20.0160	0.3643	-0.43854	1065.6	4199	0.86927	-0.06080	25.37310	1.40437
28.3043	4.55806	0.65878	17.4000	0.3134	-0.50390	1166.0	3111	0.95117	-0.02170	18.79870	1.27413
28.3777	4.56988	0.65990	17.4000	0.3134	-0.50390	1166.0	3111	0.95117	-0.02170	18.79870	1.27413
28.3777	4.56988	0.65990	17.4000	0.3134	-0.50390	1166.0	3111	0.95117	-0.02170	18.79870	1.27413
12.2056	1.96556	0.29349	10.1852	0.1796	-0.74569	1216.0	1590	0.99196	-0.00350	9.60782	0.98262
15.7695	2.53948	0.40474	10.1852	0.1796	-0.74569	1216.0	1590	0.99196	-0.00350	9.60782	0.98262
14.6642	2.36149	0.37318	10.1852	0.1796	-0.74569	1216.0	1590	0.99196	-0.00350	9.60782	0.98262
22.6892	3.65381	0.56275	14.9080	0.2662	-0.57479	1193.5	2006	0.97361	-0.01162	12.12156	1.08356
19.1466	3.08332	0.48902	14.9080	0.2662	-0.57479	1193.5	2006	0.97361	-0.01162	12.12156	1.08356
23.6075	3.80169	0.57998	14.9080	0.2662	-0.57479	1193.5	2006	0.97361	-0.01162	12.12156	1.08356

Lampiran 9. Regresi Linier berganda dari Logaritma π_{10} , π_5 , π_{14} , π_{11}

Tanah Latosol Leuwikopo

π_{10}	π_5	π_{14}	π_{11}		
1.62925	-0.44295	-0.11781	1.42812	Regression Output:	
1.60169	-0.44295	-0.11781	1.42812	Constant	1.589295
1.62104	-0.44295	-0.11781	1.42812	Std Err of Y Est	0.027276
1.4846	-0.49165	-0.10167	1.38804	R Squared	0.964907
1.47939	-0.49165	-0.10167	1.38804	No. of Observations	15
1.52204	-0.49165	-0.10167	1.38804	Degrees of Freedom	11
1.30161	-0.60832	-0.07478	1.11062		
1.30839	-0.60832	-0.07478	1.11062	X Coefficient(s)	2.086504 4.437554 0.386436
1.26547	-0.60832	-0.07478	1.11062	Std Err of Coef.	0.657952 2.933321 0.222942
1.11596	-0.78731	-0.02368	0.95295		
1.05519	-0.78731	-0.02368	1.95295		
1.14313	-0.78731	-0.02368	1.95295		
1.44614	-0.59121	-0.06552	1.22151		
1.42129	-0.59121	-0.06552	1.22151		
1.42583	-0.59121	-0.06552	1.22151		

Tanah Latosol Cikabayan

π_{10}	π_5	π_{14}	π_{11}		
1.72105	-0.32257	-0.08740	1.43752	Regression Output:	
1.71212	-0.32257	-0.08740	1.43752	Constant	0.861411
1.66404	-0.32257	-0.08740	1.43752	Std Err of Y Est	0.035797
1.58505	-0.43854	-0.06108	1.40437	R Squared	0.962767
1.58449	-0.43854	-0.06108	1.40437	No. of Observations	15
1.62104	-0.43854	-0.06108	1.40437	Degrees of Freedom	11
1.54547	-0.5039	-0.02175	1.27413		
1.5466	-0.5039	-0.02175	1.27413	X Coefficient(s)	1.015530 1.114767 0.260085
1.5466	-0.5039	-0.02175	1.27413	Std Err of Coef.	0.230222 0.757770 0.184580
1.18018	-0.74569	-0.00352	0.98262		
1.29144	-0.74569	-0.00352	0.98262		
1.25988	-0.74569	-0.00352	0.98262		
1.44944	-0.57479	-0.01162	1.08356		
1.37571	-0.57479	-0.01162	1.08356		
1.46667	-0.57479	-0.01162	1.08356		

Lampiran 10. Grafik Hubungan Titik Pengambilan dengan keluaran Voltase Pembajakan

