

PENERAPAN SISTEM KONTROL DENGAN PEGAS PADA PENGGANDENGAN ALAT PENGOLAH TANAH

Bagian I : Kestabilan Sistem

(APPLICATION OF SPRING CONTROL MOUNTING SYSTEM ON PLOW)

Part I : Stability of System

Bambang Purwantana¹⁾

ABSTRACT

For hand tractor, it is desirable to mount an implement to give good tractive stability and constant large draft of tractor. For this purpose the application of the most simple feed-back system combined a measuring and controlling system on the tractor-plow hitching method was studied.

The plow was designed swingable around a pin. A spring was put between the hitching system such that correspond to the change of draft, the pitch of the plow was automatically controlled. The stability of the system was observed based on the hunting occur in the system. Hurwit - Routh stability conditions was used as a reference.

The experiment were conducted in both laboratory and field. The results proved that using the spring control mounting system the maximum depth was deeper than the ordinary mounting, and the plow went faster to its tillage depth. The system could response the low frequency variation caused by the variation of soil condition, soil hardness or the variation of tillage depth by phase angle lags about 90°. In an actual application the phase lag may be overcome with the large mass of soil and velocity of tractor. If resonance frequency ω_0 is made smaller, the gain becomes slightly larger and at resonance point the hunting becomes larger. In order to avoid the hunting, the resonance frequency of system ω_0 should be larger than the frequency of soil resistance.

Key words : spring control, mounting, stability

PENDAHULUAN

Peningkatan efisiensi pemanfaatan tenaga mekanis dari traktor untuk sumber daya penarik alat pengolahan tanah merupakan permasalahan yang perlu dipecahkan. Beberapa

penelitian telah mencoba mengkaji permasalahan ini dengan pendekatan pengembangan rancangbangun alat pengolah tanah dan rancangbangun sumberdaya penarik, khususnya dalam hal maksimalisasi kemampuan traksi dari traktor (Clark dan Linde, 1986; Self dan Summer, 1987; Zhang dan Chancellor, 1989). Adapun penelitian yang mencoba mengatasi permasalahan peningkatan efisiensi ini dengan pengembangan mekanisme penggandengan alat pada traktor masih sangat terbatas.

Disamping permasalahan peningkatan efisiensi tenaga, peningkatan stabilitas gaya tarik (*tractive stability*) traktor juga merupakan hal yang perlu mendapat perhatian. Dalam penelitiannya Purwantana (1997) telah mencoba mengembangkan suatu metode kontrol sederhana untuk mengendalikan kestabilan gaya tarik *rota-wheel tiller* dengan metode pengendalian tahanan tanah. Metode ini dikembangkan dengan cara membangkitkan mekanisme umpan balik (Kuo, 1995; Lewis, Paul dan Chang Yang, 1997), dari gaya-gaya yang bekerja pada suatu *resistance implement*, sedemikian sehingga secara otomatis gaya-gaya yang bekerja pada implemen terkendalikan. Disamping mampu meningkatkan stabilitas gaya penarikan, metode ini telah secara nyata menunjukkan peningkatan keseragaman kedalaman *tiller*, kecepatan kerja yang lebih konstan, dan yang sangat penting adalah mampu mengurangi kelelahan operator karena berkurangnya frekuensi pengendalian traktor pada saat beroperasi.

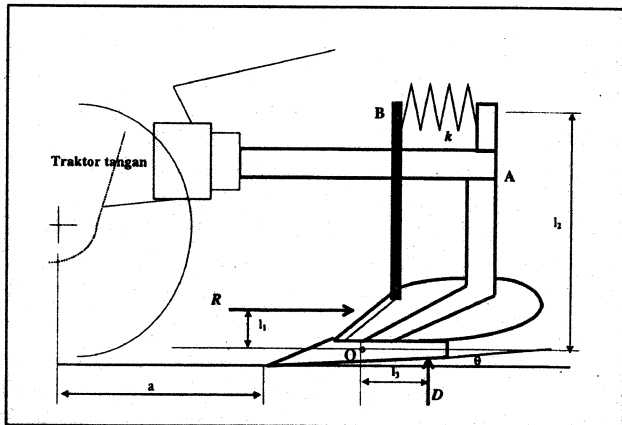
Secara teoritis metode umpan balik juga dapat diterapkan pada sistem traktor-bajak dengan beberapa modifikasi. Sejalan dengan tujuan peningkatan efisiensi, kestabilan gaya tarik traktor dan keseragaman kedalaman pengolahan tanah, maka sistem ini perlu dicoba dan dikaji penerapannya khususnya pada penggandengan alat pengolah tanah dengan traktor tangan.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari penerapan sistem kontrol otomatis sederhana dengan pegas sebagai komponen kontrol pada penggandengan bajak dengan traktor.

¹⁾ Staf Pengajar Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada

Kinerja sistem kontrol dikaji berdasarkan respon dan stabilitas sistem. Dengan menggunakan kriteria kestabilan Hurwitz-Routh, kestabilan sistem diamati berdasarkan *hunting* yang terjadi pada sistem.

PENDEKATAN TEORI



Gambar 1. Skema Rancangan Sistem Kontrol Pada Penggandengan Bajak

Gambar 1 menunjukkan komponen-komponen utama metode penggandengan bajak pada traktor tangan dan mekanisme kontrol yang dirancang. Bagian *landside* bajak digandengkan pada suatu poros pin O dari rangka AO yang dihubungkan secara tetap ke traktor. Bajak dapat secara bebas berputar pada pin O. Lengan bajak BO dihubungkan secara tetap pada badan bajak dengan ujung B bebas. Bagian ujung lengan bajak dipasang suatu pegas. Pegas pada penggandeng tersebut adalah *pre-compressed* sehingga pada saat awal pembajakan sudut mata bajak (*pitch*) adalah besar. Dengan bertambahnya kedalaman pembajakan, gaya tahanan dari bajak semakin besar dan menekan pegas, mengangkat ujung mata bajak naik, membuat sudut bajak θ mengecil, menuju kondisi setimbang. Selanjutnya sistem kontrol akan bekerja berdasarkan besar dan posisi dari gaya tahanan tanah R . Apabila R semakin besar, maka momennya terhadap O menjadi lebih besar dan menyebabkan pemendekan pegas. Bajak akan bergerak naik memperdangkal kedalaman pengolahannya. Sebaliknya, apabila R semakin kecil, maka pegas akan bertambah panjang dan sudut bajak bertambah besar, bajak bergerak turun memperbesar kedalaman pengolahannya.

Dari Gambar 1, diperhitungkan bahwa bajak dalam keadaan setimbang (*equilibrium*) sedemikian sehingga momen-momen yang terjadi terhadap O yang ditimbulkan oleh gaya tahanan R dan gaya pegas k dalam kondisi setimbang. Gaya tahanan R bervariasi besar, arah dan titik kerjanya. Pada analisa ini diasumsikan bahwa untuk kesederhanaannya maka dianggap bahwa hanya besar tahanan saja yang berubah, sedangkan arah dan titik kerja berubah tidak terlalu besar. Apabila tahanan R berubah nilainya dengan R_1 maka dari kesetimbangan nilai R , perubahan momen $R_1 l_1$ akan

menyebabkan perubahan sudut bajak, dan persamaan geraknya dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$I \frac{d^2 \theta}{dt^2} + D l_3^2 \frac{d \theta}{dt} + k l_2^2 \theta = R_1 l_1 \dots\dots\dots (1)$$

- dengan I : Momen inerti bajak dan rangka bajak terhadap O (N.cm.det²)
- k : Konstanta pegas (N/cm)
- D : Gaya *damping* tanah (N/cm².cm/det)
- l_1, l_2, l_3 : masing-masing jarak lengan momen oleh $R, k,$ dan D terhadap O (cm)
- R_1 : Deviasi dari R (N)
- t : Waktu (det)
- θ : Sudut penetrasi mata bajak (°)

Apabila sudut bajak (θ) berubah, maka kedalaman pembajakan x , juga berubah. Kecepatan perubahan kedalaman pembajakan (dx/dt) proporsional terhadap sudut bajak θ ; dan apabila kecepatan kerja pembajakan adalah konstan maka,

$$\theta = b \frac{dx}{dt} \dots\dots\dots (2)$$

dengan, b = Perubahan kedalaman oleh perubahan sudut bajak (rad/cm/det)

Tahanan R berubah nilainya dengan berubahnya kedalaman pembajakan x . Dengan mengasumsikan bahwa tahanan tanah R adalah proporsional dengan perubahan kedalaman x (Kawamura, 1956), maka diperoleh

$$R_o = K . x \dots\dots\dots (3)$$

dengan, R_o = Perubahan tahanan tanah akibat perubahan kedalaman (N)

K = Laju variasi perubahan tahanan R per unit kedalaman (N/cm)

x = Kedalaman pembajakan (cm)

Dari persamaan (1), (2) dan (3) maka diperoleh :

$$\frac{\left(I \frac{dR_o^3}{dt^3} + D l_3^2 \frac{dR_o^2}{dt^2} + k l_2^2 \frac{dR_o}{dt} \right) b}{K l_1} = R_1 \dots\dots\dots (4)$$

Dengan perubahan R_1 (input), bajak secara otomatis mengganti R_1 dengan negatif dari R_o (output), sedemikian sehingga ($R_1 - R_o$) merupakan suatu *loop* atau suatu sistem yang tertutup (Ogata, 1994). Dengan demikian diperoleh persamaan kontrol sebagai berikut :

$$\frac{\left(I \frac{dR^3}{dt^3} + D l_3^2 \frac{dR^2}{dt^2} + k l_2^2 \frac{dR}{dt} \right) b}{K l_1} = R_1 \dots\dots\dots (5)$$

Untuk kestabilan suatu sistem kontrol, maka kondisi kestabilan Hurwit-Routh, yakni derivasi derajat ke-tiga dari persamaan differensial (5) harus dipenuhi (Kuo, 1995). Kondisi ini adalah apabila konstanta-konstanta pada persamaan (5) adalah positif serta

$$\left(\frac{b}{Kl_1}\right)^2 D l_3^2 k l_2^2 - I \frac{b}{Kl_1} > 0 \text{ atau}$$

$$\frac{\mu \omega_o^2}{\xi} > 1 \dots\dots\dots (6)$$

dengan

$$\omega_o^2 = \frac{k l_2^2}{I}, \quad \xi = \frac{K l_1}{I b}, \quad \mu = \frac{D l_3^2}{I} \dots\dots\dots (7)$$

Disamping kestabilan pada sistemnya sendiri, respon atau tanggapan dari sistem juga berpengaruh terhadap kinerja pengontrolan. Permasalahan utama dalam pengontrolan gaya pembajakan ini adalah respon sistem terhadap variasi tahanan tanah. Tahanan bajak bervariasi secara tidak beraturan; namun demikian dalam analisa ini diasumsikan sebagai bervariasi siklis (*cyclic variation*). Variasi dari tahanan bajak (input) ditunjukkan sebagai variasi harmonik sederhana sebagai berikut :

$$R_t = \bar{R}_t e^{j\omega t} \dots\dots\dots (8)$$

dengan : $d/dt = j\omega$ $j^2 = -1$ $\bar{R}_t =$ amplitudo.

Variasi dari kontrol otomatis tahanan bajak dirumuskan sebagai :

$$R = \bar{R}_a e^{j\omega t} \dots\dots\dots (9)$$

dengan, \bar{R}_a adalah amplitudo dan angka kompleks atas perbedaan R dan R_t .

Dengan memasukkan persamaan (8) dan (9) ke persamaan (5), diperoleh :

$$\frac{\bar{R}_a}{\bar{R}_t} = \frac{K l_1}{b j \omega (-I \omega^2 + j D l_3^2 \omega + k l_2^2) + K l_1} \dots\dots\dots (10)$$

Dengan memisahkan bagian riil dan bagian imajiner dari persamaan diatas, perbandingan amplitudo r , dan perbedaan fase antara input dan output ζ dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$r = \frac{\xi}{\sqrt{\omega^2 (\omega^2 - \omega_o^2)^2 + (\xi - \mu \omega^2)^2}}$$

dan

$$\zeta = \tan^{-1} \frac{\omega^2 - \omega_o^2}{b(\xi - \mu \omega^2)} \dots\dots\dots (11)$$

METODE PENELITIAN

Penentuan Momen Inersia Bajak, I

Bajak beserta rangka dan pegas kontrol ditimbang dan ditentukan pusat beratnya. Rangkaian bajak digantung pada bagian penggandengnya, diayunkan sebagai pendulum dan diukur periode ayunannya. Besarnya momen inersia bajak dihitung dengan :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{Wl}}, \text{ dengan } T = \text{periode, } W = \text{berat bajak (N)}$$

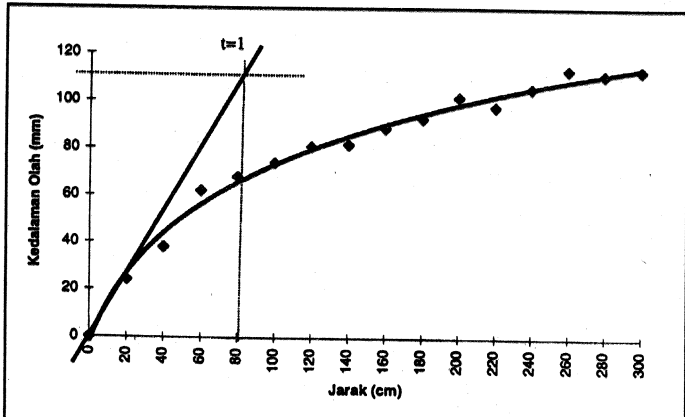
dan $l =$ jarak ke titik berat (cm).

Dari hasil pengukuran diperoleh berat bajak, penggandeng dan pegas adalah 235 N. Periode ayunan = 1,72 det. Berdasarkan nilai-nilai tersebut, momen inersia rangkaian bajak terhadap titik penggandengan adalah $I = 316,9 \text{ N.cm.det}^2$.

Pengukuran Konstanta Perubahan Kedalaman Oleh Perubahan Sudut Bajak, b

Pegas kontrol digantikan dengan batang tetap. Sudut bajak disetel tetap pada kedudukan 6° dan rangkaian bajak digandengkan dan ditarik dengan traktor. Diukur kedalaman pembajakan dari awal sampai kedalaman mencapai stabil. Hasil pengukuran diplotkan pada gambar dan dibuat kurva karakteristik kedalaman terhadap jarak lintasan.

Gambar 2 menunjukkan kurva perubahan kedalaman pengolahan tanah dengan sudut bajak $\theta_1 = 6^\circ$, pada traktor dengan diameter roda 64 cm, dan jarak mata bajak dari poros roda traktor = 75 cm.



Gambar 2. Kurva Perubahan Kedalaman Pembajakan

Dari Gambar 2 diketahui bahwa perubahan kedalaman pembajakan semakin kecil untuk setiap penambahan kedalaman yang diakibatkan oleh perubahan pengecilan sudut mata bajak θ . Kedalaman pembajakan x ,

mendekati proporsional terhadap sudut bajak θ , sehingga :

$$x \cong (\theta_1 - \theta)a \quad \text{atau}$$

$$\theta = \theta_1 - \frac{x}{a} \quad \dots\dots\dots (12)$$

dengan a = jarak antara mata bajak dengan poros roda (cm).
 Dengan menggunakan persamaan (2) diperoleh :

$$b \frac{dx}{dt} = \theta_1 - \frac{x}{a} \quad \text{atau}$$

$$\frac{dx}{a\theta_1 - x} = \frac{dt}{a \cdot b} \quad \dots\dots\dots (13)$$

Integrasi persamaan (13) dengan memberikan kondisi awal $t = 0 : x = 0$, diperoleh :

$$\chi = a\theta_1 \left(1 - e^{-\frac{t}{ab}} \right) \dots\dots\dots (14)$$

Persamaan diatas menunjukkan bahwa hubungan antara kedalaman dan waktu merupakan fungsi eksponensial, sesuai dengan kesimpulan yang ditunjukkan Gambar 2. Dengan memberikan nilai $x = 0$ pada persamaan (14), nilai b dapat ditetapkan sebagai berikut :

$$b = \frac{\theta_1}{\left(\frac{dx}{dt} \right)_{x=0}} \dots\dots\dots (15)$$

Nilai dari x pada perpotongan garis tangen yang ditarik pada $x = 0$ ke kurva kedalaman dan garis pada $t = 1$ detik, memberikan perkiraan nilai dari $(dx/dt)_{x=0}$.

Berdasarkan Gambar 2, $(dx/dt)_{x=0} = 10,3$ cm/det, dan $\theta_1 = 6^\circ = 0,105$ rad; sehingga berdasarkan persamaan (15), diperoleh $b = 0,01$ rad/cm/det.

Pengukuran Gaya Damping Tanah (Laju Perubahan Tahanan Tanah Per Unit Kecepatan Per Unit Luas), D

Dengan menggunakan penetrometer tanah, ditentukan nilai tahanan tanah dengan kecepatan penetrasi yang bervariasi. Digambarkan grafik hubungan antara tahanan tanah dengan kecepatan penetrasi. Ditentukan laju perubahan tahanan tanah per unit kecepatan dan berdasarkan luas ujung mata penetrometer, dihitung besarnya nilai D .

Tabel 1 menunjukkan bahwa pada kecepatan sampai dengan 0,8 cm/det, tahanan tanah naik proporsional terhadap kecepatan. Berdasarkan kesimpulan ini, maka *damping* tanah yang diasumsikan melekat (*viscous*) pada persamaan (1) kiranya dapat diterima.

Tabel 1. Tahanan Tanah Terhadap Kecepatan Penetrasi

| Kecepatan Penetrasi (cm/det) | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,6 |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Tahanan Tanah, (N) | 17 | 55 | 74 | 83 | 86 | 81 | 85 | 90 | 88 | 92 | 89 | 87 | 86 |

Kecepatan perubahan tahanan tanah per unit kecepatan adalah sekitar 8 N, untuk diameter mata penetrometer 1 cm, sedemikian sehingga nilai laju perubahan tahanan tanah per unit kecepatan dan unit luas, $D = 10,2$ N/cm².cm/det.

Penentuan Pegas (Konstanta k , Dan Frekuensi Natural ω_0)

Berdasarkan sifat mekanis tanah, ditera nilai laju tambahan tahanan tanah per-cm kedalaman, K . Diukur panjang l_2, l_3 , dan dibuat perkiraan panjang l_1 serta besarnya k . Dengan nilai-nilai tersebut, dihitung besarnya ω_0^2, μ dan ξ , serta besarnya batas konstanta pegas yang masih memenuhi kriteria kestabilan sistem kontrol berdasarkan persamaan (6).

Berdasarkan hasil pengukuran tahanan pembajakan, laju peningkatan tahanan pembajakan terhadap kedalaman adalah antara 100 N sampai 200 N per cm pada kedalaman diatas 10 cm. Dari nilai ini kemudian diasumsikan nilai laju perubahan tahanan per unit kedalaman $K = 150$ N/cm. Selanjutnya dari konstruksi rangkaian gandengan bajak diperoleh konstanta-konstanta : $l_2 = 45$ cm, $l_3 = 15$ cm dan $l_1 = 10$ cm, dan $k = 200$ N/cm. Dengan nilai-nilai diatas dan dengan menggunakan persamaan (7) diperoleh :

$$\omega_0^2 = 1278,01 \quad \mu = 7,24 \quad \xi = 473,34$$

Atas dasar nilai-nilai ini maka syarat-syarat kestabilan kontrol sebagaimana ditentukan melalui persamaan (6) telah terpenuhi. Konstanta pegas kritis, yaitu batas konstanta pegas yang menyebabkan ketidakstabilan sistem adalah $k = 10,23$ N/cm.

Tiga buah pegas dengan nilai konstanta k yang berbeda (dengan mempertimbangkan efek perubahan sudut bajak) dipilih untuk diketahui kinerjanya dalam mengendalikan proses pembajakan. Spesifikasi dari tiga pegas yang dipilih tersebut disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Pegas Yang Dipilih Digunakan Untuk Percobaan

| Nomor Pegas | Diameter Koil (mm) | Diameter Kawat (mm) | Pitch (mm) | Panjang (mm) | Konstanta, k (N/cm) | Frekuensi Natural, ω_0 (rad/det) |
|-------------|--------------------|---------------------|------------|--------------|-----------------------|-----------------------------------------|
| 1 | 38 | 4 | 15 | 220 | 62 | 19,9 |
| 2 | 36 | 5,5 | 12 | 225 | 147 | 30,6 |
| 3 | 38 | 7 | 16 | 225 | 328 | 45,8 |

Pengamatan Respon Frekuensi Sistem

Berdasarkan konstanta-konstanta dan besaran yang

telah diperoleh, dihitung besarnya *gain* dan sudut fase dengan persamaan (11). Hasil perhitungan digambarkan dalam bentuk grafik logaritmis. Dari karakteristik kurva yang diperoleh, dibahas karakteristik kontrol yang dihasilkan oleh sistem.

Percobaan Lapang

Percobaan lapang dilakukan untuk dua kondisi proses pembajakan yaitu (1) kondisi ketika traktor tidak bisa lagi memberikan traksi (*slip*), dan (2) kondisi ketika pembajakan berjalan konstan. Pada kondisi pertama, percobaan dilakukan dengan memperbesar sudut bajak sedikit demi sedikit dan dijalankan untuk proses pembajakan. Penambahan bajak dilakukan sampai traktor tidak bisa berjalan maju (*slip*). Pada saat tersebut kedalaman maksimum pembajakan diukur. Percobaan dilakukan untuk setiap pegas dan dibandingkan dengan kedalaman maksimum yang dicapai pada sistem pengendalian biasa.

Pada kondisi kedua pengukuran dilakukan pada traktor yang berjalan konstan. Dengan sudut bajak terpilih (6°) traktor-bajak dijalankan secara bebas tanpa pengendalian operator. Gaya penarikan, kedalaman pembajakan, perubahan panjang pegas, jarak dan kecepatan maju traktor direkam. Diulangi untuk setiap pegas yang digunakan maupun untuk tanpa pegas.

Analisa Hasil

Analisa yang dilakukan terutama berupa analisa matematis dan analisa grafis. Analisa grafis digunakan untuk melihat hubungan dan interaksi antara gaya tarik traktor, kedalaman pengolahan tanah dan respon dari kontrol (pegas) yang ditunjukkan oleh perilaku perubahan panjang pegas. Kestabilan sistem dianalisa berdasarkan respon frekuensi sistem kontrol dengan mengamati *hunting* yang terjadi.

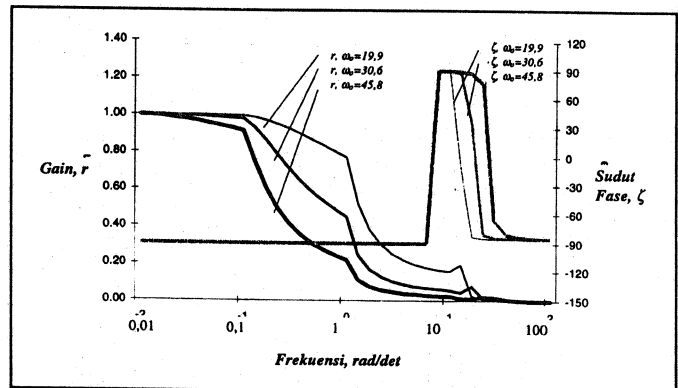
HASIL DAN PEMBAHASAN

Respon Frekuensi (*Frequency Responce*) dan Kestabilan Sistem Kontrol

Hasil perhitungan menggunakan persamaan (11) dengan nilai-nilai numeris diambil dari percobaan ditunjukkan dengan Diagram Bode pada Gambar 3. Frekuensi edar (*circular frequency*) dari variasi tahanan bajak ω merupakan absis dari diagram, sedang *gain* yaitu perbandingan amplitudo r dan perbedaan fase atau sudut fase ζ diletakkan sebagai ordinat. Diagram menunjukkan bahwa nilai *gain* besar dan sudut fase kecil terjadi pada frekuensi yang rendah. Pada saat $\omega = 0$, nilai *gain* adalah 1 dan sudut fase adalah 0.

Dari penelitian terdahulu dilaporkan bahwa variasi besarnya tahanan tanah adalah berkisar antara 6,3 rad/det atau lebih (Purwantana, 1997). Hal ini biasanya dianggap sebagai variasi tahanan tanah tetap (*steady*) yang kemungkinan disebabkan karena tidak kontinyunya proses pematangan dan pengemburan tanah pada pisau bajak. Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa variasi tahanan tanah tetap ini tidak terkontrol. Untuk frekuensi yang lebih besar nilai *gain* menjadi lebih

kecil; dan laju penurunan *gain* ini lebih kecil dengan semakin kecilnya frekuensi natural ω_0 . Pada frekuensi resonansi, *gain* menjadi besar mencapai puncaknya. Perbedaan fase dari $\omega_0 = 0,1$ rad/det sampai frekuensi resonansinya mempunyai masing-masing kelambatan sebesar 90° . Pada frekuensi resonansi, nilai perbedaan fase naik secara tiba-tiba sehingga mencapai 180° . Pada frekuensi ini, kontrol menjadi terbalik dan puncak *gain* terjadi sedemikian sehingga terjadi *hunting*. Untuk mencegah terjadinya *hunting*, dilakukan dengan membuat puncak *gain* pada frekuensi resonansi sekecil mungkin atau dengan membuat frekuensi resonansi dari sistem ω_0 lebih besar dari frekuensi tahanan tanah. Dalam percobaan ini frekuensi natural pegas yang disarankan adalah lebih besar 20 rad/det.



Gambar 3. Diagram Respon Frekuensi (Diagram Bode)

Hasil percobaan memperlihatkan bahwa meskipun respon frekuensi dari sistem yang diteliti adalah untuk respon pada getaran tetap, variasi tahanan bajak yang terjadi secara tidak beraturan mempunyai variasi frekuensi rendah sehingga *hunting* yang ditimbulkan oleh efek resonansi tidak terjadi secara berlebihan. Variasi frekuensi rendah ini berasal dari tahanan tanah dan juga oleh variasi kondisi tanah dan kekerasan tanah serta variasi kedalaman olah. Sistem kontrol dapat menerima variasi-variasi tersebut meskipun terdapat kelambatan sudut fase sebesar 90° . Kelambatan sudut fase ini tidak bisa dihilangkan dengan sistem umpan balik sederhana seperti yang dilakukan dalam penelitian ini. Meskipun demikian pada proses pembajakan yang sebenarnya di lapangan, keterlambatan sudut fase sebesar 90° atau setara dengan 20 cm laju kedepan bajak tersebut dapat diatasi dengan jumlah massa tanah yang besar serta kecepatan traktor.

Uji Fungsi Sistem

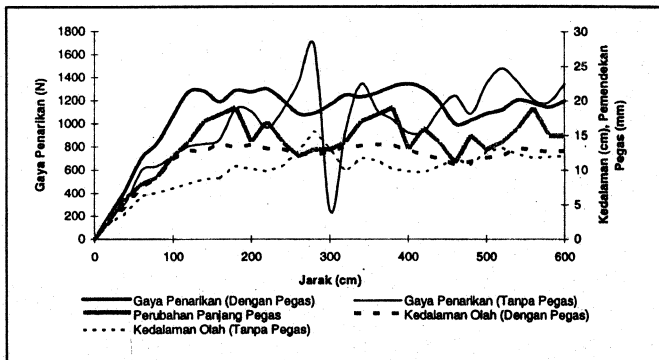
Percobaan lapang dilakukan untuk mengamati efek dari sistem kontrol pada kondisi pengolahan tanah aktual di lapangan. Percobaan lapang dilakukan pada lahan dengan jenis tanah geluh lempungan, kadar air 16% (top soil), 19% (dibawah kedalaman 10 cm) dan kekerasan tanah 120 - 280 N/cm².

Traktor dijalankan secara bebas tanpa sentuhan/pengendalian operator pada lengan kendali traktor. Perubahan panjang pegas sebagai akibat kerja gaya-gaya pada badan bajak diukur menggunakan bantuan potensiometer geser. Gaya

penarikan, diukur dengan bantuan sensor gaya *strain-gauge*. Pada saat yang sama kedalaman pembajakan pada setiap jarak 20 cm diukur dan dihubungkan dengan perubahan panjang pegas (termasuk perubahan sudut bajak) dan gaya yang bekerja.

Percobaan dilakukan dengan menyetel sudut bajak sebesar 6° untuk semua pegas yang digunakan maupun untuk tanpa pegas. Hasil pengukuran gaya penarikan, kedalaman pembajakan, perubahan panjang pegas pada jarak maju traktor digambarkan dalam bentuk grafik seperti disajikan pada Gambar 4.

Dari Gambar 4 secara umum dapat dilihat bahwa hampir keseluruhan gaya tahan tanah bekerja pada pegas dan perubahan panjang pegas tersebut berhubungan secara proporsional terhadap gaya penarikan. Kedalaman pembajakan pada bajak dengan penggandeng otomatis secara umum lebih dalam antara 0,5 - 2,5 cm dibandingkan pada penggandeng biasa. Disamping itu kecepatan penetrasi untuk mencapai kedalaman setimbang pada bajak dengan penggandeng terkontrol relatif lebih cepat dibanding pada penggandeng biasa.



Gambar 4. Kinerja Lapang Kontrol Pegas ($k = 328 \text{ N/cm}$) Pada Penggandengan Bajak Singkal

KESIMPULAN

1. Penerapan sistem kontrol otomatis dengan memanfaatkan fenomena umpan balik yang dikombinasikan dengan pengukuran dan pengendalian pada penggandeng alat pengolah tanah bajak singkal dapat dilakukan dengan

menggunakan pegas sebagai komponen kontrol.

2. Sistem kontrol otomatis dengan pegas, dapat merespon variasi frekuensi yang rendah dari tahanan tanah, kekerasan serta variasi kedalaman olah dengan keterlambatan fase sekitar 90° . Kelambatan fase ini tidak bisa dihilangkan dengan sistem umpan balik sederhana, namun dapat diatasi oleh proses pengolahan tanahnya sendiri yaitu oleh adanya massa tanah yang besar dan kecepatan maju traktor.
3. Pegas dengan konstanta kecil, memiliki *gain* besar dan pada titik resonansinya terjadi *hunting* yang besar. Kestabilan yang tinggi dengan *gain* yang rendah terjadi pada konstanta pegas yang besar.
4. Untuk kestabilan sistem disarankan untuk menggunakan pegas kontrol yang menghasilkan frekuensi natural lebih besar dari 20 rad/det.

DAFTAR PUSTAKA

- Clark, R.L. and G.F. Van de Linde, 1986. *A rapid automatic ballast system*. ASAE Paper No. 86-1550
- Kawamura, N., 1956. *Studies on the mounting methods of tillage implements on the tractor*. *Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery*, Japan, Vol. 18, No. 2.
- Kuo, B.C., 1995. *Automatic Control Systems*. 7th edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Lewis, Paul H., Chang Yang., 1997. *Basic Control Systems Engineering*. 1st edition. Prentice Hall International, Upper Saddle River, New Jersey.
- Ogata, K., 1994. *Teknik Kontrol Automatik*. Penerbit Erlangga, Cirusas Jakarta.
- Purwantana, B., 1997. *Studies on self propelling rota wheel tiller*. *Master Thesis. Graduate School of Science and Technology*, Kobe University, Japan.
- Self, K.P., and J.D. Summer., 1987. *Instrumentation for determining four-wheel drive tractor performance*. ASAE Paper No. 87-1029.
- Zhang, N. and W.J. Chancellor., 1989. *Automatic ballast position control for tractors*. *Transaction of the ASAE*, Vol. 32(4): 1159-1164.