

## SIMULASI PEMBAJAKAN TANAH LAPISAN KEDAP DENGAN PENGGETARAN BERENERGI RENDAH PADA BATANG BAJAK

Reza A. Satria, Tono Sukarnoto, Soeharsono  
Jurusan Teknik Mesin Universitas Trisakti  
Jl Kiai Tapa no 1, Jakarta, 11440  
tsukarnoto@trisakti.ac.id

### Abstrak

Penggetaran batang bajak dengan cara memberikan energi mekanis secara langsung ke batang bajak selama operasi membajak tanah telah banyak dilakukan. Metode ini terbukti mampu menurunkan gaya yang diperlukan untuk membajak tanah secara signifikan. Sayangnya, kebutuhan energinya meningkat bahkan berlebihan. Penggetaran berenergi rendah dengan transmisi getar melalui pegas elastis bentuk semieliptis telah dilakukan dan berhasil menurunkan gaya dan energi pembajakan. Sayangnya metode ini baru dilakukan dalam skala laboratorium dan belum diuji keandalannya dalam skala lapang. Dalam tulisan ini dibahas tentang simulasi bajak getar dengan penggetaran berenergi rendah pada pegas elastis. Tujuannya adalah agar didapat sistem getar yang efektif sehingga getaran ujung pisau bajak mampu menghancurkan tanah di depan ujung pisau bajak yang berakibat pada turunnya gaya dan energi yang diperlukan untuk membajak tanah lapisan kedap. Simulasi dilakukan dengan menggunakan piranti lunak CATIA V5 R17. Bajak getar dimodelkan sejauh mungkin sesuai dengan pengujian pembajakan pada skala lapang yang terdiri atas *implement* (penarik), *load cell*, pegas elastis, batang bajak dan penggetar. *Load cell* jenis *octagonal ring transducer* dipasang secara permanen pada *implement*. Pegas elastis dibuat dari bahan S55C dan *di-pre harden* sehingga mempunyai *yield strength* sekitar 550 MPa. Pegas elastis merupakan *new model* berbentuk semi lingkaran dengan ketebalan bervariasi dari 45-40 mm. Batang bajak dibuat lurus-miring dengan lebar 150 mm dan tebal 20 mm dan diharapkan mampu membajak tanah lapisan kedap sampai dengan kedalaman 0.35 m. Batang bajak tersebut dihubungkan dengan *load cell* melalui pegas elastis. Penggetar dipasang pada batang bajak berupa massa tak imbang yang diputar oleh motor listrik dan mampu menghasilkan gaya inersia sampai dengan 6000 N. Simulasi dilakukan dalam tiga kondisi yaitu kondisi tanpa getar, simulasi analisis modal dan simulasi respons frekuensi. Pada kondisi tanpa getar, beban 10 kN bekerja pada ujung pisau bajak dan tercatat tegangan Von Mises pada pegas sebesar 340 MPa, lebih rendah dari *yield strength* bahan pegas. Dalam simulasi analisis modal, tercatat bahwa bajak getar mempunyai potensi getar dalam arah mendatar-vertikal (pada frekuensi 13 Hz), potensi getar dalam arah vertikal (pada frekuensi 14.5 Hz) dan dalam arah transversal (pada frekuensi 55 Hz). Hasil ini sesuai dengan simulasi response frekuensi yaitu sistem bergetar hebat dalam arah mendatar, vertikal dan arah transversal berturut turut pada frekuensi pembebahan 13, 14.5 dan 55 Hz. Dengan demikian, sistem getar yang dipilih diharapkan mampu menurunkan gaya dan energi pembajakan.

**Keywords:** Penggetaran berenergi rendah, gaya pembajakan, energi pembajakan dan pegas elastis.

### Pendahuluan

Lapisan tanah padat dengan tahanan penetrasi di atas 2 MPa. atau densitas tanah di atas 1.8 g/cm<sup>3</sup> sulit ditembus oleh akar tanaman, menghambat penetrasi air dan nutrisi serta menghambat sirkulasi udara di dalam tanah. Hal ini akan menghambat pertumbuhan tanaman serta menurunkan produktivitas hasil tanaman (Soeharsono 2012, Soil Quality Institute 2003, Susan *et al.* 1994). Untuk membongkar lapisan kedap ini diperlukan gaya dan energi yang besar. Besarnya gaya pembajakan ini digunakan untuk mengatasi gesekan antara tanah dengan *tillage tool*, mengatasi gesekan antar tanah, mengatasi percepatan tanah bongkar di depan *tillage tool* serta karena adanya kelengketan antara tanah dengan *tillage tool* (Soeharsono 2012, Gill dan Van den Berg 1968, Uphadaya *et.al.* 2009).

Kondisi ini tidak menguntungkan sehingga gaya dan konsumsi energi tersebut harus diturunkan. Penggetaran paksa dengan cara memberikan energi mekanis secara langsung ke batang bajak telah terbukti menurunkan gaya pembajakan secara signifikan. Sayangnya, metode ini memerlukan energi secara berlebihan (Soeharsono 2012, Bandalan *et al.* 1999, Butson *et al.* 1981, Niyamapa *et al.* 2000) Penurunan gaya ini terjadi bilamana rasio kecepatannya (perbandingan antara kecepatan getar maksimum dari batang bajak dengan kecepatan maju traktor) lebih besar dari satu. Hal ini diupayakan dengan cara membuat kombinasi antara amplitudo dan frekuensi getar dari batang bajak.

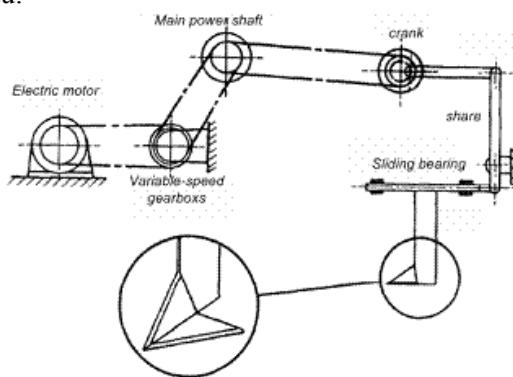
Parameter utama yang berpengaruh terhadap turunnya gaya pembajakan pada fenomena ini adalah (Soeharsono 2012):

- Tumbukan antara pisau bajak dengan tanah pada kecepatan tinggi mengakibatkan terjadi retakan dan kehancuran tanah padat di depan pisau bajak..
- Penggetaran dengan frekuensi getar tinggi pada amplitudo getar rendah mengakibatkan hancurnya tanah di depan pisau bajak sehingga gesekan antara pisau bajak dengan tanah menurun, turunnya kelengketan antara tanah dengan pisau bajak serta turunnya kohesi di dalam tanah. Fenomena ini mengakibatkan turunnya tahanan tanah.

Adapun parameter yang menyebabkan terjadinya kenaikan penggunaan energi pada fenomena ini adalah:

- Tingginya energi yang diperlukan untuk menggerakkan inersia dari batang bajak beserta mekanismenya.
- Perlu tambahan energi guna mengatasi gaya vertikal yang diberikan oleh pisau bajak ke pada tanah.

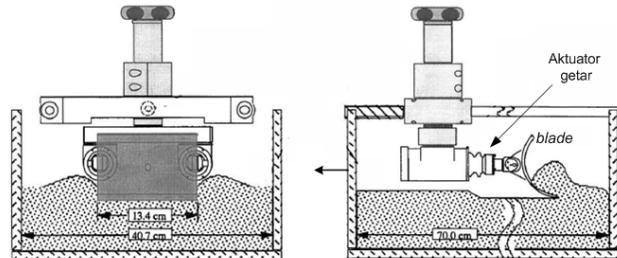
Butson *et al.* (1981) membuat penelitian bajak getar dengan memberikan energi mekanis ke batang bajak. Penelitian dilakukan di dalam *soil tank* (panjang: 27.6 m, lebar: 1.8 m dan dalam 0.6 m) dan dengan menggunakan *clay soil* sebagai sample tanah. (Gambar 1). Kecepatan membajak divariasikan dari 0.15-0.55 m/s. Frekuensi getar divariasikan dari 7-51 Hz sedangkan amplitudo getar divariasikan dari 1.7-8 mm. Dalam studi analitisnya, Butson *et al.* (1981) memhubungkan turunnya gaya dengan membuat prediksi grafik gaya pembajakan sebagai fungsi dari waktu.



Gambar 1. Peralatan penelitian dari Butson *et al.* (1981).

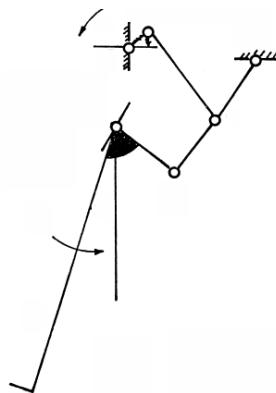
Szabo *et al.* (1998) melaporkan turunnya gaya pembajakan pada *vibrating bulldozer* dan *plow blade*. Penggetaran dilakukan dengan cara memberikan energi mekanis ke *plow blade* (Gambar 2). *Blade* diosilasikan pada frekuensi 10-70 Hz dengan amplitudo getar 1 dan 2.5 mm. Rasio kecepatan dibuat tinggi di atas 17. Tercatat penurunan gaya pembajakan sekitar 70-85% pada frekuensi getar antara 20-70 Hz. Hal ini karena penggetaran dengan frekuensi di atas mengakibatkan kohesi di dalam

tanah serta adhesi antara tanah dengan *blade* menurun drastis.



Gambar 2. Peralatan eksperimen yang digunakan oleh Szabo *et al.* (1998).

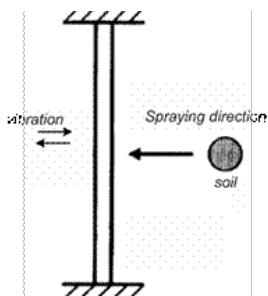
Niyamapa *et al.* (2000) melaporkan hasil eksperimen penurunan gaya pembajakan pada bajak getar (Gambar 3). Penggetaran dilakukan dengan memberikan energi mekanis ke *tillage tool*. Kecepatan osilasi maksimum *tillage tool* dibuat 2.5 m/s. Pada kecepatan maju traktor 0.34 dan 0.85 m/s, terjadi penurunan gaya pembajakan masing-masing sebesar 37 dan 7% sedangkan pemakaian energinya naik masing-masing sebesar 45 dan 41%. Penyebab turunnya gaya pembajakan adalah turunnya *effective stress* tanah sebagai akibat ditambahkannya kecepatan pembebahan yang sangat tinggi sedangkan penyebab kenaikan kebutuhan energi adalah tingginya pemakaian energi yang digunakan untuk menggerakkan inersia dari bajak getar.



Gambar 3. Diagram kinematis peralatan yang digunakan oleh Niyamapa *et al.* (2000).

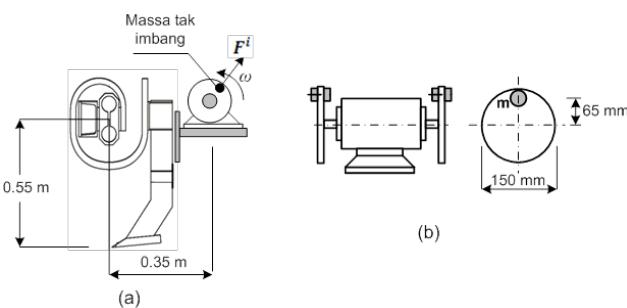
Wang *et al.* (1998) membuat penelitian guna menurunkan adhesi antara tanah dengan pelat logam (Gambar 4). Tanah jenis *silt loam* disemprotkan dengan kecepatan 5-7 m/s ke pelat logam yang digetarkan. Pada frekuensi getar pelat sampai dengan 40 Hz, tanah yang melekat pada pelat banyaknya sekitar 80-90 %, pada frekuensi getar pelat 50 Hz, tanah yang lengket pada pelat banyaknya sekitar 25-85 %, sedangkan pada frekuensi getar pelat antara 60-100 Hz tidak terjadi pelengketan tanah pada pelat logam sama sekali. Yang unik adalah pada frekuensi getar di atas 100 Hz, tanah yang lengket pada pelat semakin banyak. Wang *et al.* (1998) juga

menyimpulkan bahwa kelengketan tanah pada pelat banyaknya berbanding terbalik dengan percepatan getar di setiap titik pada pelat.



**Gambar 4.** Skema eksperimental dari Wang *et al.* (1998).

Soeharsono (2012) melakukan penelitian bajak getar dengan penggetaran berenergi rendah pada pegas elastis dengan skema penelitian ditunjukkan pada Gambar 5. Pengujian dilakukan di dalam *soil bin* berukuran panjang 1.2 m, lebar 0.3 m dan dalam 0.4 m. Eksperimen menggunakan tanah liat dan dikondisikan sehingga mendekati kondisi lapang di mana lapisan kedap dibuat setebal 15 cm dengan tahanan penetrasi sekitar 2.75 MPa. Kedalaman operasi diatur sekitar 17 cm sedangkan tebal lapisan kedap yang dibongkar sekitar 10 cm. Digunakan *tillage tool* jenis *chisel* dengan kemiringan *shank* sebesar  $35^\circ$  dan sudut potong sebesar  $30^\circ$ . *Chisel* dihubungkan dengan *fixed structure* oleh sebuah pegas elastis berbentuk semi- eliptis. Pada batang bajak dipasang sebuah motor listrik dengan bobot 9.7 kg. Sebagai penggetar digunakan massa takimbang yang diputar dan mempunyai bobot 0.24-0.35kg serta dipasang pada motor listrik pada radius 6.5 cm. Kecepatan membajak divariasikan yaitu dari kecepatan 0.158, 0.212 dan 0.265 m/s. Hasil-hasil eksperimen menunjukkan bahwa metode penggetaran ini berhasil menurunkan gaya pembajakan dibandingkan dengan eksperimen tanpa penggetaran sebesar 7.3-38.3 % dan penurunan daya sebesar 4.8-14.4%.



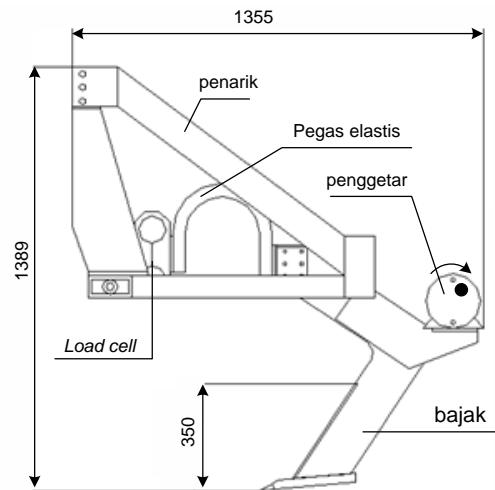
**Gambar 5.** Skema penelitian dari Soeharsono. (2012).

Dalam penelitian ini akan dilakukan simulasi bajak getar dalam skala lapang dengan penggetaran berenergi rendah pada pegas elastis. Tujuannya

adalah agar didapat sistem getar yang efektif sehingga getaran ujung pisau bajak mampu menghancurkan tanah di depan ujung pisau bajak yang berakibat pada turunnya gaya dan energi yang diperlukan untuk membajak tanah lapisan kedap.

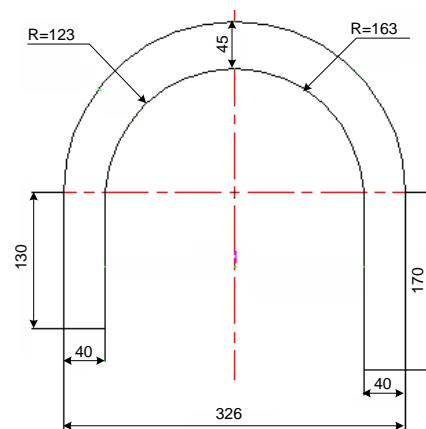
## Bahan dan Metode

Simulasi bajak getar dilakukan di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Trisakti selama bulan Maret-Juli 2012. Model dari bajak getar yang disimulasikan ditunjukkan pada Gambar 6 (Reza 2012).



**Gambar 6.** Model simulasi bajak getar(Reza 2012).

Komponen utama dari model bajak getar yang disimulasikan terdiri atas penarik, *load cell*, pegas elastis, penggetar dan batang bajak. Penarik merupakan struktur utama terbuat dari baja struktur dan dihubungkan dengan traktor empat roda.

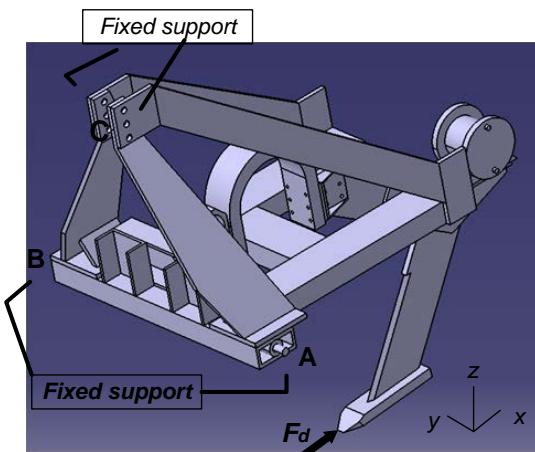


**Gambar 7.** Pegas semi lingkaran.

Digunakan *Load cell* jenis *extended octagonal ring transducer* karena kemampuannya dalam mengukur beban dalam tiga orientasi sekaligus yaitu mengukur gaya dalam arah x, y dan mengukur momen (Godwin, 1975). Pegas bentuk semi lingkaran dengan lebar 105 mm (Gambar 7) dibuat dari bahan S55C dan di-pre

harden sehingga mencapai kuat mulur sampai dengan 550 MPa. Agar pegas kuat dan tetap elastis, maka ketebalan pegas divariasikan dari 40-45 mm. Agar ujung pisau bajak tidak terdefleksi ke bawah (sebagai akibat gaya pembajakan), maka batang bajak dengan lebar 150 mm dan tebal 20 mm dibuat lurus miring sehingga gaya pembajakannya tidak menjadi semakin besar (Soeharsono *et al.* 2011). Secara keseluruhan, bajak getar dapat membajak lapisan kedap sampai dengan kedalaman 0.3 m.

Simulasi dilakukan dengan menggunakan piranti lunak CATIA V5 R17, yang meliputi simulasi membajak tanah tanpa penggetaran, simulasi analisis modal dan simulasi respons frekuensi.



**Gambar 8.** Pemodelan gaya dan *constraint* (Reza 2012)

Dalam ketiga simulasi, *constraint* nya dibuat *fixed support* di tiga titik gandengnya yaitu di titik A, B dan titik C.

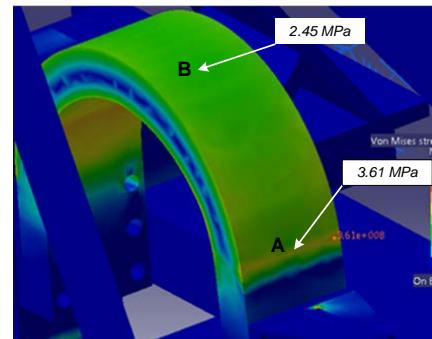
Dalam kondisi tanpa penggetaran, gaya pembajakan  $F_d$  sebesar 10 k N bekerja di ujung pisau bajak. Selanjutnya diamati tegangan yang terjadi pada pegas (untuk mengetahui apakah pegas cukup kuat menahan beban) serta simpangan yang terjadi pada ujung pisau bajak. Simpangan pada ujung pisau bajak untuk mengetahui seberapa besar ayunan ujung pisau bajak mampu menghancurkan tanah lapisan kedap. Dalam simulasi analisis modal, dicari frekuensi alami dari sistem getar serta bentuk modusnya. Dengan demikian dapat diprediksi potensi getar dari bajak getar yang akan dibangun.

Dalam simulasi respons frekuensi, beban gaya berupa fungsi harmonis yang diakibatkan oleh putaran massa tak imbang dari massa penggetar m. Massa tak imbang diputar dalam tiga orientasi yaitu memutari sumbu x ( $R_x$ ),  $R_y$  dan  $R_z$ . Gaya inersia maksimum dari massa tak imbang diasumsikan sebesar 10 kN. Selanjutnya diamati respons dari ujung pisau bajak. Diharapkan gaya inersia dari massa tak imbang yang ditransmisikan ke ujung pisau bajak menghasilkan tegangan geser yang lebih besar dari batas kekuatan geser tanah (Soeharsono 2012 dan Rao *et al.* 2005).

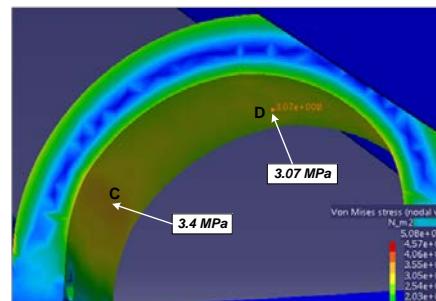
Kondisi ini merupakan syarat agar terjadi kerusakan tanah padat di depan ujung pisau bajak sehingga gaya dan energi pembajakannya menjadi turun.

## Hasil dan Pembahasan

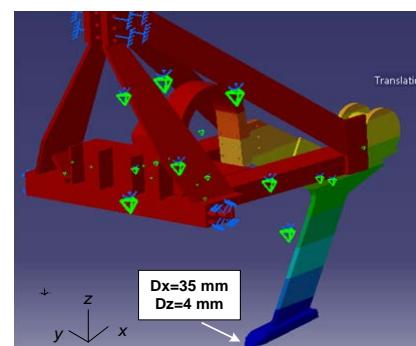
### a. Simulasi tanpa penggetaran



(a)



(b)



(c)

**Gambar 9.** Hasil simulasi tanpa penggetaran  
a. Tegangan Von Mises bagian luar pegas  
b. Tegangan Von Mises bagian luar pegas  
c. Defleksi arah x dan z di ujung pisau bajak.

Hasil simulasi tanpa penggetaran berupa tegangan Von Mises serta defleksi di ujung pisau bajak ditunjukkan pada Gambar 9.

Untuk bagian luar pegas, tegangan Von Mises tertinggi terjadi di daerah B sebesar 3.61 MPa sedangkan pada bagian dalam pegas, tegangan Von Mises tertinggi terjadi di daerah C yaitu sebesar 3.4 MPa. Tegangan ini lebih rendah dibandingkan dengan *yield strength* bahan (550 MPa). Untuk daerah

lainnya, tegangan yang terjadi bisa diabaikan dibandingkan dengan kekuatan bahan.

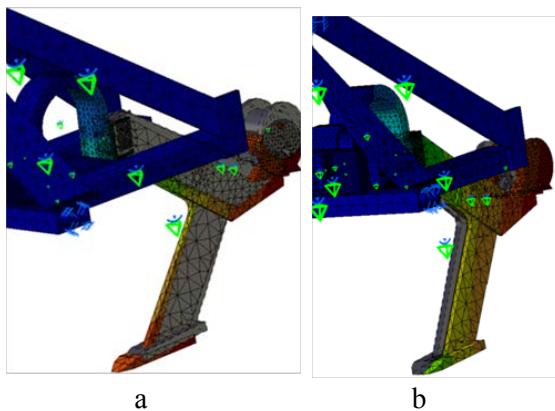
Ujung pisau bajak terdefleksi ke atas sebesar 4 mm dan terdefleksi ke belakang sejauh 35 mm. Terdefleksi ke atas ini merupakan persyaratan agar gaya pembajakannya tidak naik secara berlebihan jika dibandingkan dengan gaya pembajakan saat membajak tanah tanpa pegas elastis (Soeharsono *et al.* 2011). Dengan terdefleksinya ujung pisau bajak ke belakang sejauh 35 mm, diharapkan pegas elastis mampu menyimpan cukup energi potensial sehingga ayunan balik dari ujung pisau bajak mampu menghancurkan lapisan tanah padat. Kondisi ini diperlukan untuk menurunkan gaya dan energi pembajakan (Soeharsono *et al.* 2011).

### b. Simulasi analisis modal

Tabel 1. Modus getar hasil simulasi

Mode	freq. (Hz)	Tx (%)	Ty (%)	Tz (%)	Rx (%)	Ry (%)	Rz (%)
1	13.2	7.3	0.0	15.3	14.7	9.4	6.9
2	14.6	0.0	26	0.00	1.6	0.0	0.0
3	54.9	0.0	0.3	0.00	0.2	0.0	0.1

Hasil simulasi modus ke 1-3 ditunjukkan pada Tabel 1. Sedangkan bentuk modusnya ditunjukkan pada Gambar 10.

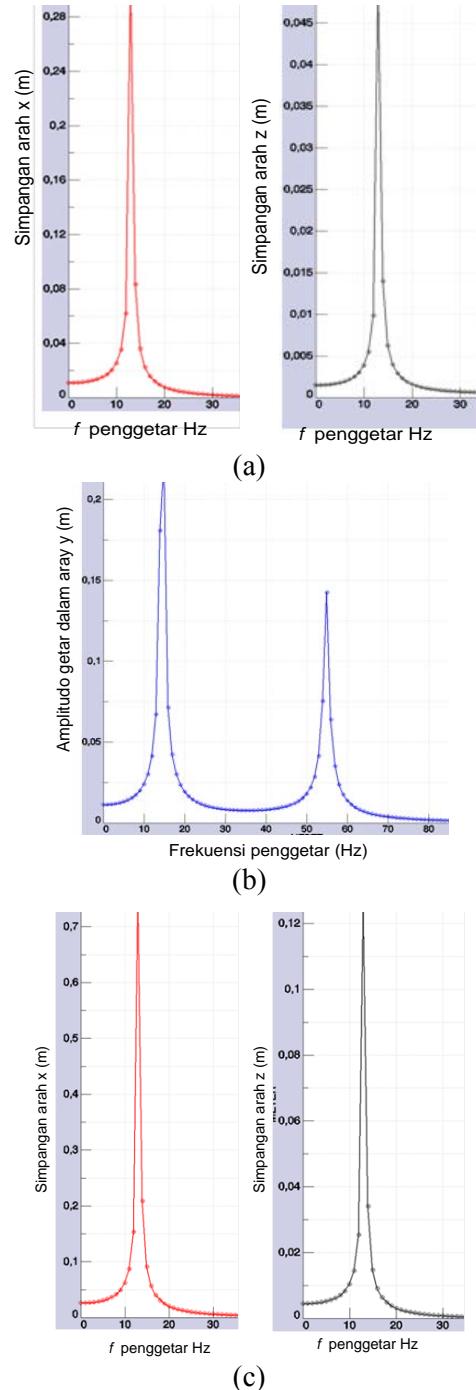


**Gambar 10.** Bentuk modus getar dari bajak getar, a. modus ke satu, b. modus ke dua.

Pada modus getar ke satu, bajak getar mempunyai potensi bergetar dalam arah x-z sehingga bila penggetar digetarkan pada frekuensi 13.2 Hz dalam arah x atau z, maka batang bajak akan bergetar hebat dalam arah x atau z. Pada modus getar ke dua, bajak getar mempunyai potensi bergetar dalam arah y sehingga bila penggetar digetarkan pada frekuensi 14.6 Hz dalam arah y, maka batang bajak akan bergetar hebat dalam arah y. Dari Gambar 10 juga terlihat bahwa *implement* tidak berpengaruh terhadap getaran batang bajak. Yang berpengaruh terhadap getaran batang bajak adalah pegas elastis dan batang bajak itu sendiri.

Modus getar ketiga terjadi pada frekuensi yang relative tinggi yaitu pada frekuensi 54.9 Hz. Frekuensi ini melebihi putaran motor listrik yang tersedia di pasaran sehingga kurang bermanfaat dalam aplikasinya pada bajak getar.

### c. Simulasi Respons frekuensi



**Gambar 11.** Respons frekuensi di ujung pisau bajak  
a. Akibat gaya berupa fungsi garmonis dalam arah x  
b. Akibat gaya berupa fungsi garmonis dalam arah y  
c. Akibat gaya berupa fungsi garmonis dalam arah z.

Putaran massa dari motor penggetar terhadap sumbu y menimbulkan gaya inersia berupa fungsi harmonis dalam arah x dan z sedangkan jika massa dari motor penggetar diputar terhadap sumbu x, maka gaya

inersia inersianya berupa fungsi harmonis dalam arah y dan z. Grafik respons getar di ujung pisau bajak dalam arah x, y dan z ditunjukkan pada Gambar 11. Akibat gaya dalam arah x, sistem bergetar hebat dalam arah x pada frekuensi 13.2 Hz. Untuk gaya dalam arah y, sistem bergetar hebat dalam arah y pada frekuensi 14.6 Hz sedangkan akibat gaya dalam arah z, sistem bergetar dalam arah x dan z pada frekuensi 13.2 Hz. Hal ini sesuai dengan hasil yang didapat dari simulasi analisis modal. Hasil yang didapat dari simulasi frekuensi respons ini memberikan harapan yaitu getaran ujung pisau bajak sebagai akibat dari gaya inersia yang diakibatkan oleh penggetar dapat menghancurkan tanah padat di depan ujung pisau bajak sehingga gaya dan energi pembajakan dapat diturunkan.

## Kesimpulan

Simulasi penggetaran berenergi rendah terhadap rancangan bajak getar telah berhasil dilakukan. Simulasi meliputi simulasi tanpa penggetaran, simulasi analisis modal dan simulasi respons frekuensi. Akibat beban 10 kN yang bekerja di ujung pisau bajak tercatat tegangan *Von Mises* tertinggi pada pegas sebesar 3.61 MPa, lebih rendah dari kekuatan mulur bahan. Disamping itu tercatat defleksi pada ujung pisau bajak sebesar 35 mm dan diharapkan ayunan bajak mampu menghancurkan tanah di depan ujung pisau bajak. Bajak getar yang disimulasikan mempunyai potensi getar dalam arah x dan z pada frekuensi 13.2 Hz dan mempunyai potensi getar dalam arah y pada frekuensi 14.6 Hz. Putaran massa tak imbang terhadap y dan z mengakibatkan batang bajak bergetar hebat pada frekuensi 13.2 Hz dan 14.6 Hz. kondisi ini diharapkan dapat menghancurkan tanah padat di depan ujung pisau bajak sehingga gaya dan energi pembajakannya menjadi turun.

## Referensi

- Butson, J. M. Rackham, H.D. *Vibratory soil cutting I. soil tank studies of draught and power requirements*. J Agric. Eng. Research, Vol. 26, 409-418 (1981)
- Gill, W.R. Van den Berg, G.E. *Soil dynamics in tillage and traction*, Agriculture hand-book, No. 316 ARS USDA (1968)
- Godwin, R.J. *An extended octagonal ring transducer for use in tillage studies*, Journal of Agricultural Engineering Research 20:347-352 (1975)
- Niyamapa, T. Salokhe, M.V. *Soil disturbance and force mechanics of vibrating tillage-tool*, Journal of Terramechanics ,Vol. 37, 151-166 (2000)

Rao, S.S. Yap Fook Fah. *Mechanical vibrations*, Singapore: Prentice Hall (2005)

Reza, A.S. Analisis bajak getar dengan penggetar berenergi rendah menggunakan *software* catia V5 R17, [skripsi], Jakarta: Jurusan Teknik Mesin FTI Universitas Trisakti (2012)

Soeharsono. Radite, P.A.S. Tineke, M. Wawan, H. dan Asep, S. *The influence of elastic springs and spring orientation on the draft force during tillage operation*. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. Vol. 6, No. 5, 56-60 (2011)

Soeharsono, *Draft force and energy reduction by low energy force vibration method on Self-Excited Vibration*

*Vibratory-Tillage*, <http://repository.ipb.ac.id/bitstream/123456789/53913/BAB%20VI%20Menurunkan%20Draf%20Dan%20Energi%20Pembajakan%20....pdf?sequence=8>, (2012)

Soil Quality Institute 411s. 2003. *Soil compaction: detection, prevention, and alleviation*.

Soils.usda.gov/sqi. Soil quality—Agronomy technical note. Paper no. 17

Susan DD, Nina, L.B. *A review of the effects of soil compaction and amelioration treatments on landscape trees*, Journal of Arboriculture Vol. 20;1, 9-17 (1994)

Szabo B, Barnes F, Sture S, Ko JH. *Effectiveness of vibrating bulldozer and plow blades on draft force reduction*. Transaction of the ASAE Vol. 41;2: 283-290 (1998)

Wang, X.L. Ito, N. Kito, K. Garcia, P.P. *Study on use of vibration to reduce soil adhesion*. Journal of Terramechanics, Vol.35, 87-101 (1998)

## Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Agung Mukti Wibowo, Wakil Bupati Pemalang Jawa Tengah, atas bantuan dana dalam penyelesaian penelitian ini.