

Review

Getaran Akibat Gangguan Secara Alami

Self Excited Vibration

Soeharsono¹ dan Radite P. A. Setiawan²

Abstract

This paper discusses the phenomenon of self-excited vibration in some physical model including its applications in some different engineering field. The referred physical model include the impact damper and its application for damping the vibration of shear building, chatter phenomenon on machine tools, ride comfort on agricultural machinery and stick-slip phenomenon and its benefit on vibration subsoiler. It is intended that this paper could provide a global overview on phenomenon of self-excited vibration.

Keywords: self-excited, vibration, stick-slip, subsoile

Diterima: 03 Januari 2008; Disetujui: 12 Mei 2008

Pendahuluan

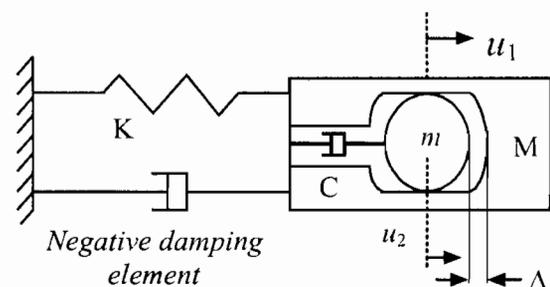
Parameter getar yang berpengaruh terhadap getaran struktur dinyatakan dalam inersia (massa dan kelembaman), elastisitas dan peredam. Inertia dan elastisitas merupakan potensi dari struktur untuk bergetar sedangkan peredam merupakan potensi guna meredam getaran struktur.

Berdasarkan gangguan nya, getaran dibedakan dalam getaran bebas, getaran paksa dan *self excited vibration*. Getaran bebas terjadi bila struktur diberi simpangan awal atau kecepatan awal, dalam hal demikian struktur akan bergetar secara harmonis dengan frekuensi yang sesuai dengan frekuensi pribadi nya. Getaran paksa terjadi bila gangguan nya berupa gaya luar atau berupa gerakan rangka pendukung (*support motion*). Pada getaran paksa, struktur akan bergetar dengan frekuensi yang sesuai dengan frekuensi gangguan nya sedangkan besar amplitude getar nya tergantung pada frekuensi gangguan. Bila frekuensi gangguan nya berdekatan dengan frekuensi pribadi struktur, maka terjadi fenomena resonansi dan struktur akan bergetar hebat.

Bila gangguan nya berupa iteraksi antara gerakan struktur dengan lingkungan gerak nya, maka getaran tersebut dinamakan *self excited vibration (SEV)*. Hal yang unik dari getaran ini adalah gangguan tersebut selalu tidak linier dan merupakan fungsi dari simpangan, kecepatan dan percepatan dari massa getar. Oleh karena itu tidak ada solusi yang sifatnya khusus dari getaran jenis ini bahkan pada beberapa kasus solusi eksperimental memberikan jawab yang mendekati kebenaran.

Pada tulisan ini akan dilakukan *review* dari artikel yang memuat tentang *self excited vibration*, aplikasi dan solusi yang ditawarkan. Pembahasan meliputi kasus *impact damper* beserta aplikasinya pada *shear building* baik untuk kasus getaran bebas maupun getaran paksa, *self excited vibration* pada mesin perkakas (*chatter*) dan ketidak-nyamanan operator dalam mengoperasikan *agricultural machinery* akibat *self excited vibration*. Pada bagian akhir dari tulisan ini akan dibahas tentang fenomena *stick-slip* dan aplikasinya pada *mesin-mesin pertanian*.

Fenomena *Impact damper* telah ditulis oleh Asfar *et al* (2005) dengan tujuan untuk mempelajari pengaruh dari *impact viscous damper* terhadap peredaman sistem getar satu derajat kebebasan. Model getar ditunjukkan pada Gambar 1 dengan parameter getar berupa *impact mass* m , *impact clearance* Δ , massa getar M , kekakuan pegas K , koefisien peredaman C serta koefisien peredaman negative μ dan α .



Gambar 1 Self-excited system dengan *impact viscous damper*

¹ Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti, Jakarta 11440, mahasiswa Pasca Sarjana TEP IPB, Kampus IPB Dramaga Bogor 16680

² Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus IPB Dramaga Bogor 16680.

Tabel 1 Waktu peredaman (*elapsed time t*) untuk $\epsilon = 0.1$ dan $\gamma = 1/3$

Mass ratio β	Clearance δ	Damping C ratio δ	Elapsed time t
0.2	any value	any value	∞
0.25	0.5 - 1.0	20 - 25	400 - 300
0.3	0.3 - 0.4	30 - 40	275 - 150
0.3	0.4 - 1.0	20 - 40	150 - 280
0.4	0.25 - 0.35	30 - 80	170 - 100
0.4	0.35 - 1.0	30 - 80	100 - 300

Untuk memudahkan simulasi numerik, maka Asfar mengubah parameter getarnya dalam bentuk parameter tanpa dimensi yaitu :

$$\epsilon = \mu/N(K/M), \quad \gamma = C/N(K/M), \quad \beta = m/M,$$

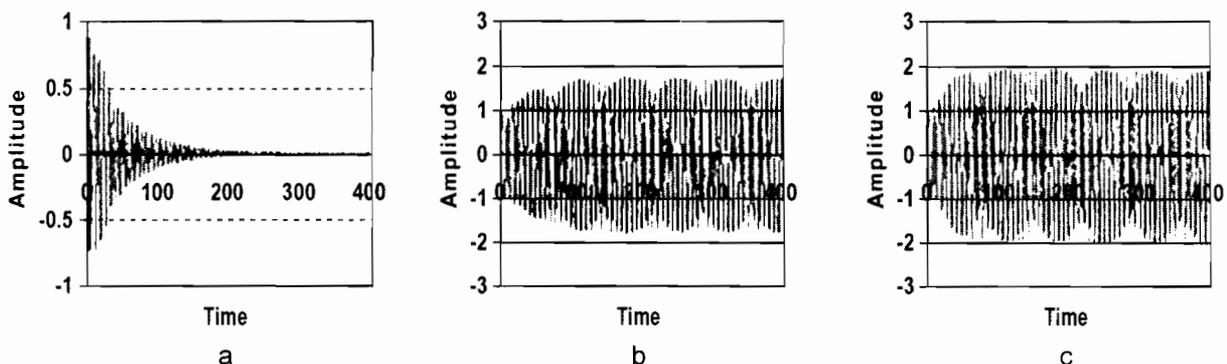
$$u = u^*/u_0, \quad \omega_0 = \sqrt{K/M}$$

Dimana u^* adalah panjang karakteristik dan dipilih sedemikian rupa sehingga :

$$\alpha u_0 k = M/3$$

Dalam solusi numerik nya, Asfar memilih parameter utama yang berpengaruh terhadap waktu peredaman (*elapsed time*) t yaitu *mass ratio* β , *clearance ratio* δ peredam *viscous* pada massa peredam C dan faktor ketidak-linieran ϵ , sedangkan nilai γ dibuat konstan sebesar $1/3$. Untuk $\epsilon > 0.1$, sistem tidak akan teredam kecuali bila nilai *mass ratio* β dibuat besar dan sistem ini menjadi tidak efektif (Gambar 2)

Hasil-hasil juga menunjukkan bahwa sistem tidak pernah teredam bila harga dari *mass ratio* β lebih kecil dari 0.25 (Tabel 1). Secara umum potensi peredaman terjadi pada harga *mass ratio* β dan *clearance ratio* δ yang semakin besar Asfar juga melaporkan bahwa untuk besar harga C yang melebihi angka optimum nya, sistem menjadi kontra-produktif bahkan di atas harga tertentu massa *impact damper* menyatu dengan massa getar sehingga tidak terjadi fenomena peredaman.

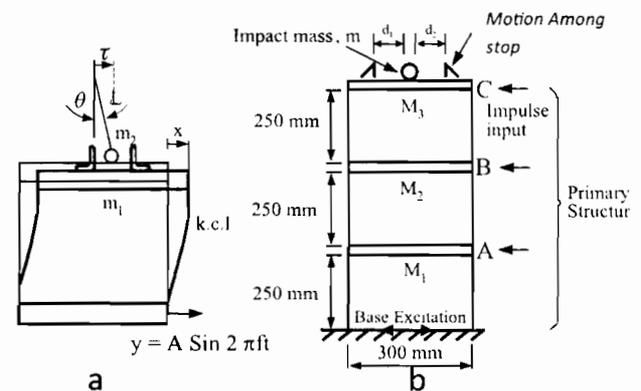


Gambar 2 Pengaruh non linieritas ϵ pada peredaman, $\beta = 0.3, \delta = 0.35, C = 30$, (a) $\epsilon = 0.1$, (b) $\epsilon = 0.15$, (c) $\epsilon = 0.2$

Studi eksperimental tentang *impact vibration absorber* yang dipasang pada *shear building* telah dilakukan oleh Ekwaro *et al.* (2001) dan Y. Li *et al.* (2006) Tujuan dari kedua nya adalah mempelajari pengaruh *impact vibration absorber* terhadap peredaman getaran pada struktur *shear building* baik untuk kasus getaran bebas maupun untuk kasus getaran paksa.

Skema peralatan eksperimental Ekwaro ditunjukkan pada Gambar 3a berupa model *shear building* satu derajat kebebasan dengan massa *impact* berupa massa ayun m_2 . Massa getar m_1 dipasang pada *base* melalui empat buah batang kantilever dan frekuensi pribadi dari massa getar di set pada 9 Hz. Getaran bebas didapat dengan memberi simpangan awal pada massa getar sedangkan getaran paksa dilakukan dengan memberikan gangguan pada *base* berupa fungsi harmonis

Skema peralatan eksperimental Y. Li ditunjukkan pada Gambar 3.b berupa model *shear building* tiga derajat kebebasan dengan gerakan massa *impact* nya dibuat linier. Frekuensi alami dari *shear building* berturut-turut besarnya adalah $f_1 = 1.77$ Hz, $f_2 = 5.22$ Hz dan $f_3 = 7.72$ Hz. Getaran paksa dilakukan dengan cara memberikan gangguan pada *base* berupa fungsi harmonis sedangkan getaran bebas dilakukan dengan cara memberikan masukan berupa *impuls* pada M_1, M_2 dan M_3



Gambar 3 (a) Model Ekspermental Ekwaro (b) Model Ekspermental Y. Li

Kedua nya mencatat hasil serupa yaitu parameter *impact damper* yang berpengaruh terhadap peredaman getaran *shear building* adalah *mass ratio* dan *clearance ratio*, baik pada kasus geraran bebas maupun getaran paksa. Semakin besar nilai *mass ratio* dan *clearance ratio* nya, semakin besar pula potensi dari *impact damper* dalam meredam getaran *shear building*. Kedua nya juga mencatat pada *clearance ratio* di atas harga optimum nya, sistem menjadi kontra-produktif. Yang unik adalah *impact damper* mampu meredam *shear building* pada frekuensi pribadi nya, hal yang tidak pernah terjadi pada sistem peredaman dinamis.

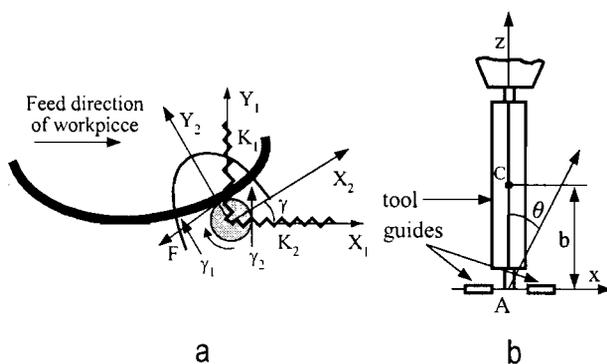
Chatter Pada Mesin Perkakas

Mode Coupling

Penomena SEV pada mesin perkakas dinamakan *Chatter* ditandai dengan bergetar nya pahat dan benda kerja selama proses pemesinan. Akibat yang ditimbulkan dari getaran ini adalah terjadi nya kekasaran pada permukaan benda kerja, keausan pahat dan konsumsi energi yang berlebihan (Tamás, 2004). Ada dua mekanisme pembentukan *chatter* yaitu *mode coupling* dan *regenerative circle* (Ganguli, 2005 dan Gasparetto, 2001). *Mode coupling* merupakan getaran pahat dengan dua derajat kebebasan atau lebih dengan orientasi getar dan pase yang berbeda sedangkan *phenomena regenerative circle* terjadi pada *process turning* di mana pahat memotong kekasaran permukaan yang dihasilkan oleh pemotongan sebelum nya.

Gasparetto *et al.* (2001) melaporkan fenomena *mode coupling* pada proses pemotongan kayu dengan menggunakan pahat jenis *end mill*. Tujuan penelitian ini adalah mencari parameter pemotongan yang menghasilkan *chatter* beserta solusi untuk menstabilkan getaran nya.

Model dari sistem ditunjukkan pada gambar 4a. Variasi gaya potong F akibat variabilitas parameter pemotongan (kekerasan benda kerja yang tidak homogen, luas pemotongan yang tidak konstan)



Gambar 4 (a) Pemodelan pemotongan pahat (*end mill*) ke benda kerja; (b) Model getar pahat dua derajat kebebasan

memberikan *trigger* pada pahat untuk bergetar dalam arah X dan dalam arah Y. Getaran pahat dimodelkan dalam sistem getar dua derajat kebebasan ditunjukkan pada gambar 4b. Dibuat konstante k yang besar nya tergantung dari bahan benda kerja, tebal pemotongan dan besar *feeding* serta γ merupakan sudut antara arah maju pahat dengan garis singgung di titik kontak antara pahat dengan benda kerja (Gambar 4a). Gasparetto menghubungkan stabilitas dari getaran sistem dengan besar sudut γ. Persamaan gerak dari getaran pahat dinyatakan sebagai :

$$\begin{bmatrix} M_x & 0 \\ 0 & M_y \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_x \\ \ddot{u}_y \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_x & 0 \\ 0 & K_y \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_x \\ u_y \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k \sin \gamma \cos \gamma & -k \cos^2 \gamma \\ k \sin^2 \gamma & -k \sin \gamma \cos \gamma \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_x \\ u_y \end{Bmatrix} \quad (1)$$

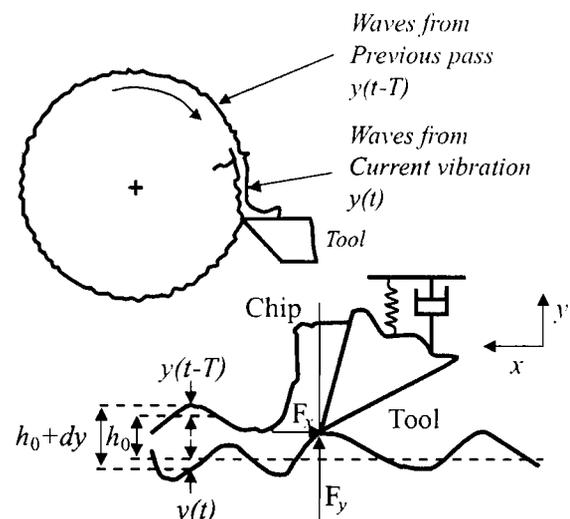
Persamaan 1 merupakan persamaan diferensial getaran bebas dua derajat kebebasan yang tidak terkopling dimana Persamaan karakteristik nya akan menghasilkan nilai γ (Gambar 4a) yang merupakan batas stabilitas getar dari sistem yaitu γ1 > γ > γ2.

Bila terjadi kondisi tidak stabil, Gasparetto mengajukan solusi sebagai berikut:

- Jika γ > γ1 dan berdekatan dengan γ1, maka *mode coupling chatter* dapat dihindari dengan memperbesar kekakuan dalam arah Y
- Bila γ besar dan γ < γ2, maka *mode coupling chatter* dapat dikurangi dengan memperbesar kekakuan dalam arah X atau dengan cara klasik yaitu dengan memberikan peredaman pada sistem.

Regenerative Process

Ganguli *et al.* (2005) melaporkan penomena *chatter* akibat *regenerative process* selama proses pemesinan. Eksperimental dilakukan pada *hardware simulator* berikut solusi guna menstabilkan



Gambar 5 Phenomena regenerative process

getarannya.

Phenomena *regenerative process* dari Ganguli ditunjukkan pada Gambar 5 Kekerasan benda kerja yang tidak homogen membuat gaya potong F tidak konstan sehingga pahat potong nya bergetar. Hal ini membuat permukaan hasil pemotongan bergelombang sehingga besar gaya potong berikut nya lebih variatif. Proses ini membuat pahat dan benda kerja bergetar dan terjadilah phenomena chatter. Fungsi transfer dari sistem getar dilaporkan oleh Ganguli seperti terlihat pada persamaan (2)

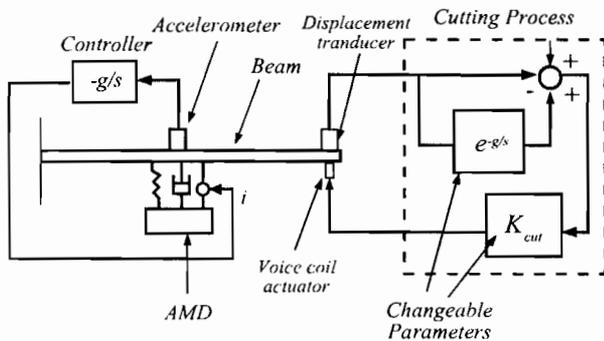
$$\frac{h(s)}{h_0(s)} = \frac{1}{1 + K_{f.a} \cdot G(s)(1 - e^{sT})}$$

Dimana

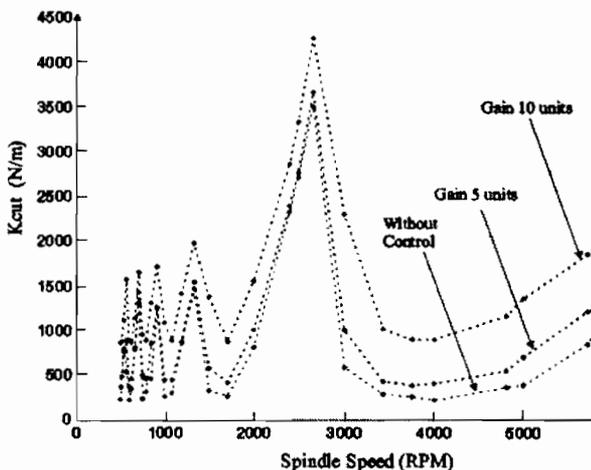
$$G(s) = \frac{y(s)}{F_c(s)} = \frac{1}{ms^2 + cs + k}$$

Dengan $h(t)$ tebal pemotongan, $y(t)$ derajat kebebasan, h_0 adalah feeding, α adalah tebal pemotongan dan K_f adalah gaya potong spesifik. Disini m , c dan k adalah parameter getar dan $T = 60/N$ (N adalah putaran spindel) sedangkan s adalah transformasi dari domain waktu t ke domain laplace.

Ganguli membuat peralatan simulasi (Gambar 6) yang didasarkan atas persamaan (2) yang terdiri atas *beam* (merekpresentasikan benda kerja), *voice coil actuator*



Gambar 6 Simulator beserta kontrol stabilitas



Gambar 7 Hasil simulasi (AMD dan controller diaktifkan)

coil actuator yang berfungsi untuk menggetarkan *beam* dan *displacement transducer* guna mencatat getaran *beam*. Getaran dari *voice coil actuator* didapat dari sinyal generator yang mendapat umpan balik dari *displacement transducer*. Putaran poros disimulasikan sebagai variabel T dan dikombinasikan dengan variasi $K_{cut} = K_f \cdot a$ diamati batas stabilitas getaran poros.

Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 7 untuk $g = 0$. Daerah diatas grafik menyatakan daerah tidak stabil. Dengan demikian perbaikan *chatter stability* dilakukan dengan cara memperluas daerah di bawah grafik. Untuk itu pada *beam* dipasang *Active Mass Damper* (AMD). Getaran dari *beam* ditangkap oleh *accelerometer* selanjut nya sinyal getar nya dibesarkan oleh *controller* dengan memvariasi konstante g . Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 7 dengan variasi $g = 5$ dan $g = 10$. Terlihat adanya perbaikan batas stabilitas ditandai dengan semakin tinggi nya *limit stability* bila AMD nya diaktifkan.

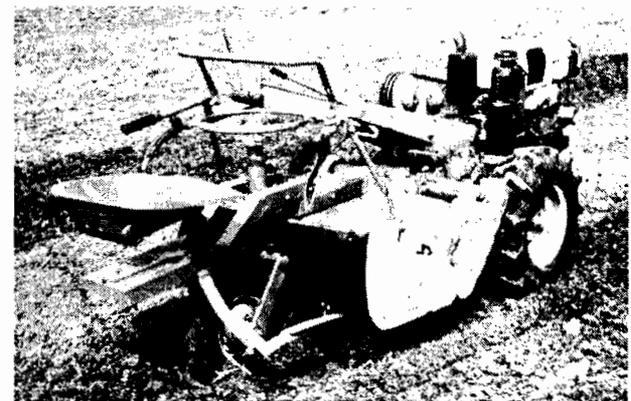
Pengaruh SEV pada Kenyamanan Operator

Agricultural Machinery

Kebanyakan mesin-mesin pertanian beroperasi pada daerah yang potensial menghasilkan getaran. Hal ini berpengaruh pada kenyamanan dan kesehatan operator dan produktivitas kerja dari sistem. Gangguan yang berpotensi dalam menggetarkan mesin pertanian diakibatkan oleh ketidak-rataan permukaan tanah, variasi beban gaya selama mesin pertanian beroperasi (frekuensi rendah) serta getaran pada mesin penggerak (frekuensi tinggi). Getaran yang berpengaruh terhadap kenyamanan operator adalah getaran dalam arah longitudinal, arah vertikal dan arah sudut

Ketahanan operator dalam mengoperasikan mesin-mesin pertanian tergantung pada percepatan getar serta frekuensi getar selama mesin tersebut beroperasi dan telah dibakukan sesuai dengan ISO: 2631 / 1-1985 (Mehta *et al.*, 1997)

Parameter di atas digunakan oleh Mehta *et al.* (1997) guna meneliti ketahanan operator dalam



Gambar 8 Rotary Power Tiller kapasitas 7.5 kW

mengoperasikan salah satu jenis *Rotary Power-Tiller* kapasitas 7.5 kW yang ada di India (Gambar 8). Penelitian dilakukan pada saat *power tiller* melaju pada *tarmacadam road, farm road, untilled field* dan pada *Tilled field*. Penelitian juga dilakukan saat *power tiller* dalam kondisi beroperasi pada *Untilled field* dan pada *Tilled field*.

Sebagai transducer digunakan *accelerometer* (dipasang dibawah tempat duduk operator) yang dapat mendeteksi sinyal getaran dalam arah longitudinal, arah vertikal dan arah sudut. Mehta mendapatkan hasil yaitu operator akan tahan selama 8 jam dalam mengendarai *Power-Tiller* pada semua kondisi jalan sedangkan saat beroperasi, operator akan tahan mengoperasikan *Power-Tiller* selama 2.5 jam dalam kondisi *rotatilling* dan 4 jam dalam kondisi *rotapuddling* tanpa berhenti

Ride comfort dari traktor yang dikaitkan dengan posisi *virtual hitch point (VHP)* dari *implement* telah diteliti oleh Sakai *et al* (1998). Posisi dari (*VHP*) disimulasikan oleh komputer dan hasilnya diferivikasi secara eksperimental. Model matematik dari penelitian Sakai berupa traktor berikut *implement* nya ditunjukkan pada Gambar 9. Roda traktor dimodelkan sebagai pegas linier *k* dan peredam viskus *c*, gaya-gaya pemotongan tanah dalam arah vertical dan horizontal bekerja pada *chisel*

Persamaan gerak getaran sistem dalam koordinat rampak *q* dalam tiga derajat kebebasan ditulis dalam bentuk matri ks sebagai berikut :

$$[m]\{\ddot{q}\} + [c]\{\dot{q}\} + [k]\{q\} = \{f\} \quad 3$$

Guna simulasi, dipilih parameter getar yang sesuai dengan kondisi traktor seperti terlihat pada Tabel 2. Ada tiga kondisi yang disimulasikan yaitu pengaruh

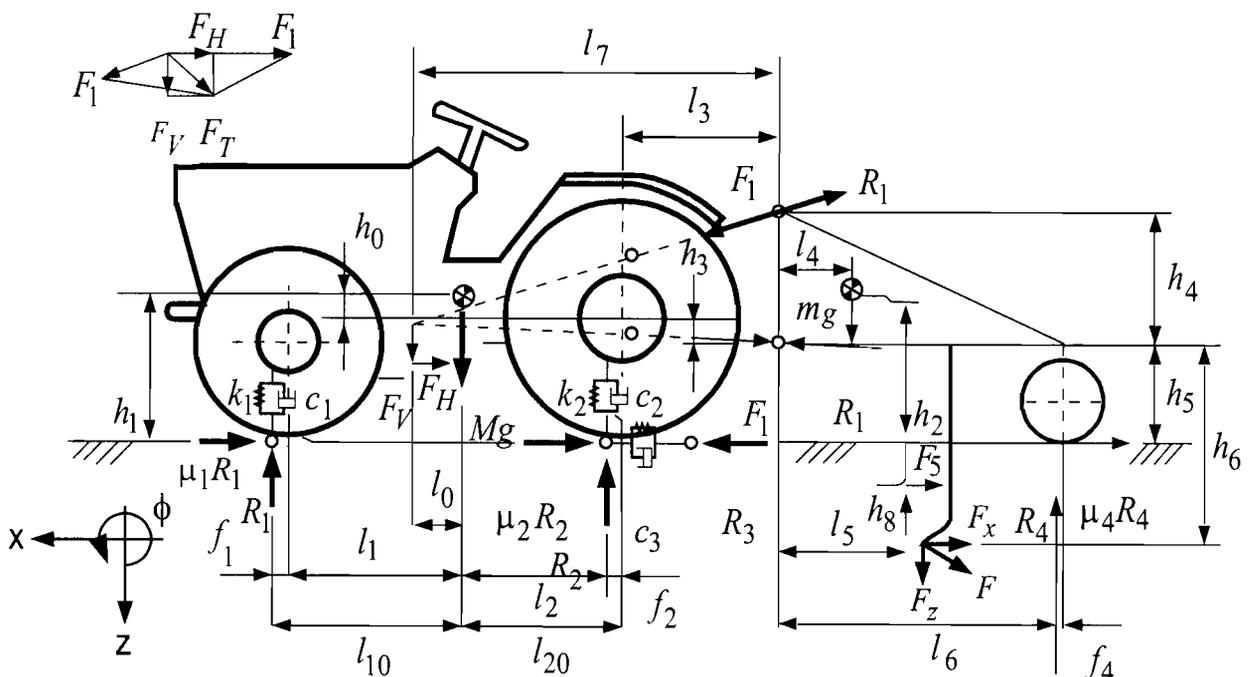
Tabel 2 Parameter getar yang digunakan dalam simulasi

$C_1 = 5500$	[N/(m/s)]	$l_0 = 1.549$	[m]
$C_2 = 6690$	[N/(m/s)]	$l_1 = 0.780$	[m]
$C_3 = 6400$	[N/(m/s)]	$l_2 = 0.587$	[m]
$H_0 = 0.078$	[m]	$M = 874$	[kg]
$h_1 = 0.586$	[m]	$m = 149$	[kg]
$J_G = 320$	[kg-m]	$\mu_1 = 0.12$	
$k_1 = 304000$	[N/m]	$\mu_2 = 0.12$	
$k_2 = 372000$	[N/m]	$\mu_3 = 0.15$	
$k_3 = 316000$	[N/m]		

posisi *virtual hitch point*, posisi gaya pemotongan pada *chisel* dan posisi roda kontrol pada *implement*. Sakai menyimpulkan bahwa posisi *virtual hitch point* merupakan kondisi yang paling berpengaruh terhadap kenyamanan operator.

Hasil simulasi berupa *contour line* percepatan getar dalam arah vertikal di bawah tempat duduk operator ditunjukkan pada Gambar 10. Daerah yang diarsir menyatakan posisi *VHP* yang memberikan percepatan getar kurang dari 4 m/dt^2 yang merupakan kondisi terbaik dari operator selama mengoperasikan traktor

Selanjut nya hasil simulasi diuji secara eksperimental pada kondisi kecepatan traktor 0.23 m/dt dan frekuensi shank 9.0 Hz . Hasil eksperimental dianalisis dengan menggunakan *1/3 octave band method*. Hasilnya adalah jika *VHP* nya berada dititik C, operator akan tahan mengoperasikan traktor selama 8 jam sedangkan di titik lain diluar daerah yang diarsir ketahanan operator dalam mengoperasikan traktor akan kurang dari 4 jam.



Gambar 9 Model matematik dari tractor-vibrating subsoiler

Penomena *Stick-Slip*

Penomena *SEV* lainnya yang akan di *review* adalah penomena *stick-slip* yang ditandai dengan lepas nya energi getar (yang terkumpul selama gerakan sistem) secara tiba-tiba, selanjutnya massa akan bergetar mengatasi hambatan baik yang berupa gesekan maupun yang berupa peredaman. Penomena *stick-slip* digambarkan oleh A. J. Mcmilan (1997) seperti terlihat pada Gambar 11 terdiri atas system getar *SDOF* dan konveyor. Pada awal nya, massa m bergerak mengikuti konveyor sehingga memberi energi regangan pada pegas s , dan sesaat setelah terjadi keseimbangan energi, terjadilah penomena *stick-slip*

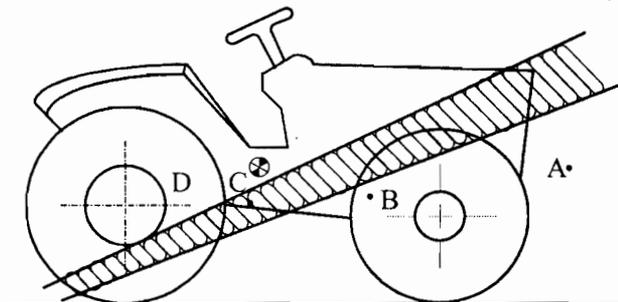
Respon dari massa m dinyatakan dalam diagram *phase-plane* (Gambar 12). *Loop* terluar menyatakan kondisi osilasi *stick-slip* sedangkan titik di dalam menyatakan kondisi *steady-slip* dengan kecepatan konstan v_b . Jika kondisi awal dari massa (dalam posisi x dan kecepatan v) lebih dekat ke *loop* terluar, maka energi regangan pegas dan energi kinetik massa akan mampu mengatasi kerugian energi pada peredam sehingga gerakan massa m akan membesar, terjadilah osilasi *stick-slip*. Sebaliknya jika kondisi awal dari massa lebih dekat ke titik dalam, maka energi kinetik dari massa dan energi regangan pegas akan diredam oleh peredam sehingga terjadilah kondisi *steady-slip*.

Penomena *stick-slip* pada *SEV* banyak dijumpai pada mesin-mesin pertanian kususnya pada bajak getar. Penomena ini terjadi jika batang pahat nya adalah elastis atau pada batang pahat nya dipasang

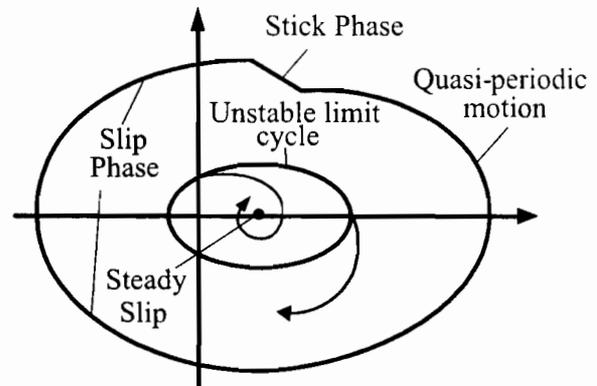
pegas. Pada saat pahat bergerak maju, tahanan tanah membuat batang pahat atau bagian elastis dari batang pahat terdefleksi sehingga energi nya disimpan dalam bentuk energi potensial. Pada saat tanah terbongkar, tahanan tanah menjadi jauh berkurang selanjutnya batang pahat berosilasi sesuai dengan penomena *stick-slip*. Tujuan dari sistem ini adalah untuk mengurangi tahanan tanah sehingga gaya tarik pada implement menjadi rendah.

Qiu Lichung dan Li Baufa (2000) membuat bajak getar guna menurunkan tahanan tanah dengan menggunakan metode *self excited vibration*. Skema peralatan ditunjukkan pada Gambar 13. Pegas elastis dipasang antara traktor dengan *implement* menggantikan fungsi *upper link*. Sistem bekerja pada kedalaman antara 26 cm hingga 29 cm. Dibandingkan dengan bajak biasa (pegas diganti dengan batang kaku), Qiu Lichung mencatat penurunan tahanan tanah sekitar 10.8% dan penurunan *cone index* sekitar 13%.

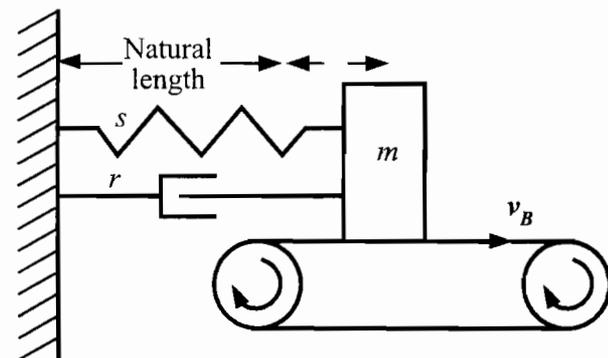
R. Bernstsen *et al* (2006) melakukan penelitian tentang *draft* yang dibutuhkan guna membongkar kepadatan tanah dengan menggunakan *rigid tines* dan *flexible tines*. Penelitian dilakukan pada *loam soil* pada dua kondisi yang berbeda yaitu pada *tilled soil* dan pada *no-tilled soil* serta pada dua kondisi kecepatan yaitu 1 m/s dan 2 m/s Kedalaman pemotongan dilakukan pada 0.06 m dan 0.12 m.



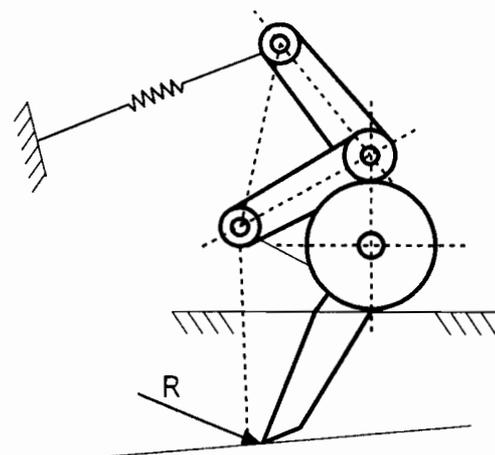
Gambar 10 Cortour line hasil simulasi dengan komputer



Gambar 12 Diagram *phase plane* dari respon massa m



Gambar 11 Penomena *Stick-Slip* dari A. J. McMilan



Gambar 13 Bajak getar dari Qiu Lichung dan Li Baufa

Tabel 3 Kekakuan dari masing-masing Tines

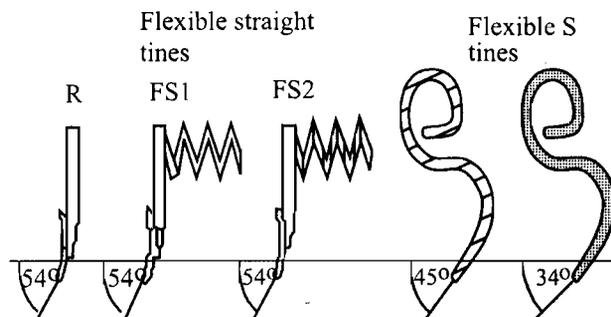
Force per cm tire deflection ($N\ cm^{-1}$) of the flexible tines

Soil state	Flexible straight tines		Flexible S-tines	
	FS1	FS2	S45	S34
No-tilled soil	38	30	48	40
Tilled soil	30	8	48	40

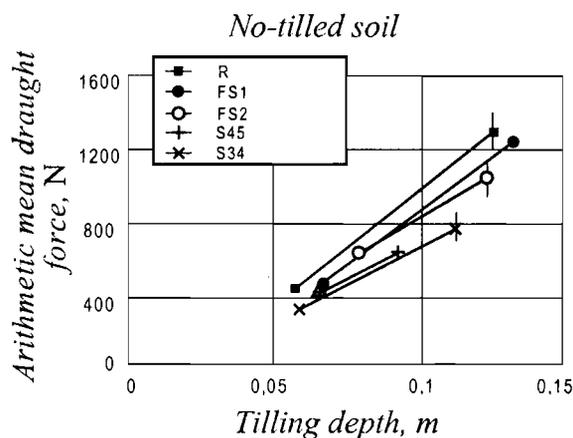
Dalam penelitiannya, Bernstsen menggunakan tiga jenis tines (Gambar 14) yaitu rigid tine (R), Flexible straight tines (FS1 dan FS2) dan Flexible S tines (S45 dan S34).

Data kekakuan dari masing-masing tines ditunjukkan pada Tabel 3. Flexible straight tine (FS2) mempunyai kekakuan yang paling lemah pada tilled soil dan pada no-tilled soil yaitu masing-masing 30 N/cm dan 8 N/cm.

Jika dioperasikan pada no-tilled soil, Bernstsen mencatat penurunan gaya potong tanah pada flexible straight tines dan flexible S tines berturut turut sebesar 20 % dan 28% jika dibandingkan dengan gaya potong tanah yang diperlukan oleh rigid tine (Gambar 15). Pada tilled soil, terjadi hal sebaliknya yaitu rigid tine memberikan draft paling rendah kecuali pada FS2, yang karena fleksibilitasnya memberikan draft yang lebih rendah dibandingkan dengan draft untuk rigid tine



Gambar 14 Jenis Tines yang digunakan oleh Bernstsen et al.

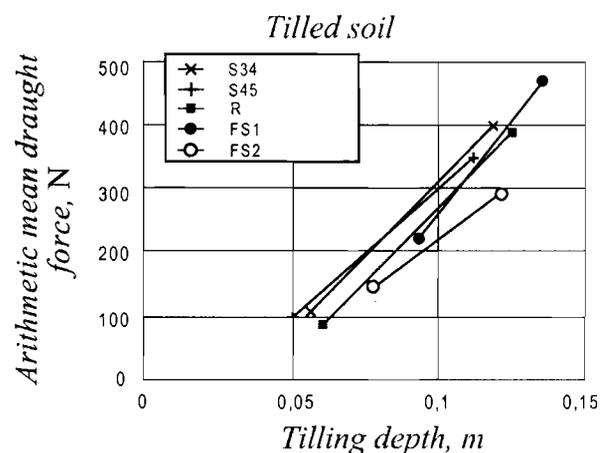


Hasil-hasil yang didapat dianalisis lebih lanjut oleh Bernstsen dengan menggunakan two-level model (kombinasi antara kecepatan dengan kedalaman potong). Didapat hasil yaitu peak force (gaya maks. Saat pahat bergerak memotong) pada flexible tines mempunyai besar yang lebih tinggi jika dibandingkan peak force pada rigid tine, sedangkan Trough force nya (gaya min. Saat pahat bergerak mundur) pada flexible tines mempunyai besar yang lebih rendah jika dibandingkan Trough force pada rigid tine. Kendati demikian, besar rata-rata dari gaya pada flexible tines tercatat lebih rendah jika dibandingkan besar rata-rata dari gaya pada rigid tine

Kesimpulan

Telah dilakukan review dari journal yang relevan tentang fenomena Self Excited Vibration pada beberapa model fisis dan penerapannya pada bidang yang berbeda. Model fisis dan bidang yang dimaksud adalah fenomena Impact Damper pada shear building, fenomena chatter pada mesin perkakas, fenomena ride confort pada agricultural machinery dan fenomena stick-slip pada bajak getar. Hal yang menarik adalah:

- Pengaruh paling dominan dalam peredaman getaran shear building pada kasus impact damper adalah mass ratio dan clearance ratio.
- Fenomena Chatter pada mesin perkakas dapat digeneralisasikan melalui proses regeneratif circle dan melalui fenomena mode coupling
- Penempatan virtual hitch point yang tepat pada traktor-implement dapat menaikkan ketahanan operator dalam mengoperasikan traktor.
- Fenomena stick-slip pada bajak getar mampu menurunkan draft yang diperlukan untuk membongkar kepadatan tanah, dan besar penurunannya tergantung dari elastisitas batang pahat serta kondisi awal tanah



Gambar 15 Gaya potong tanah rata-rata sebagai fungsi dari kedalaman potong
a. Pada No-tilled soil, b. Pada tilled soil

Daftar Pustaka

- Asfar. K. R and Akour N. S, 2005, *Optimization Analysis of Impact Viscous Damper for Controlling Self-Excited Vibration*, *Journal of Vibration and Control*,11(1), 103-120
- Berntsen R., Berre B., Torp T., Aasen H., 2006, Tine force established by a two level model and the draught requirement of rigid and flexible tines, *Soil and Tillage Research*, 90, 230-241
- Ekwaro s. And Desen C. I., 2001, *Experimental study on Impact Vibration Absorber*, *Journal of Vibration and Control*,7(4), 475-493
- Ganguli A, Deraemaeker A, Horodinca M, Preumont A., 2005, Active damping of chatter in machine tools - Demonstration with a "Hardware in the Loop" simulator, *Journal of Systems and Control Engineering*, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, vol 219, N°15, p. 359-369
- Gasparetto A., 2001, *Eigenvalue Analysis of Mode-Coupling for Machine-Tool Stabilization* *Journal of Vibration and Control*,7(2), 181-198
- Li L. And Darby P. A., 2006, Experiments on the Effect of an Impact Damper on a Multi Degree-of-Freedom System, *Journal of Vibration and Control*,12(1), 445-464
- McMillan J.A., 1997, a Non-Linear Friction Model for Self-Excited Vibrations, *Journal of Sound and Vibration*, 194, 212-224
- Mehta R. C., Tiwari S. P., Varshney C. A., 1997, Ride Vibrations on a 7.5 kw Rotary Power Tiller, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 66, 169-176.
- Qiu Lichung and Li Baufa, 2000, Experimental Study on the Self-Excited Vibration subsoiler for Reducing Draft Force, *Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, Vol.16 no. 6 p 72-76
- Sakai K, Terao H and Nambu, 1988, Sakai K, Terao H and Nambu, 1988, The Dynamics Behaviour of a Tractor-Vibrating Subsoiler System and the Effect of the Virtual Hitch Point, *Journal of Terramechanics*, Vol. 25, pp. 241-247
- Tamás Kalmár-Nagy and Francis C. Moon, 2004, *Mode-Coupled Regenerative Machine Tool Vibrations*, *Nonlinear dynamics of Production System*, pp 129-149