

ASPEK MEKANIKA TANAH DALAM INTERAKSI MESIN-TANAH (BAGIAN II)

Oleh :
Abdul Rozaq *

Adhesi Mesin Penarik pada Tanah

Salah satu kriteria unjuk-kerja traktor sebagai mesin penarik adalah kemampuan menghasilkan gaya pancal maximum (H) untuk suatu beban di atas roda (W) yang tertentu. Adhesi (A_d) secara matematis dapat dinyatakan :

$$A_d = \frac{H}{W}$$

Dari suatu penelitian dengan sebuah traktor dan satu jenis ban diperoleh hubungan antara A_d dengan parameter sifat mekanik tanah (C, φ dan slip roda (G) sebagai berikut :

$$A_d = (-4,5 G^2 + 2,7 G) \left(\frac{C}{n} + \tan \varphi + 0,9 \right)$$

n adalah besar tekanan yang ditimbulkan oleh roda di atas tanah yang setara dengan $\frac{W}{A}$. Untuk harga slip yang

kecil, G^2 dapat diabaikan, sehingga persamaan di atas dapat ditulis :

$$A_d = 2,7 G \left(\frac{C}{n} + \tan \varphi + 0,9 \right)$$

Dari formula di atas, parameter sifat mekanik tanah, tekanan yang ditimbulkan oleh roda pada tanah serta tingkat slip roda sangat menentukan unjuk kerja penarikan traktor.

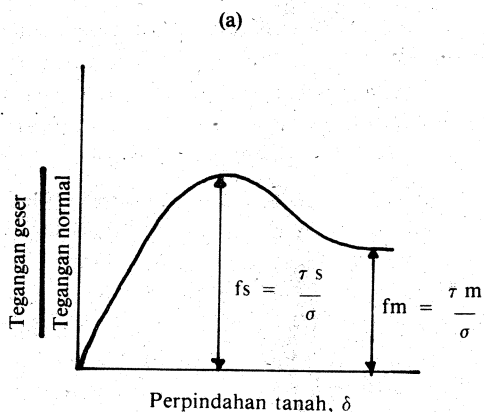
Penelitian untuk meningkatkan adhesi traktor banyak dilakukan, terutama di negara-negara industri di Eropa untuk mengurangi resiko pematatan tanah akibat berat mesin yang berlebihan dan penghematan energi melalui peningkatan efisiensi penarikan. Salah satu kesulitan yang dihadapi dalam usaha meningkatkan adhesi ini adalah banyaknya parameter yang harus diperhitungkan, yang meliputi parameter sifat fisis/mekanis tanah, dan parameter sifat ban, serta interaksi kompleks antara roda dan tanah. Salah satu contoh adalah variasi geometri luasan kontak ban-tanah karena terjadinya deformasi simultan ban-tanah, yang sangat menyulitkan didalam melakukan simulasi matematis in-

*) Staf Pengajar Fakultas Teknologi Pertanian, UGM.

teraksi roda-tanah. Sementara itu modelisasi watak tanah dengan menggunakan pegas sebagai pendekatan tidak selalu berlaku, terutama pada saat tanah ada dalam proses patah.

Proses Penarikan dan Deformasi Tanah

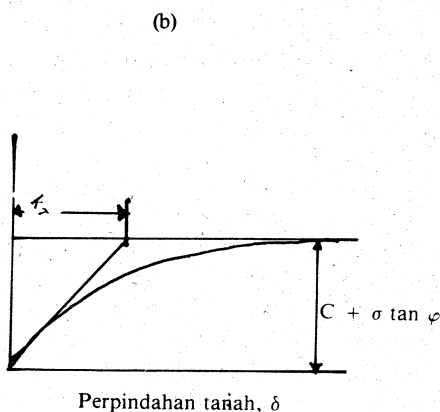
Di samping usaha memaksimalkan adhesi yang dapat menghasilkan kemampuan menarik lebih besar untuk berat yang sama, perhatian juga diberikan pada proses penarikan untuk suatu harga slip tertentu, yang ada kaitannya dengan deformasi tanah.



Gerakan tanah di sepanjang permukaan kontak roda-tanah (δ) sangat tergantung pada tingkat slip (i) dan jarak dari titik kontak awal roda terhadap tanah (X).

$$\delta = i \cdot X.$$

Agar diperoleh hubungan matematis antara tegangan geser tanah dan deformasi yang dihasilkan oleh tegangan tersebut, watak deformasi tanah harus terlebih dahulu ditetapkan. Watak tersebut dapat dilihat dalam diagram deformasi geser tanah sebagai berikut :



Kacigin dan Guskov (1968) menyajikan formula diagram deformasi geser tanah di atas :

$$\frac{\tau}{\sigma} = f_m \left(1 + \frac{a}{\cosh \delta/k\tau} \right) \tanh \delta/k\tau$$

Dari formula di atas kita peroleh tiga parameter yang mencirikan kurva deformasi geser tanah yaitu : (a) perban-

dingan kekuatan geser sisa dengan tegangan normalnya, f_m (b) perpindahan jarak untuk memperoleh harga tegangan geser maksimum, $k\tau$ dan (c) konstanta a yang tergantung pada perbandingan kekuatan sisa dengan kekuatan geser puncak. Besarnya a dinyatakan :

$$a = 2,55 \left(\frac{f_s - f_m}{f_m} \right) 0,825$$

Dalam kasus kurva a asymptotis (b), $\tau_s = \tau_m$, sehingga $a = 0$ sehingga persamaan di atas menjadi :

$$\frac{t}{\sigma} = f_m \cdot \tanh \delta / k_\tau$$

Menurut kriteria patah Mohr-Coulomb, kekuatan geser puncak dapat dihitung berdasar rumus $\tau = C + \sigma \tan \varphi$, sehingga :

$$f_m = \frac{\tau_s}{\sigma} = \frac{C + \sigma \tan \varphi}{\sigma}$$

Pada umumnya tanah memiliki diagram geser yang asymptotis seperti gambar (b) sehingga, untuk penyederhanaan masalah digunakan formula :

$$\tau = (C + \sigma \tan \varphi) (1 - e^{-\delta / k})$$

Untuk harga δ (deformasi tanah) yang sangat besar, formula tersebut dapat dituliskan :

$$\tau = (C + \sigma \tan \varphi)$$

Dari uraian di atas, jelas bahwa sifat mekanis tanah dan watak deformasinya sangat berpengaruh di dalam memperoleh performance penarikan suatu mesin pertanian.

Arti Sifat Mekanik Tanah pada Proses Pengolahan Tanah

Pada prinsipnya persoalan utama yang harus dipecahkan dalam pengolahan tanah adalah persoalan kinematika dan dinamika (arah lemparan

partikel tanah, deformasi tanah), pemotongan dan decohesi tanah yang dalam kenyataannya selalu berkaitan satu dengan lainnya. Dekohesi tanah adalah konsekuensi langsung dari suatu pemotongan dan deformasi. Hasil akhir yang diperoleh adalah peningkatan porositas, yang kerap kali tidak langsung dapat diperoleh dengan sekali pengolahan tanah melainkan memerlukan kegiatan pengolahan tanah yang lain atau setelah adanya intervensi fenomena meteorologis, seperti hujan.

Pemotongan tanah oleh suatu bidang dapat diasumsikan sebagai kerja simultan antara gaya tekan dan gaya geser yang terjadi pada bagian yang berbeda-beda pada alat. Persoalan ini pada prinsipnya dapat didekati dengan teori plastisitas. Gaya penetrasi dapat diwujudkan dalam fungsi sifat mekanik tanah C dan φ dan geometri dari bagian alat pengolah tanah. Sebagai contoh dapat dikemukakan hubungan antara gaya penarikan suatu bajak dengan parameter sifat mekanik tanah sebagai berikut :

$$\frac{F}{S} = 1,25 \frac{C}{\cos \phi} (0,85 + \sin \phi) + 10$$

$$\frac{F}{S} = \text{gaya penarikan persatuan luas pemotongan (kg/dm}^2\text{)}$$

0,85 = harga rata-rata parameter yang tergantung pada geometri pemotongan.

C = Kohesi tanah (kg/dm²)

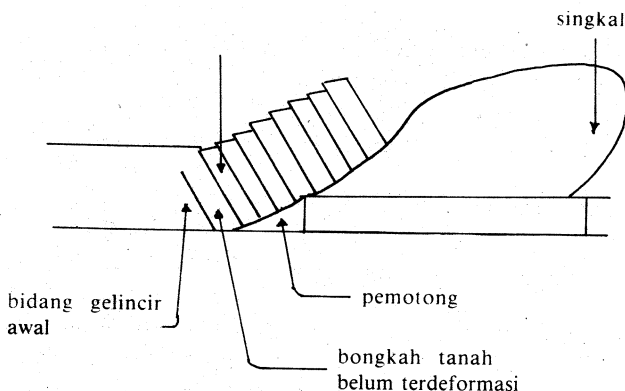
ϕ = Sudut gesek dalam.

Gaya penarikan bajak meningkat bila harga C dan φ makin besar.

Operasi pemotongan tanah oleh alat pengolah tanah akan menimbulkan bidang gelincir pada tanah yang berada di bagian depan alat. Misalnya dalam hal pembajakan tanah, struktur awal tanah pada umumnya masih cukup padat. Tanah akan menderita gaya geser dibawah gaya normal yang relatif kecil (akibat berat tanah sendiri) di sepanjang bidang patahan, sehingga akan diperoleh decohesi yang

diikuti oleh peningkatan porositas. Analisa teori secara lengkap fenomena di atas cukup rumit karena bagian pemotong diikuti oleh singkal yang memiliki bentuk sangat kompleks dan tanah bergerak menuju ke atas.

Dengan gerakan tanah seperti itu, tanah akan terpotong-potong dalam bentuk cacahan yang berdampingan (lihat gambar).



Jumlah cacahan tanah tergantung pada bentuk alat dan watak deformasi tanah. Jika tanah ada dalam keadaan lembab dan plastis deformasi tanah relatif besar, sehingga potongan tanah terjadi tanpa patahan (retakan) dan hasil yang diperoleh jelek. Jika tanah terlalu kering, cohesi tanah besar, deformasi terbatas dan gaya pemotongan sangat besar. Sementara itu hasil yang diperoleh berupa blok-blok tanah yang besar. Antara dua kondisi ekstrim tersebut terdapat kondisi yang optimum yang ditandai oleh decohesi

yang baik dan gaya pemotongan yang tidak terlalu besar.

Tiap potongan tanah bergerak naik mengikuti kelengkungan singkal dan menderita gaya geser (tegak lurus bidang sebelumnya) sehingga akan terpecah-pecah menjadi bagian yang lebih kecil. Fenomena tersebut tergantung pada geometri alat, ukuran irisan tanah dan karakteristik hubungan deformasi-tegangan pada tanah. Fenomena inipun juga sangat kompleks.

Di samping faktor-faktor di atas,

juga ada gaya dinamis yang timbul karena benturan dan inersi material yang menderita percepatan transversal terhadap arah gerak alat. Gaya dinamis ini relatif besar pada kondisi tanah kering dan kecepatan maju yang tinggi. Fenomena tersebut sangat sulit dipelajari dengan kerangka teori mekanika klasik.

Dengan proses seperti diuraikan di atas, akan diperoleh peningkatan porositas pada tanah yang dibajak. Tetapi peningkatan porositas akibat geseran tanah pada umumnya tidak terlalu besar. Hanya dengan gaya dinamis, tingkat pengemburukan dapat diperbesar.

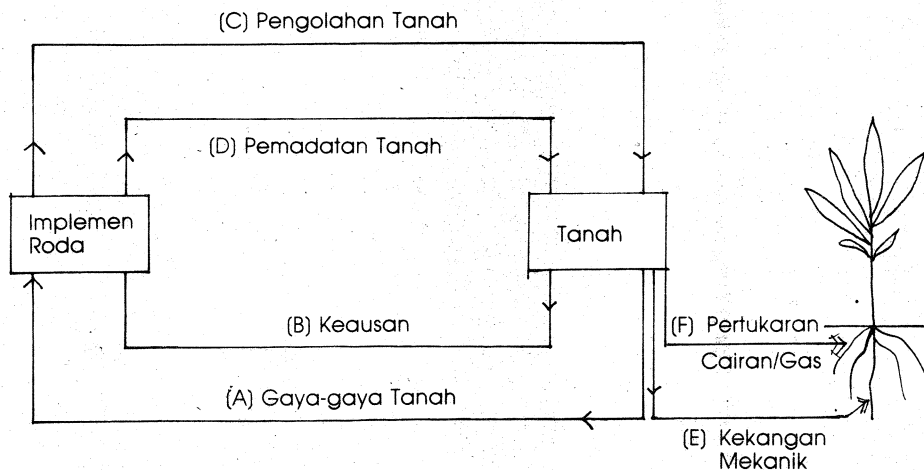
Keterbatasan Penggunaan Teori Mekanika Tanah Klasik Dalam Interaksi Mesin Tanah

Teori mekanika tanah klasik dikembangkan terutama untuk menyelesaikan persoalan-persoalan dalam bidang teknik sipil yang pada prinsip-

nya adalah persoalan pematihan tanah pada tingkat tegangan yang rendah. Selain itu, di dalam teori mekanika tanah klasik, tanah dianggap jenuh homogen dan isotrop yang tidak sepenuhnya sama dengan kondisi tanah pertanian (lahan kering) pada umumnya. Dengan demikian pemahaman terhadap watak tanah pertanian tidak seratus persen dapat dijelaskan dengan teori tersebut.

Blok diagram di bawah ini menggambarkan secara sederhana interaksi antara tiga komponen dasar suatu produksi tanaman. Sumbangan yang dapat diberikan oleh mekanika tanah klasik terbatas hanya pada interaksi (A) yang dapat disebut sebagai gaya-gaya tanah.

Metoda mekanika tanah klasik terbatas pada analisa beban pada tanah dan tidak berhubungan dengan watak geser tanah sebelum atau setelah terjadi patahan. Dengan demikian fenomena mekanik yang dapat diung-



kap dari suatu proses kerja alat tertentu didalam tanah menjadi sangat terbatas (C, D). Kegiatan pengolahan tanah dan pemadatan yang mungkin ditimbulkan berkaitan dengan runtuhnya tanah yang berakibat pada perubahan porositas tanah. Hal ini tidak dapat dijelaskan dengan konsep mekanika tanah klasik.

Meskipun demikian, teori mekanika klasik, yang pada prinsipnya dilandasi oleh teori Coulomb masih dapat digunakan untuk memperkirakan besarnya gaya-gaya pada problem dua dimensi, seperti halnya pemotongan tanah dengan blade lebar dan dalam lingkup terbatas problem tiga dimensi, seperti chisel dan sebagainya, dengan asumsi dan penyederhanaan tertentu. Di samping itu, juga dapat digunakan untuk memperkirakan besarnya volume tanah yang dipengaruhi oleh suatu alat yang bekerja.

Perkembangan yang baru dalam teori mekanika tanah muncul setelah Prof. Roscoe dan kawan-kawan dari Universitas Cambridge mengembangkan teori Mekanika Tanah Kritis (Critical State of Soil Mechanics). Ide dari teori ini sesungguhnya untuk membuat sistem matematis yang terpadu yang mencakup tiga model tanah dengan tiga macam watak elastis, getas dan plastis dapat ditekan. Teori ini juga memberikan cara-cara untuk menentukan model matematis mana yang tepat untuk digunakan.

Selain itu, hubungan antara tegangan tanah dan perubahan porositas juga dicakup dalam teori ini sehingga dapat digunakan untuk mengungkap problem pengolahan tanah dan pemadatan akibat lintasan mesin pertanian.