

## KEPADATAN TANAH OLEH DUA JENIS FORWARDER DALAM PEMANENAN HUTAN

Matangaran, J R., dan Suwarna, U.

Departemen Manajemen Hutan Fakultas Kehutanan  
Institut Pertanian Bogor; Kampus IPB Darmaga Bogor  
E-mail: [jrmatangaran@yahoo.com](mailto:jrmatangaran@yahoo.com)

### ABSTRAK

Mesin-mesin seperti *bulldozer* dan *forwarder* pada operasi pemanenan hutan digunakan untuk penyaradan kayu dari tunggak sampai ke Tempat Pengumpulan Kayu (TPn). *Forwarder* digunakan dalam operasi pemanenan hutan berupa penyaradan kayu di areal Hutan Tanaman Industri (HTI) di Indonesia. Penggunaan *forwarder* dalam penyaradan kayu di hutan menyebabkan kepadatan tanah, dan tentunya tanah padat tersebut akan berpengaruh buruk terhadap pertumbuhan tanaman. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis kepadatan tanah yang disebabkan oleh dua jenis *forwarder*, menganalisis hubungan antara jumlah lintasan *forwarder* terhadap peningkatan kepadatan tanah dan menganalisis respon pertumbuhan *Acacia mangium* pada tanah padat. Penelitian ini menggunakan *forwarder Timberjack 1010b* dan *forwarder Valmet 860.1*. Pengukuran dilakukan terhadap nilai *bulk density* pada permukaan tanah, dan *cone index* pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 50 cm pada areal *Acacia mangium* yang sedang dipanen. Pengukuran tinggi tanaman *Acacia mangium* dilakukan pada tanaman yang telah berumur 6 bulan ditanam di areal bekas operasi kedua *forwarder* tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *bulk density* meningkat dengan semakin bertambahnya lintasan *forwarder*. Terdapat perbedaan tingkat kepadatan tanah akibat melintasnya *forwarder Timberjack 1010b* dan *Valmet 860.1*. *Forwarder Valmet* menyebabkan kepadatan tanah yang lebih tinggi dibandingkan *forwarder Timberjack*. Nilai maksimum kepadatan tanah terjadi setelah 6 kali *forwarder Valmet* melintas dan 8 kali *forwarder Timberjack* melintas. *Cone index* menunjukkan kecenderungan meningkat mulai dari permukaan tanah sampai 50 cm kedalaman tanah. Tanah padat menghambat pertumbuhan *Acacia mangium*.

Kata kunci: Kepadatan tanah, *forwarder Timberjack*, *forwarder Valmet*, *Acacia mangium*

## SOIL COMPACTION CAUSED BY TWO TYPES OF FORWARDER IN FOREST HARVESTING

### ABSTRACT

Heavy machines such as bulldozer and forwarder are used to harvest logs from stump to landing site. Forwarder is used at industrial forest plantation area in Indonesia. Using forwarder in timber harvesting cause soil compaction. Compacted soils is considered unfavorable for the plant growth. The research objectives were to analyze the soil bulk density caused by two types of forwarder, to analyze the relation between several times of forwarder passes to the increase of soil bulk density, and to analyze the growth response of *Acacia mangium* at soil compacted. Forwarder Timberjack 1010b and Valmet 860.1 was used in this research. Soil bulk density at soil surface ,and cone index from soil surface to the 50 cm depth of soil were measured at the harvested area. After six months grew in the field, the height of *Acacia mangium* were measured at the area. The result showed that soil bulk density increase with the increase of the forwarder passes. Forwarder Valmet effected soil bulk density higher than Timberjack forwarder. Maximum soil bulk density occurred after 6 times forwarder Valmet passed and 8 times of forwarder Timberjack passed. The cone index tended to increase from the surface until 50 cm depth of soil. Compacted soil inhibited the grow of *Acacia mangium*.

Key words: Soil compaction, forwarder Timberjack, forwarder Valmet, *Acacia mangium*

## PENDAHULUAN

Peralatan berat untuk penyaradan kayu yang digunakan dalam pemanenan hutan umumnya masih diimpor. Pemilihan peralatan tersebut lebih difokuskan kepada kinerja produktivitas penyaradan. Sementara itu dampak terhadap kerusakan lingkungan sangat kurang diperhatikan. Umumnya penggunaan peralatan tersebut merusak tanah hutan baik berupa terbukanya lapisan permukaan tanah maupun terjadinya pemadatan tanah. Terbukanya lapisan permukaan tanah akan meningkatkan erosi dan sedimentasi, serta pemadatan tanah mengakibatkan infiltrasi air berkurang sehingga aliran permukaan menjadi besar yang pada akhirnya menyebabkan banjir dan erosi.

Penggunaan *forwarder* dalam operasi penyaradan di areal Hutan Tanaman Industri (HTI) menyebabkan pemadatan tanah hutan yang cukup parah berat *forwarder* ditambah muatan dimana seluruh kayu tidak menyentuh permukaan tanah tetapi dimuat didalam bak *forwarder* mengakibatkan *ground pressure* pada permukaan tanah akan sangat besar yang pada akhirnya menyebabkan pemadatan tanah yang sangat intensif. HTI di Indonesia seluas 2,3 juta hektar (Iskandar, dkk. 2003) saat ini sebagian telah masak tebang dan sedang dipanen. Pemanenan HTI tersebut umumnya menggunakan *forwarder* maupun *skidder* untuk penyaradan kayu dari tunggak ke Tempat Pengumpulan Kayu (TPn).

Penggunaan *forwarder* untuk operasi penyaradan di areal hutan tanaman menyebabkan kerusakan tanah berupa pemadatan tanah dan menurunnya porositas tanah. Manuver *forwarder* menyebabkan terbentuknya cekungan yang dalam pada bekas jejak ban (*rut/rutted*), serta terbukanya lapisan permukaan tanah (*top soil*) yang menunjukkan kerusakan tanah yang cukup parah akibat operasi alat berat berupa *forwarder* tersebut (Aruga *et al.*, 2001; Eliasson, 2005; Sakai *et al.*, 2008).

Setiap lintasan alat berat cenderung menyebabkan terjadinya pemadatan tanah pada bekas lintasan ban tersebut dan akan semakin bertambah padat pada lintasan berikutnya (Matangaran & Kobayashi, 1999).

Penggunaan alat berat menyebabkan meningkatnya kerapatan massa tanah (*bulk density*), berkurangnya total ruang pori, berkurangnya laju infiltrasi, berkurangnya permeabilitas tanah, berkurangnya kapasitas tampung air dan berubahnya struktur butir tanah (Diazjunior, 2003). Tingkat kepadatan tanah disebabkan oleh jumlah rit yang dilewati traktor, berat traktor, tipe ban atau roda, tekanan ban terhadap tanah, kandungan air tanah, dan kecepatan traktor (Marsili *et al.*, 1998).

Terdapat hubungan antara intensitas penyaradan kayu dan peningkatan kepadatan tanah hutan. Makin tinggi intensitas penyaradan makin meningkat kepadatan tanah. Pada awal rit sampai dengan 4 atau 5 rit terjadi peningkatan kepadatan tanah yang drastis tetapi selanjutnya relatif konstan (Matangaran *et al.*, 2000; Matangaran *et al.*, 2006<sup>(b)</sup>; Diazjunior, 2003). Penggunaan alat berat dalam operasi penyaradan menyebabkan kehilangan material tanah dan terjadinya cekungan permukaan tanah (*rutted*) pada hutan di Belgia (Herbauts *et al.*, 1996)

Akibat terpadatkannya tanah hutan maka perakaran pohon terganggu yang pada akhirnya produktivitas panen akan berkurang (Coder, 2000). Persen penurunan laju pertumbuhan pohon *Pinus ponderosa* dapat mencapai 50% akibat pemadatan tanah. Pertumbuhan perakaran pada jenis *Eucalyptus diversicolor* di Australia terganggu akibat dari penggunaan *forwarder* dan *skidder* pada hutan tanaman (Wronski, 1984). Pemadatan tanah secara signifikan terjadi pada penggunaan *forwarder*, *skidder*, dan *processor* di beberapa lokasi hutan tanaman di Jepang (Matangaran *et al.*, 2000; Matangaran *et al.*, 2006<sup>(a)</sup>, Matangaran *et al.*, 2006<sup>(b)</sup>). Pertumbuhan anakan jenis meranti (*Shorea selanica*) sangat terganggu pada tingkat kepadatan tanah 1,2 g.cm<sup>-3</sup> (Matangaran & Kobayashi, 1999; Matangaran, 2002). Penelitian Wasis (2006) di areal HTI di Sumatera Selatan menunjukkan penurunan kualitas tempat tumbuh pada rotasi kedua pemanenan diakibatkan selain kebakaran hutan juga karena aktivitas pemanenan berupa penyaradan kayu menggunakan *forwarder*. Pertumbuhan anakan *Dryobalanops lanceo-*

*lata* dan *Shorea leprosula* terganggu akibat miskinnya bahan organik di bekas jalan sarad (Nussbaum *et al.*, 1995). Hasil penelitian Jusoff (1996) menunjukkan bahwa pemulihan kepadatan tanah pada jalan sarad di Pahang Malaysia memerlukan rata-rata waktu 19 tahun.

Mengingat besarnya dampak negatif yang ditimbulkan, maka dilakukan penelitian untuk menganalisis pengaruh pemadatan tanah dan respon pertumbuhan tinggi tanaman *Acacia mangium* pada areal bekas penyaradan kayu oleh dua jenis *forwarder*. Pemilihan jenis tanaman *Acacia mangium* dilakukan mengingat jenis ini adalah jenis yang paling banyak ditanam di areal HTI dan digunakan sebagai bahan baku industri pulp dan kertas. Pertumbuhan tinggi, diameter, volume pohon adalah variabel pertumbuhan yang dipengaruhi oleh tingkat kepadatan tanah (Froehlich *et al.*, 1986). Penelitian Matangaran (2004) menunjukkan kepadatan tanah berpengaruh nyata pada respon pertumbuhan tinggi tanaman yang berumur muda, selain respon kedalaman penetrasi akar.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbedaan kepadatan tanah yang terjadi akibat penyaradan kayu di areal HTI oleh *forwarder Timberjack 1010b* dan *forwarder Valmet 860.1*, menganalisis hubungan jumlah lintasan *forwarder* terhadap peningkatan kepadatan tanah, dan menganalisis pertumbuhan *Acacia mangium* pada tanah yang telah terpadatkan akibat operasi *forwarder*.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan, Alat, dan Lokasi Penelitian

Bahan atau alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah dua jenis *forwarder* dengan spesifikasi yang berbeda. Berikut perbedaan *forwarder Timberjack 1010b* dan *forwarder Valmet 860.1* - Tabel 1, dan bentuk kedua alat tersebut Gambar 1.

Alat lain yang digunakan pada penelitian lapangan adalah *cylinder soil sampler* untuk mengukur kerapatan massa tanah, *cone penetrometer* untuk mengukur nilai *cone index* yang merupakan besarnya tahanan penetrasi tanah, dan meteran untuk

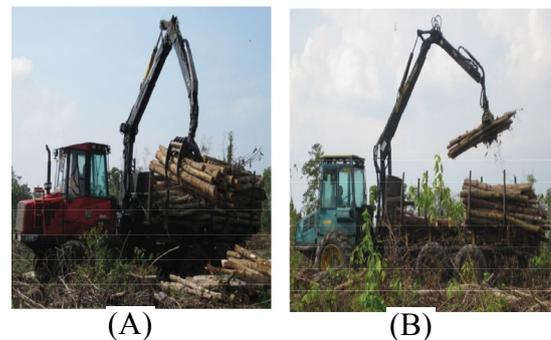
Tabel 1. Spesifikasi *forwarder Timberjack 1010b* dan *forwarder Valmet 860.1*\*

Spesifikasi	<i>Forwarder Timberjack 1010b</i>	<i>Forwarder Valmet 860.1</i>
Jenis Mesin	<i>Cumming 4BTA 4 cylinder turbocharged diesel engine</i>	<i>Valmet 620DWRE 6cylinder turbo diesel engine</i>
Tenaga mesin	82 kW (110HP)	140 kW (190 HP)
Berat	13,15 ton	15,9 ton
Berat muatan maksimum	10 ton	14 ton
Dimensi Panjang	9,05 m	9,17 m
Dimensi Tinggi	3,70 m	3,78 m
Muatan kayu maks **)	10 m <sup>3</sup>	14 m <sup>3</sup>

Keterangan:

\*) Sumber: *Technical data Timberjack 1010b* (Timberjack, 2011) & *Valmet* (Partek F, 2011)

\*\*) data primer



Gambar 1. (A) *Forwarder Valmet 860.1*; (B) *Forwarder Timberjack 1010b* (Matangaran, JR)

mengukur tinggi tanaman *Acacia mangium*. Lokasi penelitian pada salah satu areal Hutan Tanaman Industri yang ditanami *Acacia mangium* di Sumatera Selatan.

### Metode Pengukuran

Lokasi pengukuran dilakukan pada dua lokasi yang sedang dilakukan penebangan yang berdampingan dimana lokasi pertama memakai alat penyaradan kayu berupa *forwarder Timberjack 1010b* dan lokasi kedua memakai *forwarder Valmet 860.1*.

Pengukuran kepadatan tanah dilapangan dilakukan dengan cara menentukan lokasi pengukuran dengan mengikuti proses pemanenan kayu yang sedang berlangsung. Pengamatan dilakukan terhadap perjalanan *forwarder* mulai dari memasuki petak tebang memuat kayu sampai kembali ke Tempat Pengumpulan Kayu (TPn) dan membongkar kayu di TPn tersebut. Setiap lintasan *forwarder* diberi tanda dengan telah melintas 1 kali, 2 kali dan seterusnya sampai dengan 8 kali melintas pada jalan yang sama. Hasil pengamatan menunjukkan pada lokasi terjauh dari TPn lintasan *forwarder* hanya 1 kali, lokasi di tengah yaitu antara TPn dan lokasi terjauh jumlah lintasan mulai dari 2 sampai 7 kali dan selanjutnya lokasi dekat dari TPn sampai dengan 8 kali lintasan bahkan lebih. Pengukuran kepadatan massa tanah di dilakukan mulai dari lokasi tanah yang mengalami lintasan 1 sampai dengan 8 kali, di TPn, dan pada tanah yang tidak dilintasi sebagai kontrol. Ulangan pengukuran dilakukan 10 kali dengan jarak setiap 3 meter dilakukan pengukuran menggunakan *soil ring sampler* maupun *cone penetrometer*. Pengukuran *bulk density* dilakukan dengan penimbangan setiap contoh uji dilapangan dan dibawa ke laboratorium tanah untuk pengukuran kadar air tanahnya dan pengukuran sifat fisik tanah lainnya. Pada lokasi yang sama dengan pengukuran *bulk density*, dilakukan pengukuran terhadap tahanan penterasi dengan menggunakan *cone penetrometer* untuk mengetahui besarnya *cone index* pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 50 cm. *Cone index* merupakan gambaran tingkat kepadatan tanah dari besarnya resistensi yang diterima permukaan kerucut *cone penetrometer*. Semakin besar nilai *cone index* semakin padat tanah tersebut.

Di lokasi tanaman *Acacia mangium* yang telah berumur 6 bulan dilakukan pengukuran *bulk density*, dan *cone index* pada tanah disekitar pohon tersebut serta mengukur tinggi pohon *Acacia mangium*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui respon pertumbuhan tanaman *Acacia mangium* pada tanah yang telah terpadatkan akibat operasi *forwarder*. Pengukuran tinggi

pohon dilakukan sebanyak 70 pohon *Acacia mangium*. Pengukuran tinggi pohon *Acacia mangium* yang masih berumur muda tersebut dilakukan atas pertimbangan bahwa berdasarkan observasi lapangan menunjukkan terdapat perbedaan tinggi yang jelas antara dua areal yang dipanen oleh jenis *forwarder* yang berbeda. Peubah pertumbuhan lainnya seperti diameter pohon untuk tanaman yang masih muda tersebut relatif sama.

### Perhitungan kepadatan tanah

Kerapatan massa tanah yang diukur dengan menggunakan *cylinder soil sampler*. Menggunakan rumus sebagai berikut (Koga, 1991; Craig, 2004): Kerapatan massa tanah dihitung berdasarkan rumus-rumus berikut:

$$\gamma_s = \frac{W_2 - W_1}{V}$$

Dimana :

$\gamma_s$  = Kerapatan massa tanah basah (g.cm<sup>-3</sup>)

$W_2$  = Berat tanah basah dan *cylinder soil sampler* (g).

$W_1$  = Berat *cylinder soil sampler* (g).

$V$  = Volume contoh tanah basah (cm<sup>3</sup>)

$$\gamma_d = \frac{\gamma_s \times 100}{100 + W}$$

Dimana :

$\gamma_d$  = Bulk density (g.cm<sup>-3</sup>)

$\gamma_s$  = Kerapatan massa tanah basah (g.cm<sup>-3</sup>)

$W$  = Kadar air contoh tanah (%)

$$W = \frac{(W_2 - W_1) - W_3}{W_3} \times 100\%$$

Dimana :

$W$  = Kadar air contoh tanah (%)

$W_2 - W_1$  = Berat contoh tanah basah (g)

$W_3$  = Berat contoh tanah kering (g)

*Cone penetrometer* ditekan kedalam tanah mulai dari permukaan tanah dan setiap masuk 10 cm sampai dengan kedalaman 50 cm dilakukan pembacaan jarum penunjuk besarnya resistensi tanah yang diterima pada permukaan *cone* (kerucut). Nilai pembacaan tersebut dimasukkan dalam formula untuk

menghitung nilai *cone index* atau tahanan penetrasi sebagai berikut (Tada, 1987):

$$\bar{P} = \frac{(F_p \times 0.384) + W}{A_k}$$

Dimana:

$T_p$  = Tahanan penetrasi/ *cone index* (kgf.  $\text{cm}^{-2}$ )

$F_p$  = Gaya penetrasi terukur pada jarum penetrometer (kgf)

$W$  = Berat alat cone penetrometer

$A_k$  = Luas penampang cone/kerucut sebesar  $3,23 \text{ cm}^2$ .

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem pemanenan dilakukan secara tebang habis dengan menggunakan *chainsaw*, kemudian pengeluaran kayu dari petak tebang ke TPN menggunakan *forwarder*. Forwarder yang digunakan adalah *forwarder Timberjack 1010b* dan *forwarder Valmet 860.1*. Topografi lapangan relatif datar dengan kelerengan antara 0 sampai 8 %, jenis tanah ultisol dengan tekstur tanah berliat terdiri dari 13,24% pasir, 32,63 % debu dan 54,13 % liat.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kepadatan tanah pada kondisi tidak dilintasi *forwarder* (kontrol) adalah sebesar  $0,98 \text{ g.cm}^{-3}$ , sedangkan nilai maksimum kepadatan tanah akibat lintasan *forwarder* adalah  $1,31 \text{ g.cm}^{-3}$  untuk *forwarder Timberjack* dan  $1,32 \text{ g.cm}^{-3}$  pada lintasan *forwarder Valmet*. Hal

ini menunjukkan terjadinya peningkatan kepadatan tanah sebesar 33,67% akibat lintasan *forwarder Timberjack 1010b* dan 34,68% akibat lintasan *forwarder Valmet 860.1*. Pada awal lintasan yaitu lintasan pertama sampai dengan keempat kedua jenis *forwarder* tersebut menyebabkan terjadinya peningkatan kepadatan tanah yang cukup drastis. Kepadatan awal  $0,98 \text{ g.cm}^{-3}$  menjadi  $1,14 \text{ g.cm}^{-3}$  pada *forwarder Timberjack* dan  $1,18 \text{ g.cm}^{-3}$  pada *forwarder Valmet* menunjukkan persen peningkatan sebesar 16,33% dan 20,41% dari kondisi tidak dilintasi *forwarder*. *Bulk density* mencapai nilai maksimum terjadi pada lintasan ke 6 pada penyaradan kayu oleh *forwarder Valmet* dan ke 7 untuk *forwarder Timberjack* (Tabel 2).

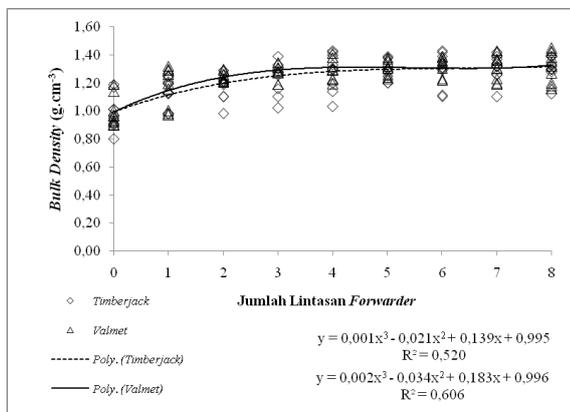
Kepadatan tanah yang ditunjukkan oleh nilai *bulk density* akan bertambah besar dengan semakin banyaknya lintasan alat berat berupa *forwarder* (Gambar 1), tanah akan semakin terpadatkan dan porositas tanahpun akan semakin berkurang (Gambar 2). *Bulk density* yang terjadi akibat lintasan *forwarder Timberjack 1010b* pada lintasan awal lebih kecil dibandingkan dengan *forwarder Valmet 860.1*. Pada lintasan kelima, keenam dan seterusnya besarnya *bulk density* akibat kedua jenis *forwarder* tersebut sama besar. Perbedaan besarnya *bulk density* diawal lintasan alat berat tersebut diduga diakibatkan karena beban muatan yang berbeda antara

Tabel 2. *Bulk density* ( $\text{g.cm}^{-3}$ ) tanah hutan akibat lintasan alat pemanenan kayu *forwarder Timberjack 1010b* dan *Valmet 860.1*

Jumlah lintasan <i>forwarder</i> (x dilintasi)	<i>Bulk density</i> tanah ( $\text{g.cm}^{-3}$ ) untuk jenis <i>forwarder</i>		Peningkatan <i>bulk density</i> terhadap kondisi sebelum dilintasi (%)	
	<i>Timberjack 1010b</i>	<i>Valmet 860.1</i>	<i>Timberjack 1010b</i>	<i>Valmet 860.1</i>
tidak dilintasi	0,98±0,12	0,98±0,10	0,00	0,00
1	1,14±0,10	1,18±0,14	16,33	20,41
2	1,19±0,10	1,24±0,04	21,43	26,53
3	1,24±0,11	1,28±0,06	26,53	30,61
4	1,28±0,13	1,30±0,07	30,61	32,65
5	1,30±0,07	1,31±0,05	32,65	33,67
6	1,30±0,11	1,32±0,07	32,65	34,69
7	1,31±0,09	1,32±0,09	33,67	34,69
8	1,31±0,08	1,32±0,11	33,67	34,69

*forwarder Timberjack 1010b* dan *forwarder Valmet 860.1*. Kapasitas maksimum muat kayu *forwarder Timberjack 1010b* adalah  $10\text{m}^3$  sedangkan *forwarder Valmet 860.1* kapasitas muat kayu maksimumnya sebesar  $14\text{ m}^3$ . Kapasitas muat kayu berpengaruh besar terhadap *ground pressure* pada roda *forwarder* terhadap permukaan tanah. Makin tinggi *ground pressure* maka makin besar kepadatan tanah yang terjadi.

Hubungan *bulk density* pada Gambar 2 menunjukkan nilai  $R^2$  sekitar 50% sampai dengan 60%. Pengukuran *bulk density* menggunakan *cylinder soil sampler* dilapangan sering mengalami kesulitan ketika memasukkan *cylinder soil sampler* kedalam tanah. Hal ini menyebabkan variasi data yang cukup besar. *Cylinder soil sampler* sering mengenai akar atau batuan, atau didalam contoh tanah yang diambil terdapat batu atau akar pohon. Hal ini mempengaruhi perhitungan kepadatan tanah (*bulk density*) karena yang dihitung termasuk kerapatan akar atau batu.



Gambar 2. Hubungan *Bulk density* terhadap jumlah lintasan *forwarder Timberjack 1010b* dan *Valmet 860.1*.

Peningkatan kepadatan tanah seiring dengan intensitas jumlah alat berat yang melintas diatas permukaan tanah hutan juga ditunjukkan oleh penelitian Akay & Sessions (2001). Penelitian Lotfalian & Parsakhoo (2009) menunjukkan tingkat kepadatan maksimum dicapai setelah 18 kali *skidder* melintas dan mencapai *bulk density* sebesar  $1,6\text{ g.cm}^{-3}$ . Perbedaan

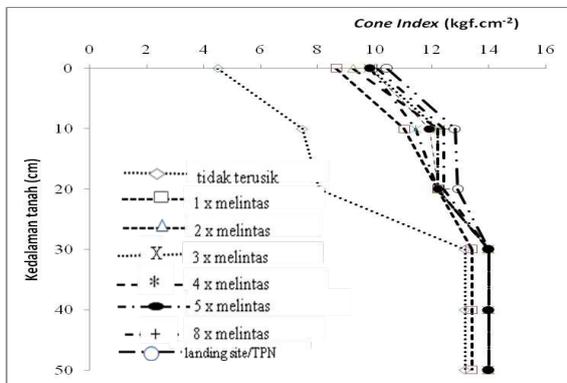
hasil penelitian tersebut dengan hasil penelitian ini disebabkan karena jenis alat berat yang berbeda. Terdapat perbedaan besarnya *ground pressure* kedua jenis alat tersebut. *Ground pressure* yang lebih kecil menyebabkan jumlah lintasan lebih banyak untuk mencapai kepadatan yang maksimum. Kepadatan tanah yang semakin tinggi meninggalkan jejak dipermukaan tanah yang disebut *rut* atau *rutted*. *Rut* semakin dalam dengan meningkatnya intensitas melintasnya alat berat (Sakai *et al.*, 2008).

Pengukuran kepadatan tanah selain menggunakan *cylinder soil sampler* yang ditunjukkan dengan nilai *bulk density*, pengukuran kepadatan tanah juga dapat menggunakan *cone penetrometer* yang ditunjukkan oleh nilai *cone indeks*. *Cone penetrometer* merupakan alat ukur yang cukup praktis dibandingkan *cylinder soil sampler*. *Cone penetrometer* dapat secara cepat menggambarkan nilai kepadatan tanah dan pengukuran dapat dilakukan pada berbagai titik di atas permukaan tanah sampai kedalaman tertentu tanpa harus menggali tanah. Kekurangan alat ini adalah pada saat pembacaan besarnya nilai resistensi tanah yang memerlukan ketelitian karena jarum penunjuk yang terus bergerak sehingga dapat terjadi bias saat pembacaan besarnya nilai *cone index*.

Hasil pengukuran dengan menggunakan *cone penetrometer* menunjukkan nilai *cone index* semakin besar dengan semakin dalamnya tanah. Hal ini menunjukkan bahwa semakin dalam semakin padat tanah tersebut walaupun dalam kondisi tidak terusik atau tidak dilintasi *forwarder* (Gambar 2 dan 3). Kepadatan yang semakin meningkat ini terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman tertentu. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa *ground pressure forwarder* yang diterima oleh permukaan tanah menyebabkan peningkatan kepadatan tanah mulai dari permukaan tanah sampai dengan kedalaman tanah 50 cm. Pada Gambar 3 dan 4 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kepadatan tanah yang meningkat secara tajam pada jumlah lintasan sebanyak 4 kali melintasnya *forwarder*. Kepadatan tanah meningkat secara tajam sampai dengan

kedalaman 30 cm, dan selanjutnya terjadi sedikit peningkatan sampai mendekati konstan pada lintasan lebih dari 5 kali serta pada kedalaman 40 cm dan 50 cm.

Perbedaan tingkat kepadatan tanah akibat melintasnya *forwarder Timberjack* dan *forwarder Valmet* menunjukkan nilai maksimum *cone index* masing-masing sebesar 13 kgf.cm<sup>-2</sup> untuk *forwarder Timberjack* dan 14 kgf.cm<sup>-2</sup> untuk *forwarder Valmet* 860.1. Perbedaan ini disebabkan karena kapasitas muat yang berbeda yang menyebabkan beban pada roda juga berbeda dimana *forwarder Timberjack* hanya memuat maksimum 10 m<sup>3</sup> kayu dan *forwarder Valmet* 14 m<sup>3</sup> kayu (Gambar 2 dan 3).

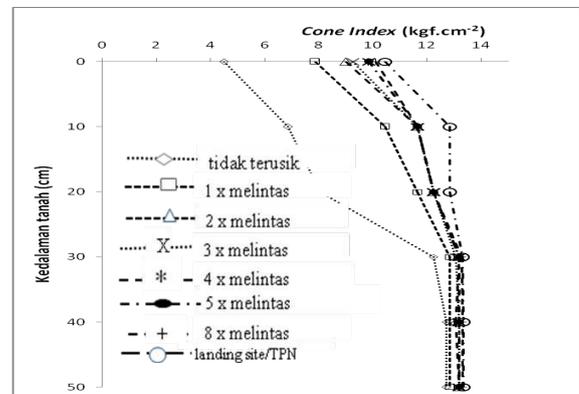


Gambar 3. Nilai *cone index* pada permukaan dan kedalaman tanah terhadap jumlah lintasan *forwarder Timberjack*, tanah tidak terusik dan pada TPn

Kepadatan tanah pada Tempat Penimbunan Kayu (TPn) adalah paling tinggi dibandingkan dengan tanah yang dilintasi *forwarder*. Kepadatan tanah yang ditunjukkan oleh nilai *cone index* di TPn adalah sebesar 10,4 kgf.cm<sup>-2</sup> pada permukaan tanah dan 14,04 kgf.cm<sup>-2</sup> pada kedalaman 40 cm dan 50 cm (Gambar 2 dan 3).

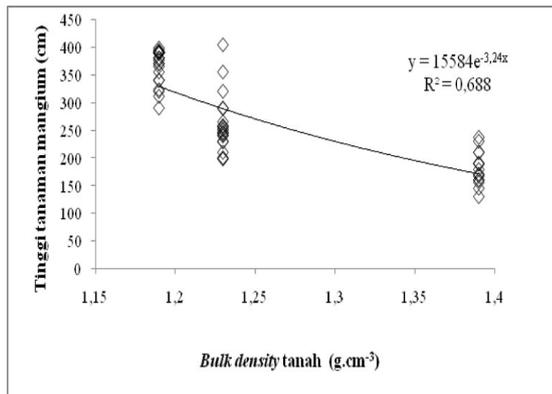
Hasil penelitian Sakai *et al.* (2008) menunjukkan bahwa nilai *cone index* maksimum terjadi setelah *forwarder* melintas sebanyak 8 kali. Perbedaan hasil penelitian ini diduga karena jenis dan kapasitas muat *forwarder* yang digunakan berbeda. Muatan kayu yang banyak ini menjadi beban yang didistribusikan pada permukaan roda *forwarder* yang menyebabkan kepadatan tanah menjadi lebih besar.

Pengukuran pertumbuhan tanaman *Acacia mangium* yang berumur 6 bulan setelah ditanam di lapangan menunjukkan perbedaan tinggi pada beberapa kondisi kepadatan tanah. Semakin padat tanah semakin rendah tinggi tanaman (Gambar 4). Pada lokasi sisi jalan bekas TPn dengan kepadatan tanah sekitar 1,39 g.cm<sup>-3</sup> terjadi pertumbuhan tanaman yang kurang baik dibandingkan dengan tanah dengan kepadatan yang lebih rendah. Tinggi tanaman rata-rata sebesar 180,8 cm pada TPn dengan tingkat kepadatan tanah 1,39 g.cm<sup>-3</sup>, sedangkan pada kepadatan tanah 1,19 g.cm<sup>-3</sup> tinggi rata-rata tanaman *Acacia mangium* adalah 366,5 cm (Tabel 3).



Gambar 4. Nilai *cone index* pada permukaan dan kedalaman tanah terhadap jumlah lintasan *forwarder Valmet*, tanah tidak terusik dan TPn

Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah yang padat menyebabkan pertumbuhan semai akan terganggu (Matangaran, 1999). Menurut Coder (2000) kepadatan tanah berpengaruh negatif terhadap pertumbuhan akar tanaman ke arah *longitudinal* (kedalam tanah) maupun ke arah *radial* (arah kesamping) tanah. Penelitian Matangaran (2004) menunjukkan pertumbuhan tinggi tanaman muda terhambat pada tanah padat, selain berkurangnya kedalaman penetrasi akar. Hal ini akan menyebabkan proses penyerapan hara oleh akar akan terganggu dan terbatas yang pada akhirnya menyebabkan pertumbuhan semai maupun pohon akan terganggu atau mengalami pertumbuhan yang lebih lambat dibandingkan dengan pohon yang tumbuh ditanah yang lebih gembur.



Gambar 5. Hubungan tinggi tanaman *Acacia mangium* terhadap *bulk density* tanah.

Tabel 3. Rata-rata dan simpangan baku tinggi tanaman *Acacia mangium* terhadap *bulk density* dan *cone index* tanah.

<i>Bulk Density</i> (g.cm <sup>-3</sup> ) Rata-rata dan std dev	<i>Cone Index</i> (kgf.cm <sup>-2</sup> ) Rata-rata dan std dev	Rata-rata tinggi tanaman mangium (cm)
1,19±0,03	10,57 ± 1,12	366,5 ± 30,9
1,23±0,05	12,5 ± 1,69	257,2±48,8
1,39±0,08	12,99 ± 1,23	180,8±29,7

## SIMPULAN

Terdapat perbedaan tingkat kepadatan tanah akibat melintasnya *forwarder Timberjack 1010b* dan *Valmet 860.1*. *Forwarder Valmet* menyebabkan kepadatan tanah yang lebih tinggi dibandingkan *forwarder Timberjack*. Semakin banyak melintasnya *forwarder* maka semakin padat tanah hutan. *Forwarder Valmet* memberikan kepadatan maksimum pada 6 kali melintas sedangkan pada *forwarder Timberjack* pada lintasan ke tujuh. Semakin dalam tanah semakin besar nilai *cone index* dibandingkan dengan nilai *cone index* dipermukaan tanah. Semakin banyak lintasan *forwarder* maka semakin tinggi nilai *cone index* tanah pada kedalaman sampai dengan 50 cm. Tanah padat berpengaruh negatif terhadap pertumbuhan tinggi *Acacia mangium*. Semakin padat tanah semakin berkurang tinggi tanaman

dibandingkan dengan tanah yang kurang padat. Kepadatan tanah yang paling tinggi pada TPn menghambat pertumbuhan tinggi *Acacia mangium*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Kementerian Pendidikan Nasional, Ditjen Dikti atas biaya penelitian melalui Hibah Kompetensi. Terima kasih kepada Dr.Ir. Cipta Purwita atas izin penelitian di lapangan. Terimakasih atas bantuan pengukuran lapangan oleh Ujang Suwarna SHut,MScF.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akay, A. E. & Sessions, J. 2001. Minimizing road construction plus forwarding cost under a maximum soil disturbance constraint. Proceeding of the international mountain logging and 11<sup>th</sup> Pacific Northwest skyline symposium. University of Washington Seattle, Washington, Dec 10–12.
- Aruga, K., Matangaran, J.R., Nakamura, K., Sakurai, R., Iwaoka, M., Nitami, T., Sakai, H., & Kobayashi, H. 2001. Vehicle management system for forest environmental conservation. Proceeding of the first international precision forestry cooperative symposium. USDA Forest Service, Seattle, Washington, June 17–20.
- Coder, K.D. 2000. Soil Compaction Impact on Tree Roots. Georgia: Univ Georgia.
- Craig, R.F. 2004. Soil Mechanics. London and New York: Spon Press.
- Diazjunior, M. 2003. A Soil Mechanics Approach to Study Soil Compaction and Traffic Effect on the Pre consolidation Pressure of Tropical Forest. Lavras Brazil: Soil Sci.Fed Univ. Eliasson, L. 2005. Effect of forwarder tyre pressure on rut formation and soil compaction. *Silva Fennica*, 39(4):549–557.

- Froehlich, H.A., Miles, D.W.R., & Robbins, R.W. 1986. Growth of young *Pinus ponderosa* and *Pinus contorta* on compacted soil in Central Washington. *Forest Ecology and Management*, 15(4):285–294.
- Herbaut, J., Elbayad J., & Gruber, W. 1996. Influence of logging traffic on the hydromorphic degradation of acid forest soil developed on loessic loam in Middle Belgium. *Forest Ecology and Management*, 87 (1):193–207.
- Iskandar, U., Ngadiono, & Nugraha, A. 2003. *Hutan Tanaman Industri di Persimpangan Jalan*. Jakarta: Arivco Press.
- Jushoff, K. 1991. Effect of tracked on rubber-tyred logging machines on soil physical properties of the Berkelah Forest Reserve, Malaysia. *Pertanika*, 14(3): 265–276.
- Koga, K. 1991. *Soil Compaction in Agricultural Land Development*. Bangkok: Asian Institute of Technology.
- Lotfalian, M., & Parsakhoo, A. 2009. Investigation of forest soil disturbance caused by rubber-tired skidder traffic. *International Journal of Natural and Engineering Science*, 3 (1):72–75.
- Marsili, A., Servadio P., Pagliai, M., & Vignozzi, N. 1998. Change of some physical properties of a clay soil following passage of rubber and metal tracked tractors. *Soil and Tillage Research*, 49(3):185–199.
- Matangaran, J.R., Aruga, K., Sakurai, R., Iwaoka, M., & Sakai, H. 2006<sup>(a)</sup>. The recovery of soil compaction in the selection logged over area at Tokyo University Forest in Hokkaido. *Journal of The Japan Forest Engineering Society*, 21(1): 79–82.
- Matangaran, J.R., Aruga, K., Sakurai, R., Sakai, H., & Kobayashi, H. 2006<sup>(b)</sup>. Effects of multiple passes of tractor on soil bulk density a case study in the boreal natural forest of Tokyo University Forest in Hokkaido. *Journal of The Japan Forest Engineering Society*, 21 (3): 227–231.
- Matangaran, J.R. 2004. The Growth of mangium (*Acacia mangium* Willd.) and kayu afrika (*Maesopsis eminii* Engl.) on compacted soil. *Jurnal Teknologi Hasil Hutan*, XVII (2):51–59.
- Matangaran, J.R. 2002. Recovery of soil compaction on skidding trail. *Jurnal Teknologi Hasil Hutan*, XV (2):38–47.
- Matangaran, J.R., Iwaoka, M., Sakai, H., & Kobayashi, H. 2000. Soil compaction by a small sized processor, forwarder and skidder in timber harvesting. *Proceeding of XXI International Union Forestry Researchers Organization (IUFRO) World Congress*, Kuala Lumpur, 7–12.
- Matangaran, J.R., Iwaoka, M., Sakai, H., & Kobayashi, H. 1999. Soil compaction by a processor and forwarder on a thinning site. *Journal of the Japan Forest Engineering Society*, 14 (3): 209–212.
- Matangaran J.R., & Kobayashi, H. 1999. The effect of tractor logging on forest soil compaction and growth of *Shorea selanica* seedling in Indonesia. *Journal of Forest Research*, 4 (1): 13–15.
- Nussbaum, R., Anderson, J., & Spenser, T. 1995. Factor limiting the growth of indigenous tree seedling planted on degraded rain forest soil in Sabah Malaysia. *Forest Ecology and Management*, 74 (1-3):149–159.

- Partek, F. 2011. Just Forest Valmet 860. 1. [www.merimex.cz/underwood/download/files/TJ\\_1410b](http://www.merimex.cz/underwood/download/files/TJ_1410b). Diakses tanggal 5 Juli 2011.
- Tada, A. 1987. Bearing Capacity in Physical Measurement in Flooded Rice Soils. The Japanese Methodologies. Manila: International Rice Institute.
- Sakai, H., Nordfjell, T., Suadicani, K., Talbot, B., & Bollehuus, E. 2008. Soil compaction on forest soils from different kinds of tires and tracks and possibility of accurate estimate. Croatia Journal Forest Engineering, 29(1):15-27.
- Timberjack. 2011. Technical data forwarder timberjack 1010b. [www.merimex.cz/underwood/download/files/TJ1010B](http://www.merimex.cz/underwood/download/files/TJ1010B). Diakses tanggal 5 Juli 2011.
- Wasis, B., 2006. Perbandingan Kualitas Tempat Tumbuh Antara Daur Pertama dengan Daur Kedua Pada Hutan Tanaman *Acacia mangium* Willd. Disertasi. Fakultas Pasca Sarjana IPB.
- Wronski, E. B. 1984 . Impact of tractor thinning operation on soil and tree roots in a karri (*Eucalyptus diversicolor*) forest Western Australia. Australia Forest Research, 14(4): 319-332.