

PRODUKTIVITAS PEMUATAN KAYU MENGGUNAKAN EXCAVATOR GRAPPLE DI HUTAN TANAMAN INDUSTRI

*Productivity of Wood Loading Using Excavator Grapple in Industrial Plantation
Forest*

Muhammad Rasyid Assidiq¹, Ujang Suwarna², Irsya Muthia Muthmainnah^{2*}

(Diterima 24 Juni 2026 /Disetujui 28 Juni 2026)

ABSTRACT

*Timber loading is a crucial step in the industrial forest plantation harvesting chain because delays may affect subsequent harvesting activities. This study aimed to analyze loading techniques, working time, and productivity of timber loading using a grapple excavator in mineral and peatland ecosystems of PT Arara Abadi Industrial Plantation (HTI), Riau Province. A video-based stopwatch time study was conducted with 30 observation cycles per ecosystem. Results showed that loading techniques in mineral land were supported by stable ground conditions, enabling faster movement and smaller swing angles. In contrast, peatland operations required more cautious movements due to low soil bearing capacity and the presence of separation canals. The average cycle time in mineral land was 18.36 minutes with a working efficiency of 90.87%, while peatland required 30.71 minutes with an efficiency of 91.42%. Volumetric productivity reached 109.02 m³/hour in mineral land and 60.26 m³/hour in peatland. The difference was statistically significant based on the Mann–Whitney U test ($p < 0.001$) with a very large effect size ($r = 0.984$). Lower peatland productivity was associated with longer wood releasing and arranging duration (11.26 minutes/cycle), which was influenced by the less uniform morphology of *Acacia crassicarpa* logs and unstable peat conditions. Multiple linear regression indicated that the wood releasing and arranging element had the strongest partial relationship with productivity ($\beta = -0.626$; $p < 0.001$), with the model explaining 87.4% of productivity variation ($R^2 = 0.874$).*

Keywords: Mineral, peat, productivity, time study

¹ Alumnus Program Sarjana Program Studi Manajemen Hutan, Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

² Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

*Penulis korespondensi: Irsya Muthia Muthmainnah
e-mail: irsyamuthia@apps.ipb.ac.id

PENDAHULUAN

Pemuatan kayu (loading) menggunakan excavator grapple merupakan salah satu tahapan penting dalam sistem pemanenan kayu karena berperan sebagai penghubung antara proses penebangan di lapang dan pengangkutan menuju pabrik pulp. Berdasarkan dokumen Ringkasan Publik PT Arara Abadi tahun 2020 yang dipublikasikan sebagai bagian dari pelaporan kinerja pengelolaan hutan produksi lestari, perusahaan menetapkan target produksi sebesar 7.050.186,37 m³ yang dikelola pada dua ekosistem berbeda, yaitu ekosistem lahan mineral (dryland) dengan tegakan *Eucalyptus pellita* dan ekosistem lahan gambut (wetland) dengan tegakan *Acacia crassiparva*. Kelancaran kegiatan pemuatan menjadi penting karena transportasi kayu yang merupakan kegiatan setelahnya adalah salah satu komponen dengan biaya yang besar dalam sistem pemanenan, sehingga efisiensi dari setiap tahapan kegiatan pemanenan perlu dijaga untuk mendukung kelancaran kegiatan produksi (Epstein *et al.* 2007 dalam Jamhuri *et al.* 2021). Keterlambatan pada kegiatan pemuatan dapat memengaruhi kelancaran tahapan berikutnya dalam sistem pemanenan (Ghaffariyan 2021).

Kondisi operasional pada kedua ekosistem tersebut memiliki karakteristik yang berbeda. Pada lahan mineral, tegakan *Eucalyptus pellita* memiliki karakter batang cenderung lurus dan sedikit bercabang (Sulichantini 2016). Karakteristik tersebut diduga dapat mempermudah proses pemuatan kayu. Sebaliknya, lahan gambut memiliki karakteristik daya dukung tanah relatif rendah (Martini 2015). Kondisi tersebut secara logis menyebabkan pengoperasian alat berat yang lebih adaptif terhadap kondisi tapak. Selain itu, *Acacia crassiparva* memiliki tingkat kelurusan batang yang relatif lebih rendah dibandingkan beberapa jenis lain (Arnold dan Cuevas 2003) serta memiliki kecenderungan membentuk percabangan yang lebih banyak (Pajri *et al.* 2025).

Perbedaan kondisi tapak dan karakteristik tegakan mengindikasikan adanya potensi perbedaan produktivitas kegiatan pemuatan. Penelitian yang membandingkan produktivitas antar ekosistem masih terbatas. Ghaffariyan (2021) menyatakan bahwa produktivitas pemuatan kayu dipengaruhi oleh karakteristik muatan seperti ukuran log, panjang alat, volume muatan, dan jumlah log, tetapi belum secara spesifik membandingkan kondisi ekosistem yang berbeda. Fermana *et al.* (2019) meneliti tentang produktivitas dan biaya kegiatan pemanenan kayu *Eucalyptus*, termasuk tahap pemuatan, tanpa membedakan karakteristik lahannya. Linata *et al.* (2025) meneliti tentang analisis pada faktor operasional berupa jarak ekstraksi dan kemiringan lereng. Kesenjangan inilah yang menjadi dasar perlunya penelitian ini untuk mengukur waktu siklus dan produktivitas pemuatan kayu pada masing-masing ekosistem sebagai dasar penyusunan target produksi yang lebih baik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan membandingkan teknik pemuatan kayu pada masing-masing ekosistem, menganalisis waktu siklus pemuatan berdasarkan elemen kerja, menghitung waktu efektif dan waktu tunda pada masing-masing ekosistem, serta menghitung dan membandingkan produktivitas pemuatan kayu (m³/jam) berdasarkan faktor-faktor yang memengaruhi perbedaannya.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari–Februari 2026 di areal HTI PT Arara Abadi, Distrik Minas Rasau Kuning, Kabupaten Siak, Provinsi Riau. Data di lahan mineral (petak RSKA640201, RSKA236A01, RSKA172B01) dikumpulkan pada 29 Januari–6 Februari 2026, sedangkan data di lahan gambut (petak RSKA284C02, RSKA628A01, RSKA528D01, RSKA529A01) dikumpulkan pada 12–18 Februari 2026.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah kamera video, *stopwatch*, *tally sheet*, dan perangkat lunak SPSS 26. Unit observasi adalah *excavator grapple* Sumitomo SH130LF-6 (mesin ISUZU GG-4JJ1X, daya 70,9 kW, bobot operasional 15,8–16,4 ton) yang digunakan secara seragam oleh kedua kontraktor di masing-masing ekosistem.

Prosedur Pengumpulan dan Analisis Data

Metode yang digunakan adalah *stopwatch time study* berbasis rekaman video dengan jumlah pengamatan ditetapkan sebanyak 30 siklus per ekosistem, dengan mempertimbangkan prinsip teorema limit pusat bahwa distribusi sampling rata-rata sampel cenderung mendekati normal seiring bertambahnya ukuran sampel (Wu *et al.* 2006 dalam Nurudin *et al.* 2014). Unit analisis berupa siklus pemuatan dipilih karena variabel respons (durasi elemen kerja dan produktivitas) bervariasi pada level siklus, bukan pada level operator maupun alat. Namun demikian, siklus-siklus tersebut tidak sepenuhnya independen karena beberapa siklus berasal dari operator dan unit alat yang sama, sehingga uji Mann-Whitney U yang mengasumsikan independensi antarobservasi berpotensi melebihi tingkat signifikansi. Mengingat keterbatasan jumlah unit alat per ekosistem, pemodelan campuran dengan operator dan alat sebagai faktor acak tidak dapat diterapkan secara andal pada penelitian ini.

Terdapat alternatif untuk menganalisis sensitivitas dengan membandingkan produktivitas antarkontraktor di dalam ekosistem yang sama untuk menilai sejauh mana perbedaan operator memengaruhi pola hasil yang diperoleh. Analisis berbasis rekaman video dipilih karena memungkinkan peneliti menghentikan, memutar ulang, dan mengevaluasi kembali urutan aktivitas sehingga meningkatkan ketelitian identifikasi durasi elemen kerja (Szewczyk dan Sowa 2017). Satu siklus pemuatan terdiri dari empat elemen kerja produktif yang berulang, yaitu ayun kosong, menjepit kayu, ayun bermuatan, dan melepas merapikan kayu, ditambah waktu tunda, mengacu pada Apriansyah (2002). Efisiensi kerja dihitung sebagai rasio waktu efektif terhadap waktu siklus total.

Volume kayu per siklus diukur menggunakan metode stapel meter (sm) berdasarkan SNI 8911:2020. Setiap tumpukan kayu di atas bak truk diukur panjang dan lebar tumpukan, serta tinggi tumpukan pada dua titik (ujung depan dan ujung belakang bak truk) yang kemudian dirata-ratakan untuk mengoreksi ketidakrataan permukaan tumpukan akibat bentuk log yang tidak silindris sempurna; volume stapel meter dihitung sebagai hasil kali panjang $\times$ lebar $\times$ tinggi rata-rata. Pengukuran dimensi dilakukan satu kali per ritase segera setelah proses pemuatan selesai dan sebelum truk meninggalkan petak terbang. Volume stapel meter (sm) selanjutnya dikonversi menjadi volume padat (m^3) menggunakan faktor konversi tumpukan khusus spesies yang ditetapkan oleh Perusahaan, yaitu 0,67 untuk *Eucalyptus pellita* dan 0,59 untuk *Acacia crassicaarpa*. Faktor ini mengoreksi rongga kosong di antara batang akibat ketidakseragaman bentuk dan susunan log, dan dalam penelitian ini disebut sebagai faktor konversi tumpukan. Produktivitas volumetrik (m^3/jam) dihitung menggunakan konsep ILO (1975), yaitu $P = V/T$, di mana V adalah volume kayu (m^3) dan T adalah waktu efektif kerja (jam), dihitung per siklus kemudian dirata-ratakan dari 30 sampel per ekosistem.

Analisis statistik dilakukan secara bertahap. Uji normalitas Shapiro-Wilk diterapkan pada seluruh variabel per kelompok ekosistem karena metode ini menunjukkan kemampuan deteksi yang baik terhadap penyimpangan distribusi normal pada sampel kecil hingga sedang (Razali dan Wah 2011; Sianturi 2025). Apabila asumsi normalitas dilanggar pada minimal satu kelompok, perbandingan antar ekosistem dilakukan dengan uji nonparametrik Mann-Whitney U (Hollander *et al.* 2014). Sebaliknya, apabila seluruh variabel memenuhi normalitas di kedua ekosistem, pengujian dilanjutkan melalui uji Levene untuk memeriksa homogenitas ragam sebagai dasar pemilihan antara *independent sample t-test* (ragam homogen) atau *Welch t-test* (ragam tidak homogen). Besaran perbedaan antar kelompok diukur menggunakan koefisien ukuran efek *rank biserial correlation* ($r = 1 - 2U/n_1n_2$) pada hasil uji Mann-Whitney U (Pattiwael *et al.* 2024), dengan mengadaptasi konvensi umum ukuran efek koefisien korelasi menurut Cohen (1988) di mana $r = 0,10$ kecil, $r = 0,30$ sedang, dan $r \geq 0,50$ besar.

Produktivitas volumetrik (Y) didefinisikan sebagai rasio volume terhadap total waktu siklus, sedangkan keempat komponen waktu kerja dan waktu tunda merupakan unsur-unsur yang menyusun penyebut (waktu siklus) tersebut, terdapat keterkaitan matematis yang melekat antara Y dan kelima prediktor di luar hubungan substantif keduanya. Oleh karena itu, model regresi berikut ditempatkan sebagai analisis prediktif atau asosiatif untuk mengidentifikasi komponen waktu yang berkontribusi paling besar terhadap variasi produktivitas, bukan sebagai pembuktian hubungan kausal antara durasi elemen kerja dan produktivitas. Analisis regresi linear berganda diterapkan dengan produktivitas

volumetrik (m^3/jam) sebagai variabel terikat (Y) dan kelima komponen waktu kerja yaitu durasi ayun kosong (X_1), menjepit kayu (X_2), ayun bermuatan (X_3), melepas dan merapikan kayu (X_4), serta waktu tunda (X_5) sebagai variabel prediktor, dengan model $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \varepsilon$. Validitas model diperiksa melalui empat uji asumsi OLS yaitu normalitas residual (Shapiro-Wilk terhadap *standardized residual*), heteroskedastisitas (uji Glejser), multikolinearitas (*variance inflation factor*), dengan nilai di bawah 10 menunjukkan multikolinearitas tidak mengganggu interpretasi model (Draper dan Smith 1998), dan autokorelasi (statistik Durbin-Watson, di mana nilai mendekati 2 mengindikasikan tidak adanya autokorelasi residual).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi Alat dan Profil Operator

Keseragaman tipe alat antara kedua ekosistem merupakan syarat penting dalam studi komparatif untuk memastikan bahwa perbedaan produktivitas yang terukur bersumber dari kondisi lingkungan dan karakteristik kayu, bukan dari perbedaan kapasitas mekanis alat. Kedua kontraktor menggunakan unit mesin yang identik, yaitu *excavator grapple* Sumitomo SH130LF-6 dengan mesin diesel ISUZU GG-4JJ1X berdaya 70,9 kW dan kapasitas muatan maksimum 7 ton. Profil operator dan durasi kerja harian di masing-masing ekosistem disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Profil operator dan alat di masing-masing ekosistem

Kontraktor	Nama Alat	Ekosistem	Umur Alat	Jam Kerja	Umur	Pengalaman
HL	Sumitomo SH 21	Mineral	5 tahun	12 jam	22 tahun	1 tahun
HL	Sumitomo SH 42	Mineral	5 tahun	12 jam	40 tahun	5 tahun
HL	Sumitomo SH 45	Mineral	4 tahun	12 jam	41 tahun	9 tahun
HL	Sumitomo SH 41	Gambut	5 tahun	12 jam	30 tahun	2 tahun
HL	Sumitomo SH 43	Gambut	5 tahun	12 jam	-	-
HL	Sumitomo SH 44	Gambut	6 tahun	12 jam	25 tahun	4 tahun
HL	Sumitomo SH 25	Gambut	5 tahun	12 jam	-	-
APM	Sumitomo APM 01	Gambut	3 tahun	14 jam	24 tahun	1 tahun
APM	Sumitomo APM 02	Gambut	3 tahun	14 jam	23 tahun	2 bulan
APM	Sumitomo APM 03	Gambut	2 tahun	14 jam	-	-

Tanda (–) menunjukkan data tidak tersedia dari catatan kontraktor). Sumber: Data Perusahaan (2026).

Tabel 1 memperlihatkan bahwa kontraktor PT HL beroperasi di kedua ekosistem sekaligus, sedangkan kontraktor PT APM seluruhnya beroperasi di ekosistem lahan gambut. Data umur dan pengalaman operator pada tiga unit alat (Sumitomo SH 43, SH 25, dan APM 03) tidak tersedia dalam basis data perusahaan dan tidak tercatat identitasnya secara permanen pada periode pengamatan, data yang hilang ini tidak diimputasi, dan unit-unit tersebut tetap diikutsertakan dalam analisis waktu siklus karena pencatatan waktu kerja tidak bergantung pada identitas operator. Dari sisi profil operator yang tercatat, terdapat perbedaan pengalaman kerja antara kedua ekosistem. Operator lahan

mineral memiliki rentang pengalaman 1-9 tahun dengan rata-rata usia 34 tahun. Operator di lahan gambut dari kontraktor PT HL memiliki rentang pengalaman 2-4 tahun, sementara operator lahan gambut dari kontraktor PT APM baru berpengalaman 2 bulan-1 tahun dengan usia yang lebih muda. Sinaga (2020) mengemukakan bahwa pengalaman kerja memberikan pengaruh positif terhadap produktivitas kerja individual, sehingga perbedaan ini berpotensi menjadi faktor perancu (*confounding*) dalam membandingkan produktivitas antar ekosistem.

Perbedaan kompetensi operator ini merupakan keterbatasan aktual penelitian, penugasan operator sepenuhnya berada di bawah kewenangan masing-masing kontraktor dan tidak dapat dikontrol dalam studi ini. Selain dari karakteristik operator, faktor kondisi fisik tapak seperti jarak ekstraksi dan kemiringan lereng juga memiliki pengaruh terhadap produktivitas (Linata *et al.* 2025). Karakteristik morfologi muatan juga terbukti menjadi faktor yang memengaruhi efisiensi dan kelancaran siklus alat berat (Simões *et al.* 2010). Oleh karena itu, perbedaan produktivitas yang terukur dalam penelitian ini tidak sepenuhnya dapat dipisahkan dari pengaruh variasi kompetensi dan durasi kerja operator, dan hal ini harus dipertimbangkan dalam interpretasi hasil.

Teknik Pemuatan Kayu

Teknik pemuatan di lahan mineral memiliki keunggulan utama pada kemudahan pergerakan alat. Pijakan tanah mineral yang keras dengan material pasir memiliki daya dukung yang tinggi, memungkinkan truk pengangkut masuk langsung ke dalam petak tebang hingga berdampingan dengan tumpukan log. Morfologi batang *Eucalyptus pellita* yang tumbuh lurus dan relatif seragam (Doran dan Turnbull 1997) memudahkan penjepitan oleh *grapple* dan mempersingkat proses penataan log di atas bak truk.

Teknik pemuatan di lahan gambut menuntut adaptasi lebih besar dari operator. Jaringan kanal air yang dalam menjadi pembatas antara petak tebang dan jalan angkut utama. Untuk memperpendek jarak ayunan ke posisi truk, operator harus menimbun kanal dengan gambut terlebih dahulu agar dapat bertumpu di atas timbunan tersebut. Ketidakstabilan permukaan gambut ini memaksa operator memperlambat gerakan pemutaran kabin untuk menjaga keseimbangan dan mencegah alat amblas.

Perbedaan teknik yang paling mencolok terletak pada penanganan morfologi *Acacia crassicaarpa*. Kelurusan batang yang relatif lebih rendah (Arnold dan Cuevas 2003), kerap dililit tanaman parasit, serta memiliki kecenderungan membentuk percabangan yang lebih banyak (Pajri *et al.* 2025) mengharuskan operator mengayun-ayunkan *grapple* di udara untuk merontokkan parasit, sekaligus memutar dan menyesuaikan posisi log di atas bak truk agar tumpukan bengkok tidak menyisakan rongga kosong yang berlebihan. Seluruh pergerakan dalam satu siklus pemuatan yaitu ayun kosong, menjepit kayu, ayun bermuatan, dan melepas serta merapikan kayu. Kegiatan ini dilaksanakan secara berurutan sesuai tahapan yang ditetapkan Apriansyah (2002).

Analisis Waktu Siklus dan Efisiensi Kerja

Pengamatan *time study* terhadap 60 siklus pemuatan menunjukkan perbedaan durasi yang konsisten di antara kedua ekosistem. Rata-rata waktu siklus total di lahan mineral tercatat 18,36 menit/siklus, sedangkan di lahan gambut mencapai 30,71 menit/siklus. Distribusi durasi rata-rata dan proporsi setiap elemen kerja disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Perbandingan rata-rata waktu elemen kerja pemuatan kayu di lahan mineral dan gambut

No.	Elemen Kerja	Mineral (mnt/siklus ± SD)	% Waktu Efektif	Gambut (mnt/siklus ± SD)	% Waktu Efektif
1	Ayun Kosong	2,56 ± 0,56	15,33	3,77 ± 0,77	13,42
2	Menjepit Kayu	5,29 ± 0,84	31,63	6,77 ± 1,11	24,12
3	Ayun Bermuatan	4,21 ± 0,80	25,32	6,28 ± 1,26	22,37
4	Melepas & Merapikan Kayu	4,63 ± 1,27	27,72	11,26 ± 2,70	40,10

No.	Elemen Kerja	Mineral (mnt/siklus $\pm$ SD)	% Waktu Efektif	Gambut (mnt/siklus $\pm$ SD)	% Waktu Efektif
	Total Waktu Efektif	16,68 $\pm$ 2,81	90,87	28,07 $\pm$ 5,27	91,42
	<i>Delay</i>	1,68 $\pm$ 1,17	9,13	2,63 $\pm$ 1,27	8,58
	Total Waktu Siklus	18,36 $\pm$ 3,31	100,00	30,71 $\pm$ 5,85	100,00

Keterangan: nilai rata-rata $\pm$ standar deviasi dihitung dari 30 ritase per ekosistem; efisiensi kerja = (waktu efektif/waktu siklus) $\times$ 100%. Sumber: Hasil pengamatan lapangan (2026).

Berdasarkan Tabel 2, seluruh elemen kerja produktif di lahan gambut mengalami perlambatan durasi dibandingkan di lahan mineral. Elemen ayun kosong di lahan gambut (3,77 menit) lebih lama daripada lahan mineral (2,56 menit), yang disebabkan oleh kehati-hatian operator dalam memperlambat gerakan alat di atas gambut yang tidak stabil. Elemen menjepit kayu di lahan gambut membutuhkan waktu 6,77 menit, lebih lama dibandingkan lahan mineral sebesar 5,29 menit, akibat tingginya variabilitas dimensi dan tumpukan log *Acacia crassiparva* yang tidak seragam. Tapak gambut yang tidak stabil juga menjadi alasan lamanya durasi ayun bermuatan di lahan gambut, yaitu sebesar 6,28 menit, sedangkan lahan mineral hanya memerlukan waktu 4,21 menit.

Temuan yang paling terlihat dari Tabel 2 adalah pada elemen melepas dan merapikan kayu. Di ekosistem lahan gambut, elemen ini menghabiskan waktu hingga 11,26 menit per siklus dan mendominasi sebesar 40,10% dari total seluruh waktu efektif alat. Nilai ini jauh lebih tinggi dibandingkan di lahan mineral yang hanya membutuhkan waktu 4,63 menit (27,72% dari waktu efektif). Hal ini mengindikasikan bahwa karakteristik kayu *Acacia crassiparva* menjadi hambatan utama yang memengaruhi waktu kerja di ekosistem lahan gambut, khususnya pada elemen kerja 4 (melepas dan merapikan kayu).

Nilai efisiensi kerja operasional di kedua ekosistem menunjukkan angka yang hampir serupa, yaitu sebesar 90,87% di lahan mineral dan 91,42% di lahan gambut. Kesamaan nilai ini mengindikasikan bahwa operator di kedua ekosistem memiliki kemampuan yang setara dalam mengelola waktu produktif relatif terhadap total siklus masing-masing. Namun perlu digarisbawahi bahwa keserupaan efisiensi ini tidak secara otomatis membuktikan kompetensi operator yang identik, mengingat kondisi tapak dan beban kerja per siklus berbeda secara substansial antara kedua ekosistem. Waktu tunda di lahan mineral (1,68 menit) dipengaruhi oleh faktor manusia akibat paparan cuaca panas di lapangan yang mencapai 39°C. Menurut Flouris *et al.* (2018), paparan suhu lingkungan yang tinggi di tempat kerja memberikan beban fisik yang berat bagi pekerja, yang secara langsung memicu kelelahan fisik serta melemahkan kemampuan berpikir secara optimal. Kondisi inilah yang mendorong operator untuk melakukan jeda istirahat di dalam kabin alat guna memulihkan fokus dan menjaga keselamatan kerja. Sebaliknya, waktu tunda di lahan gambut (2,63 menit per siklus) murni didominasi oleh kendala teknis seperti merapikan posisi alat pada gambut dan merapikan log yang berada di sekitar tumpukan log.

Produktivitas Pemuatan Kayu

Lamanya waktu siklus secara langsung menentukan volume kayu yang dapat dimuat per satuan waktu. Produktivitas dihitung dalam dua satuan, yaitu volumetrik (m^3/jam) untuk kepentingan ilmiah dan tonase (ton/jam) sesuai permintaan operasional PT Arara Abadi yang berorientasi pada produksi pulp. Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Perbandingan volume dan produktivitas pemuatan kayu di lahan mineral dan gambut

No	Parameter	Satuan	Mineral (<i>E. pellita</i>)	Gambut (<i>A. crassiparva</i>)
1	Faktor Konversi Tumpukan	—	0,67	0,59
2	Rata-rata Volume Stapel/Siklus	sm	44,33 $\pm$ 1,93	46,46 $\pm$ 2,74
3	Rata-rata Kubikasi/Siklus	m^3	29,70 $\pm$ 1,29	27,41 $\pm$ 1,62

No	Parameter	Satuan	Mineral (<i>E. pellita</i>)	Gambut (<i>A. crassicarpa</i>)
4	Rata-rata Tonase/Siklus	ton	25,49 ± 1,35	25,63 ± 2,07
5	Kerapatan Kayu	ton/m ³	0,858	0,935
6	Rata-rata Waktu Efektif/Siklus	jam	0,278 ± 0,047	0,468 ± 0,088
7	Produktivitas Volumetrik	m ³ /jam	109,02 ± 14,84	60,26 ± 10,06
8	Produktivitas Tonase	ton/jam	93,51 ± 12,74	56,15 ± 9,41

Keterangan: faktor konversi tumpukan (stackwood conversion factor) adalah rasio volume solid terhadap volume tumpukan, ditetapkan berdasarkan standar PT Arara Abadi; produktivitas dihitung per siklus kemudian dirata-ratakan (n = 30 per ekosistem); ± menunjukkan standar deviasi. Sumber: Hasil pengamatan lapangan dan analisis data (2026).

Tabel 3 memperlihatkan hasil yang menyatakan bahwa produktivitas volumetrik di lahan mineral mencapai nilai 109,02 m³/jam, sedangkan di lahan gambut hanya sebesar 60,26 m³/jam. Pola yang sama juga terjadi pada nilai produktivitas tonase, di mana kapasitas pemuatan di lahan mineral (93,51 ton/jam) bernilai jauh lebih tinggi dibandingkan dengan lahan gambut (56,15 ton/jam). Pada volume stapel meter (sm) dan kubikasi volumetrik (m³), lahan gambut sedikit terlihat lebih besar (46,46 sm) daripada lahan mineral (44,33 sm), nilai kubikasi volumetrik justru bernilai lebih rendah, yaitu hanya 27,41 m³ di lahan gambut berbanding 29,70 m³ di lahan mineral.

Hal ini terjadi akibat pengaruh dari perbedaan nilai faktor konversi tumpukan dari kedua spesies yang berada pada masing-masing ekosistem. Sesuai ketentuan standar Perusahaan, *Acacia crassicarpa* memiliki faktor konversi tumpukan yang lebih kecil, yaitu sebesar 0,59 karena batangnya yang cenderung bengkok menimbulkan banyak celah kosong di antara susunan kayu. Sementara itu, *Eucalyptus pellita* memiliki faktor konversi tumpukan sebesar 0,67 karena karakteristik batangnya yang silindris dan lurus sehingga susunan kayu menjadi lebih rapat.

Nilai rata-rata berat total kayu per siklus (tonase) di kedua ekosistem hampir sama walaupun nilai kubikasi volumetrik di lahan gambut lebih rendah, nilai kubikasi pada lahan mineral ialah 25,49 ton dan di lahan gambut 25,63 ton. Kemiripan berat ini disebabkan oleh sifat fisik densitas kayu, di mana kayu *Acacia crassicarpa* memiliki nilai kerapatan berat yang jauh lebih tinggi (0,935 ton/m³) dibandingkan dengan kayu *Eucalyptus pellita* (0,858 ton/m³).

Penelitian terdahulu oleh Fermana *et al.* (2019) mencatat produktivitas pemuatan *excavator* hanya sebesar 12,40 m³/jam. Perbedaan angka ini dengan penelitian ini tidak menunjukkan adanya kesalahan, melainkan bersumber dari perbedaan metode pengukuran yang digunakan. Penelitian Fermana *et al.* (2019) melakukan perhitungan waktu berbasis pencatatan per batang dengan total muatan kecil sebanyak 100 batang, sedangkan dalam penelitian ini perhitungan waktu dilakukan menggunakan metode tumpukan pada kapasitas penuh bak truk pengangkut kayu, sehingga menghasilkan volume per satuan waktu yang lebih besar.

Analisis Kinerja Pemuatan

Pengujian normalitas dilakukan menggunakan metode Shapiro-Wilk terhadap seluruh variabel komparatif pada masing-masing ekosistem sebagai dasar pemilihan metode uji perbedaan. Metode ini dipilih karena memiliki kemampuan deteksi yang baik terhadap penyimpangan distribusi normal pada ukuran sampel kecil hingga sedang (Razali dan Wah 2011; Sianturi 2025). Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh variabel pada ekosistem lahan gambut memenuhi asumsi normalitas ($p > 0,05$), sedangkan pada lahan mineral masih ditemukan beberapa variabel yang tidak berdistribusi normal, yaitu waktu total siklus ($p < 0,001$), unsur ayun kosong ($p = 0,011$), unsur ayun bermuatan ($p = 0,003$), dan waktu tunda ($p = 0,015$). Karena pelanggaran normalitas ditemukan pada minimal satu kelompok pengamatan, pengujian perbedaan antar ekosistem dilakukan menggunakan uji nonparametrik Mann–Whitney U (Hollander *et al.* 2014). Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil uji Mann-Whitney U perbandingan waktu kerja dan produktivitas antara lahan mineral dan gambut (n = 30 per kelompok)

Variabel	Med. Mineral	IQR Mineral	Med. Gambut	IQR Gambut	U Statistik	Asymp. Sig.	Effect Size (r)	Keputusan
Waktu Total Siklus (dtk)	1.047	155	1.811	473	28,0	< 0,001	0,938 (G>M)	Berbeda nyata **
Produktivitas (m ³ /jam)	111,46	17,37	58,06	11,19	7,0	< 0,001	0,984 (M>G)	Berbeda nyata **
Unsur 1 – Ayun Kosong (dtk)	149	28	234	75	78,5	< 0,001	0,826 (G>M)	Berbeda nyata **
Unsur 2 – Menjepit Kayu (dtk)	306	67	404	86	123,0	< 0,001	0,727 (G>M)	Berbeda nyata **
Unsur 3 – Ayun Bermuatan (dtk)	244	42	378	89	69,0	< 0,001	0,847 (G>M)	Berbeda nyata **
Unsur 4 – Melepas & Merapikan (dtk)	266	114	666	220	4,0	< 0,001	0,991 (G>M)	Berbeda nyata **
Waktu Tunda / Delay (dtk)	85	97	163	100	253,5	0,004	0,437 (G>M)	Berbeda nyata **

Keterangan: ** = berbeda sangat nyata pada $p < 0,01$; $r = 1 - (2U/n_1n_2)$; arah dalam kurung menunjukkan kelompok dengan nilai lebih tinggi (M = Mineral, G = Gambut); interpretasi ukuran efek mengacu Cohen (1988): $r = 0,10$ kecil; $r = 0,30$ sedang; $r \geq 0,50$ besar. Sumber: Hasil analisis SPSS (2026).

Tabel 4 memperlihatkan bahwa seluruh variabel menunjukkan perbedaan yang sangat nyata secara statistik antara kedua ekosistem. Perbedaan tersebut tidak hanya signifikan secara statistik tetapi juga memiliki besaran pengaruh yang besar secara praktis. Produktivitas volumetrik menunjukkan perbedaan paling mencolok secara keseluruhan, dengan median lahan mineral (111,46 m³/jam; IQR = 17,37) jauh lebih tinggi dibandingkan lahan gambut (58,06 m³/jam; IQR = 11,19), dan ukuran efek yang sangat besar ($r = 0,984$; $U = 7,0$), menunjukkan dominasi produktivitas lahan mineral pada hampir seluruh pasangan pengamatan.

Perbedaan paling kuat pada elemen kerja terjadi pada elemen kerja melepas dan merapikan kayu ($U = 4,0$; $r = 0,991$), dengan median di lahan gambut (666 detik; IQR = 220) mencapai 2,5 kali lebih tinggi dibandingkan lahan mineral (266 detik; IQR = 114). Rentang sebaran (IQR) yang lebih besar di lahan gambut juga mengindikasikan variabilitas yang lebih tinggi antar siklus, yang berkaitan dengan ketidakseragaman morfologi batang *Acacia crassiparva*. Arnold dan Cuevas (2003) menyatakan bahwa *Acacia crassiparva* memiliki tingkat kelurusan batang yang relatif rendah dibandingkan jenis cepat tumbuh lainnya, sedangkan Pajri *et al.* (2025) menunjukkan kecenderungan percabangan yang lebih tinggi sehingga bentuk log menjadi kurang seragam.

Perbedaan pada elemen ayun kosong (mineral: 149 detik, IQR = 28; gambut: 234 detik, IQR = 75) dan ayun bermuatan (mineral: 244 detik, IQR = 42; gambut: 378 detik, IQR = 89) mengindikasikan pengaruh kondisi tapak terhadap kecepatan dan konsistensi manuver alat. IQR yang lebih kecil di lahan mineral mencerminkan kondisi operasional yang lebih seragam dan dapat diprediksi. Martini (2015) menyatakan bahwa tanah gambut memiliki kapasitas penahan beban yang

rendah sehingga membatasi pergerakan alat berat, sedangkan Cambi *et al.* (2015) menambahkan bahwa operasi alat berat pada tanah hutan yang basah dapat menurunkan efisiensi gerak dan meningkatkan durasi operasi.

Analisis Regresi Linear Berganda

Analisis regresi linear berganda dilakukan untuk mengidentifikasi elemen kerja yang paling memengaruhi produktivitas pemuatan kayu. Produktivitas volumetrik (m^3/jam) digunakan sebagai variabel terikat, sedangkan seluruh elemen waktu kerja dan waktu tunda digunakan sebagai prediktor. Analisis dilakukan terhadap 60 pengamatan gabungan dari kedua ekosistem. Model regresi linear berganda dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Ringkasan model regresi linear berganda produktivitas pemuatan kayu

Model	R	R ²	Adjusted R ²	Std. Error	Durbin-Watson	F	Sig.
1	0,935	0,874	0,862	10,259	1,701	74,669	< 0,001

Keterangan: variabel dependen = produktivitas (m^3/jam); n = 60. Sumber: Hasil analisis SPSS (2026).

Berdasarkan tabel 5, Model regresi menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,874, yang menunjukkan bahwa 87,4% variasi nilai produktivitas volumetrik pada data pengamatan dapat dijelaskan oleh variasi komponen waktu kerja yang dimasukkan ke dalam model. Nilai R^2 yang tinggi ini sebagian besar merupakan konsekuensi dari mathematical coupling, yaitu produktivitas ($Y = V/T$) secara matematis dibentuk oleh waktu siklus, sedangkan kelima prediktor merupakan komponen penyusun waktu siklus tersebut, sehingga sebagian dari kekuatan hubungan ini bukan murni mencerminkan hubungan kausal antara durasi elemen kerja dan produktivitas. Oleh karena itu, hasil regresi ini ditafsirkan sebagai model prediktif atau asosiatif yang mengidentifikasi komponen waktu kerja dengan kontribusi relatif terbesar terhadap variasi produktivitas, bukan sebagai pembuktian besaran hubungan sebab-akibat. Sisa variasi sebesar 12,6% menunjukkan masih adanya variasi lain di luar model yang tidak diamati dalam penelitian ini.

Koefisien regresi dari setiap variabel disajikan pada Tabel 6 untuk menunjukkan besarnya kontribusi pengaruh masing-masing prediktor, sekaligus sebagai dasar penyusunan persamaan matematisnya

Tabel 6 Koefisien regresi linear berganda produktivitas pemuatan kayu

Variabel	B	Std Error	Beta	t	Sig.	Vif
Konstanta	157,814	8,195	-	19,257	< 0,001	-
Unsur 1	-0,046	0,050	-0,091	-0,923	0,360	4,153
Unsur 2	-0,042	0,036	-0,114	-1,182	0,242	3,942
Unsur 3	-0,035	0,038	-0,112	-0,905	0,369	6,553
Unsur 4	-0,073	0,013	-0,626	-5,658	< 0,001	5,231
Waktu tunda	-0,025	0,019	-0,071	-1,291	0,202	1,291

Keterangan VIF <10 menunjukkan multikolinearitas tidak mengganggu interpretasi model (Draper dan Smith 1998). Sumber: Hasil analisis SPSS

Berdasarkan nilai koefisien *Unstandardized B* pada Tabel 6, persamaan regresi linear berganda untuk estimasi produktivitas pemuatan kayu dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Produktivitas} = 157,814 - 0,046X_1 - 0,042X_2 - 0,035X_3 - 0,073X_4 - 0,025X_5 \quad (1)$$

Seluruh koefisien bertanda negatif yang menunjukkan bahwa semakin panjang durasi elemen kerja maka produktivitas cenderung menurun. Berdasarkan tabel, hanya elemen kerja melepas dan merapikan kayu yang berpengaruh signifikan ($\beta = -0,626$; $p < 0,001$), sehingga diidentifikasi sebagai elemen kerja yang paling berkontribusi terhadap produktivitas.

Sebelum kesimpulan dari model regresi di atas dapat dinyatakan valid, seluruh asumsi klasik OLS wajib dipenuhi. Rekapitulasi hasil keempat uji asumsi yang dilakukan disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7 Rekapitulasi hasil uji asumsi klasik model regresi

Asumsi	Metode Uji	Statistik	Nilai	Kriteria	Keputusan
Normalitas Residual	Shapiro-Wilk (ZRE)	W = 0,975	P = 0,266	$p > 0,05$	Terpenuhi
Heteroskedastisitas	Glejser (F model)	F = 1,752	P = 0,139	$p > 0,05$	Terpenuhi
Multikolinearitas	VIF maksimum	VIF = 6,553	-	VIF < 10	Terpenuhi, kolinearitas sedang
Autokorelasi	Durbin-Watson	DW = 1,701	-	$1,5 < DW$	Terpenuhi

Keterangan: uji asumsi dilakukan terhadap model regresi dengan variabel dependen Produktivitas (m^3/jam); n = 60. Sumber: Hasil analisis SPSS (2026).

Berdasarkan Tabel 7, keempat asumsi klasik OLS terpenuhi secara keseluruhan. Uji Shapiro-Wilk terhadap residual terstandarisasi menghasilkan nilai $W = 0,975$ dengan $p = 0,266$ ($> 0,05$), mengonfirmasi bahwa residual model berdistribusi normal. Uji Glejser menghasilkan $F = 1,752$ dengan $p = 0,139$ ($> 0,05$), yang membuktikan tidak adanya heteroskedastisitas pada model. Nilai Durbin-Watson sebesar 1,701 yang berada dalam rentang aman 1,5–2,5, sejalan dengan tidak adanya autokorelasi residual berdasarkan urutan data yang dianalisis; namun perlu dicatat bahwa statistik Durbin-Watson dirancang untuk mendeteksi autokorelasi pada data berurutan waktu (time-ordered), sedangkan data penelitian ini bersifat lintas-unit (gabungan beberapa operator, alat, dan petak), sehingga asumsi independensi antarobservasi belum sepenuhnya teruji oleh statistik ini — khususnya jika terdapat pengelompokan (clustering) berdasarkan operator atau alat yang sama, sebagaimana telah didiskusikan pada bagian Metode. Dengan mempertimbangkan keempat indikator uji asumsi di atas serta keterbatasan tersebut, model regresi yang dibangun dinyatakan memenuhi syarat minimum kelayakan statistik OLS dan dapat digunakan sebagai dasar interpretasi asosiatif, dengan kehati-hatian dalam menyusun rekomendasi operasional yang bersifat kausal.

Perbedaan kondisi ekosistem yang berlapis antara rendahnya daya dukung tanah gambut dan tingginya variabilitas morfologi batang *Acacia crassicaarpa* secara bersama-sama menciptakan hambatan yang tidak ditemukan di lahan mineral. Suhartana dan Yuniawati (2016) menyatakan bahwa produktivitas kegiatan muat bongkar kayu secara umum dipengaruhi oleh faktor dimensi dan ukuran kayu, di samping waktu muat bongkar, keterampilan operator, serta kondisi alat. Keseragaman ukuran dan bentuk kayu secara nyata mempercepat siklus pemuatan. Hubungan ini juga didukung oleh Simões *et al.* (2010) yang menyatakan bahwa dimensi batang berpengaruh langsung terhadap produktivitas alat pada tegakan *Eucalyptus*, sehingga dimensi muatan menjadi faktor yang tidak dapat diabaikan dalam pengelolaan operasional pemuatan kayu di HTI. Hasil pemodelan regresi ini memberikan rekomendasi manajemen yang jelas bagi PT. Arara Abadi dan pihak kontraktor untuk meningkatkan produktivitas pemuatan di lahan gambut melalui intervensi yang difokuskan pada percepatan elemen kerja melepas dan merapikan kayu, misalnya melalui pemilahan kayu berdasarkan kelurusan batang sebelum dimuat dan pelatihan teknik penataan log yang lebih efisien bagi operator.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan, dapat ditarik simpulan sebagai berikut.

1. Teknik pemuatan di lahan mineral dan lahan gambut mengikuti pola siklus yang sama, namun berbeda dalam penyesuaian operasional di mana tapak mineral yang keras dan stabil memungkinkan gerakan alat lebih cepat dan penataan log yang lebih singkat karena batang *Eucalyptus pellita* yang lurus dan seragam, sedangkan tapak gambut yang labil dan morfologi

- batang *Acacia crassicarpa* yang bengkok dan bercabang menuntut penyesuaian gerak dan posisi log yang lebih intensif pada setiap siklus.
2. Waktu siklus dan seluruh elemen kerja berbeda sangat nyata antara kedua ekosistem (uji Mann-Whitney U, $p < 0,001$ untuk seluruh elemen dan $p = 0,004$ untuk waktu tunda), dengan rata-rata waktu siklus total 18,36 menit di lahan mineral berbanding 30,71 menit di lahan gambut; elemen melepas dan merapikan kayu menyumbang selisih waktu terbesar (4,63 menit di lahan mineral vs 11,26 menit di lahan gambut). Efisiensi kerja relatif setara di kedua ekosistem (90,87% vs 91,42%), namun kesetaraan ini tidak dapat ditafsirkan sebagai bukti kesetaraan kemampuan operator, mengingat adanya perbedaan kontraktor, pengalaman kerja, dan kondisi tapak yang tidak dikendalikan dalam penelitian ini.
 3. Produktivitas volumetrik di lahan mineral (109,02 m³/jam) nyata lebih tinggi dibandingkan lahan gambut (60,26 m³/jam; $r = 0,984$). Analisis regresi linear berganda ($R^2 = 0,874$) mengidentifikasi elemen melepas dan merapikan kayu sebagai prediktor dominan secara asosiatif ($\beta = -0,626$; $p < 0,001$), dengan memperhitungkan keterbatasan mathematical coupling antara produktivitas dan komponen waktu penyusunnya. Sebagai pemeriksaan terhadap potensi pengaruh kontraktor, perbandingan deskriptif produktivitas antara unit alat kontraktor HL dan APM di lahan gambut tidak menunjukkan pola perbedaan yang konsisten dengan perbedaan ekosistem yang diamati, sehingga karakteristik tapak dan morfologi kayu tetap diduga sebagai faktor dominan. Pengujian statistik terhadap perbedaan ini tidak dilaporkan di sini karena keterbatasan ukuran sampel per kontraktor.
- Adapun saran-saran pada penelitian ini disampaikan sebagai berikut:
1. Bagi PT. Arara Abadi dan kontraktor, peningkatan produktivitas di lahan gambut dapat difokuskan pada percepatan elemen melepas dan merapikan kayu, misalnya melalui pemilahan log berdasarkan kelurusan batang sebelum dimuat dan pelatihan teknik penataan log bagi operator, khususnya bagi operator dengan pengalaman kerja yang masih terbatas.
 2. Pencatatan data operator (umur, pengalaman, riwayat rotasi alat) perlu dilengkapi dan didokumentasikan secara konsisten oleh kontraktor untuk memungkinkan analisis stratifikasi yang lebih kuat pada penelitian selanjutnya.
 3. Penelitian lanjutan disarankan menambah jumlah unit alat dan operator per ekosistem serta mempertimbangkan pendekatan model campuran dengan operator, alat, dan petak sebagai faktor acak, untuk memisahkan pengaruh ekosistem dari pengaruh operator dan kontraktor secara lebih tegas.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriansyah T. 2002. Analisis biaya penggunaan *excavator* yang dimodifikasi dalam muat bongkar log [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Arnold RJ, Cuevas E. 2003. Genetic variation in early growth, stem straightness and survival in *Acacia crassicarpa*, *A. mangium* and *Eucalyptus urophylla* in Bukidnon Province, Philippines. *Journal of Tropical Forest Science*. 15(2):332–351.
- Cambi M, Certini G, Neri F, Marchi E. 2015. The impact of heavy traffic on forest soils: a review. *Forest Ecology and Management*. 338:124–138. DOI: 10.1016/j.foreco.2014.11.022.
- Cohen J. 1988. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Doran JC, Turnbull JW. 1997. *Australian trees and shrubs: species for land rehabilitation and farm planting in the tropics*. Canberra (Australia): Aciar Monograph.
- Draper NR, Smith H. 1998. *Applied Regression Analysis*. New York: Wiley.
- Fermana JS, Sadjati E, Ikhwan M. 2019. Analisis biaya pemanenan dan produktivitas produksi kayu ekaliptus (studi kasus: HPHTI PT PSPI Distrik Petapahan). *Wahana Forestra: Jurnal Kehutanan*. 14(2):38–55. DOI: 10.31849/forestra.
- Flouris AD, Dinas PC, Loannou LG, Nybo L, Havenith G, Kenny GP, Kjellstrom T. 2018. Workers health and productivity under occupational heat strain. *The Lancet Planetary Health*. 2(12):e521–e531. DOI: 10.1016/S2542-5196(18)30237-7

- Ghaffariyan MR. 2021. Predicting productivity of timber *loading* operations: a literature review. *Silva Balcanica*. 22(2):5-20. DOI: 10.3897/silvabalcanica.22.e69240
- Hollander M, Wolfe DA, Chicken E. 2014. *Nonparametric Statistical Methods*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- [ILO] International Labour Organization. 1975. *Penelitian Kerja dan Produktivitas*. Jakarta: Erlangga.
- Jamhuri J, Norizah K, Mohd HI, Azfanizam AS. 2021. Bees algorithm for forest transportation planning optimization in Malaysia. *Forestry Science and Technology*. 17(2):88-99. , DOI: 10.1080/21580103.2021.1925597.
- Linata AH, Suhartana S, Budiaman A. 2025. Perbandingan produktivitas dan biaya operasional *excavator grapple* dan *excavator ponton* di HTI PT Toba Pulp Lestari. *Agroforetech*. 19(1):1–14.
- Martini. 2015. Kajian daya dukung tanah gambut dengan perkuatan geotekstil dan perubahan muka air tanah. *Infrastruktur*. 5(1):51–59.
- Nurudin M, Mara MN, Kusnandar D. 2014. Ukuran sampel dan distribusi sampling dari beberapa variabel random kontinu. *Bimaster*. 3(1):1–6.
- Pajri A, Suhartati T, Wahyudiono S. 2025. Pengaruh metode *singling* terhadap diameter, tinggi dan kelangsingan *Acacia crasscarpa*. *Agroforetech*. 3(1):821–828.
- Pattiwael E, Wiraswati AGKS, Utami IGAYY, Fauzi A. 2024. Efektivitas penerapan metode Montessori dalam meningkatkan kemampuan literasi awal kelompok b di TK Bahtera Bukit Zaitun. *Jurnal Ilmiah Psikologi MANASA*. 13(2):38–55.
- Razali NM, Wah YB. 2011. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*. 2(1):21–33.
- Sianturi R. 2025. Uji normalitas sebagai syarat pengujian hipotesis. *JPMS*. 11(1):1–14. DOI: 10.36987/jpms.v10i2.5881.
- Simões D, Fenner PT, Esperancini MST. 2010. Technical and economical evaluation of the *Eucalyptus* forest harvest with harvester. *Scientia Forestalis*. 38(88):611–618.
- Sinaga MS. 2020. Pengaruh motivasi dan pengalaman kerja terhadap produktivitas karyawan. *Jurnal Manajemen*. 6(2):112-120. DOI: 10.47652/metadata.v2i2.28.
- Suhartana S, Yuniawati. 2016. Produktivitas dan Biaya Pemanenan Kayu di Hutan Tanaman Rawa Gambut. *Jurnal Hutan Tropis*. 4(3):273–281.
- Sulichantini ED. 2016. Pertumbuhan semai *Eucalyptus pellita* F. Muell pada berbagai media tanam. *Jurnal AGRIFOR*. 15(1):85–94.
- Szewczyk G, Sowa JM. 2017. The use of video technique in *time study* of forest work. *Croatian Journal of Forest Engineering*. 38(1):97-105. DOI: DOI 10.1186/s40490-017-0105-3.