

Analisis Postur Kerja dalam Operasi Pemanenan Kayu: Pemuatan *Log* Secara Manual

Efi Yulianti Yovi^{1a}, Lilis Eva Andriyani¹

Abstract. *Lifting, pushing, and pulling activities combined with excessive material load and intense repetition have been reported to trigger excessive pressure on the lumbar disk (L5/S1). Using a static biomechanical approach (3DSSPP Version 7 software), this study presents empirical evidence proving that log loading activities with manual techniques are jobs that pose a high risk of injury to workers, indicated by (1) very high lifting index value (10), (2) compressive force that exceeds the maximum permissible limit of 6500 N, (3) difficult standing balance control, and (4) high potential of localized musculoskeletal fatigue in the workers. Musculoskeletal disorders analysis (using the Standardized Nordic Questionnaire instrument) shows intense disturbances in the lower back, shoulders, upper back, and hands. Interventions to reduce injury to the workers can be carried out by substituting work techniques (using aids devices), improving work administration (improving the standard operating procedure, supervision), and wearing anti-slip work shoes.*

Keywords: *tree harvesting, manual material handling, biomechanics, L5/S1, compression force.*

Abstrak. *Aktivitas mengangkat, mendorong, dan menarik yang dikombinasikan dengan berat beban berlebihan dan pengulangan yang intens telah banyak dilaporkan memicu tekanan berlebih pada ruas tulang belakang (L5/S1). Menggunakan pendekatan biomekanik statis (perangkat lunak 3DSSPP Versi 7), penelitian ini menyajikan bukti empiris yang membuktikan bahwa kegiatan pemuatan log dengan teknik manual merupakan pekerjaan yang menimbulkan risiko cedera yang tinggi bagi pekerjanya, terindikasi dari (1) nilai lifting index yang sangat tinggi (10), (2) gaya tekan yang melebihi maximum permissible limit 6500 N, (3) kontrol keseimbangan tubuh yang sulit, dan (4) potensi terjadinya localized musculoskeletal fatigue yang tinggi pada pekerjanya. Analisis gangguan otot (menggunakan instrumen Standardized Nordic Questionnaire) menunjukkan gangguan yang intens pada punggung bawah, bahu, punggung atas, dan tangan. Intervensi untuk mengurangi risiko cedera pada pekerja dapat dilakukan dengan mensubstitusi teknik kerja (penggunaan alat bantu), perbaikan administrasi kerja (perbaikan prosedur operasi standar dan pengawasan kerja), serta penggunaan sepatu kerja anti slip.*

Kata Kunci: *pemanenan kayu, manual material handling, biomekanik, L5/S1, gaya tekan.*

I. PENDAHULUAN

Di Indonesia, operasi pemanfaatan hutan khususnya pemanenan kayu, yang terdiri atas kegiatan penebangan, penyaradan, pemuatan, pembongkaran, dan pengangkutan, telah dilakukan sebagai kombinasi antara sistem manual, motor-manual, dan semi-mekanis (Yovi & Yamada, 2019). Sepanjang sejarah pengelolaan, penggunaan tenaga manusia yang intensif telah mendominasi kegiatan pemanenan kayu di Pulau Jawa, hutan-hutan rakyat, dan di berbagai hutan

alam rawa. Kegiatan penyaradan dan pemuatan *log* (batang pohon) kayu di hutan-hutan ini dilakukan dengan teknik tradisional tanpa banyak perubahan dan intervensi teknologi yang diaplikasikan selama beberapa dekade. Alat bantu yang digunakan sering hanya berupa tiang-tiang kayu (beragam panjang dan diameter yang berfungsi sebagai tuas, alas, dan bantalan), serta tali temali untuk membantu pekerja mengangkat (*lifting*), mendorong (*pushing*), dan menarik (*pulling*) *log*.

Dari sudut pandang ergonomi, kegiatan penyaradan dan pemuatan ini tergolong sebagai aktivitas dengan beban kerja fisik berat-sangat berat karena kombinasi antara beban *log*, postur janggal, dan *manual handling* berupa gerakan *lifting*, *pushing*, dan *pulling* yang dilakukan secara berulang (Kumar, 2001; Sakka dkk., 2015). Hingga saat ini, data empiris terkait besarnya *energy expenditure* saat menyarad dan memuat *log*

¹ Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga PO Box 168, Bogor, 16680

^a email: eyyovi@apps.ipb.ac.id

Diajukan: 29-08-2019 Diperbaiki: 25-11-2019
Disetujui: 30-11-2019

secara manual belum tersedia, namun sebagai perbandingan, menebang pohon dengan menggunakan *chainsaw* (20 kg, berat kotor) yang juga melibatkan gerakan *lifting*, *pushing*, dan *pulling* telah membebani 45% – 78% VO₂max dari seorang operator *chainsaw* (Yovi dkk., 2005). Di sisi lain, ukuran (dan berat) *log* yang harus dipindahkan dalam kegiatan menyarad dan memuat secara manual sangat beragam, dan sangat mungkin lebih berat dibandingkan sebuah *chainsaw* berukuran besar.

Aktivitas mengangkat, mendorong, dan menarik yang dikombinasikan dengan beban yang berat dilaporkan dapat memicu tekanan berlebih pada ruas tulang belakang (*lumbar* ke-5 *sacrum* ke-1, selanjutnya disebut sebagai L5/S1) yang dapat mengakibatkan cedera (Kroemer & Grandjean, 1997; Kumar 2001; Sakka dkk., 2015). Saat melakukan penyaradan dan pemuatan, pekerja juga berpotensi melakukan gerakan janggal (misal: mengangkat *log* dan meletakkannya ke tempat baru di sisi pekerja, atau mencondongkan badan atas ke depan secara ekstrem saat mendorong *log*). Gerakan ini dapat menyulitkan pekerja dalam mempertahankan keseimbangan tubuh. Kesulitan yang dihadapi pekerja penyaradan dan pemuatan semakin bertambah jika aspek pengulangan turut dipertimbangkan. Gerakan berulang yang melibatkan kegiatan *lifting*, *pushing*, dan *pulling* yang dikombinasikan dengan beban berat akan mempercepat penurunan ketahanan gerak otot sebelum mengalami kelelahan setempat/lokal (*localized musculoskeletal fatigue*) (Chaffin & Anderson, 1991; Ferguson dkk., 2003; Hansen dkk., 2012). Oleh karena itu, adalah sangat mungkin bahwa kegiatan penyaradan atau pemuatan menuntut beban kerja fisik yang sama atau bahkan jauh lebih besar dari mengoperasikan *chainsaw* tipe besar saat menebang pohon berdiameter besar. Dalam kegiatan penyaradan dan pemuatan *log* secara manual, hal-hal tersebut dapat memberikan dampak serius pada aspek kesehatan dan keselamatan kerja (K3) pekerja dan produktivitas kerja.

Mekanisasi proses penyaradan (penggunaan traktor atau *skidder*) dan pemuatan (penggunaan *log loader*) mampu menurunkan beban kerja fisik

yang dialami pekerja karena mesin akan menyediakan tenaga yang diperlukan untuk memindahkan *log*. Tetapi, tidak semua kegiatan kerja serta merta dapat dimekanisasi (Chaffin & Anderson, 1991). Keterbatasan dalam hal biaya produksi dan kesiapan sumber daya manusia untuk menerima dan mengaplikasi teknologi baru (yang sering kali memberikan dampak pada aspek sosial dan ekonomi) perlu menjadi pertimbangan (Yovi & Yamada, 2019), belum lagi aspek ekologi (seperti dampak pemadatan tanah). Oleh karena itu, perlu dipikirkan intervensi ergonomi yang sesuai dengan karakter pekerja dan pekerjaan. Intervensi ergonomi ini menjadi penting karena aspek K3 merupakan salah satu kriteria dalam konsep "*sustainable forest management*".

Penelitian ini difokuskan pada kegiatan pemuatan *log* ke atas bak truk secara manual (manual material handling) yang secara masif melibatkan gerak *lifting*, *pushing*, dan *pulling* *log*. Analisis postur kerja pada penelitian ini memberikan informasi terkait gaya tekan yang dialami oleh L5/S1, persentase populasi yang mampu melakukan postur kerja yang dianalisis selama 5 detik berturut-turut dengan waktu istirahat sekurang-kurangnya 2 menit tanpa mengalami kelelahan pada bagian tubuh tertentu (disebut sebagai *strength percent capable*), stabilitas tubuh saat melakukan kegiatan pemuatan (*standing balance*), serta keluhan subjektif pekerja dalam hal gangguan otot. Hasil penelitian ini akan menjadi dasar penentuan bentuk intervensi ergonomi yang tepat bagi pekerjaan pemuatan *log* secara manual dengan mempertimbangkan karakteristik pekerja dan pekerjaan secara proporsional.

II. METODE PENELITIAN

Analisis biomekanik merupakan salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk menganalisis postur kerja. Dalam analisis biomekanik ini, gerakan pada tubuh manusia merupakan hasil dari sebuah mekanisme kompleks yang mengikuti hukum-hukum fisika (Frankel & Nordin, 1980) sehingga dapat digunakan untuk memahami bagaimana sebuah gerakan yang dilakukan tubuh manusia akan berpengaruh pada

aspek kesehatan dan keselamatan kerjanya.

Jumlah responden dalam kegiatan ini adalah 11 responden yang tergabung dalam dua regu kerja pemuatan *log*. Mengingat basis data dalam penelitian ini adalah gerakan tubuh, maka postur kerja yang diperagakan oleh responden terpilih dalam penelitian ini dapat dianggap sebagai representasi dari postur kerja pada kegiatan serupa yang dilakukan di berbagai lokasi lainnya (selama pemuatan dilakukan menggunakan teknik yang sama).

Alat yang Digunakan

Pengambilan data lapangan dilakukan di Kesatuan Pemangkuan Hutan Sukabumi Perum Perhutani Divisi Regional III Jawa Barat dan Banten pada Februari hingga Maret 2019. Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah video kamera serta komputer yang dilengkapi dengan perangkat lunak Kinovea (untuk menyajikan postur statis dari data rekaman video) dan 3 *Dimension Static Strength Prediction Program Version 7* (3DSSPP-V.7) yang dikembangkan oleh *Michigan University* (untuk menganalisis postur kerja dengan pendekatan biomekanik). Instrumen *Standardized Nordic Questionnaire* (SNQ) (Kuorinka dkk., 1987) dan *Wong-baker FACES® Pain Rating Scale* (Gambar 1) juga digunakan dalam penelitian ini untuk mengetahui keluhan gangguan otot secara subjektif dan intensitas rasa sakit pada bagian tubuh yang dikeluarkan.



Sumber: https://wongbakerfaces.org/wp-content/uploads/2016/05/FACES_English_Blue_w-instructions.pdf

Gambar 1. Skala rasa sakit pada *Wong-Baker FACES® Pain Rating Scale*.

Elemen Kerja Terpilih

Pengamatan pendahuluan terhadap kegiatan pemuatan *log* menunjukkan bahwa sebuah siklus kegiatan pemuatan *log* terdiri atas 3 elemen kerja yang secara berurutan terdiri atas: (1) pemindahan *log* (terdapat 3 teknik pemindahan manual yakni dipikul menggunakan alat bantu pikulan dan tali,

dipanggul di bahu, atau digelindingkan. Dalam penelitian ini, teknik pemindahan yang diteliti adalah teknik memindahkan *log* dengan cara digelindingkan), (2) menaikkan *log* ke atas bak truk, dan (3) menata *log* dalam bak truk. Elemen kerja pemindahan dimulai tepat saat pekerja berada pada posisi siap untuk menggelindingkan *log* baik dengan cara didorong maupun ditarik. Elemen kerja ini selesai tepat saat *log* telah berada di sekitar truk untuk kemudian dapat dinaikkan ke atas bak truk. Elemen kerja menaikkan *log* ke atas bak truk dimulai tepat saat *log* yang telah berada di sekitar truk didorong sepanjang titian (terbuat dari kayu berdiameter sekitar 10–13 cm). Elemen kerja ini berakhir saat *log* telah berada sepenuhnya di atas bak truk. Adapun elemen kerja penataan *log* dimulai tepat saat pekerja mendekati *log* yang telah berada di atas bak truk dan berakhir saat *log* telah tertata rapi di atas bak truk.

Ketiga elemen kerja tersebut merupakan elemen kerja “berulang” yang selalu muncul dalam setiap siklus kegiatan pemuatan *log*. Elemen-elemen kerja ini melibatkan kombinasi dari gerakan *lifting*, *pushing*, dan *pulling log* yang berisiko tinggi bagi kesehatan dan keselamatan kerja (Chaffin & Anderson, 1991). Oleh karena itu, ketiga elemen kerja dalam pemuatan *log* berukuran sedang ini dipilih sebagai objek dalam penelitian ini.

Data Antropometri

Pada postur kerja dan berat beban yang sama, besar gaya, momen, dan gaya tekan pada L5/S1 dapat bervariasi tergantung pada peubah bebas berupa berat dan panjang segmen tubuh (faktor antropometri). Dalam penelitian ini, ukuran antropometri yang digunakan adalah ukuran antropometri pada persentil 5% (berat badan model adalah 62.3 kg, tinggi badan 163.6 cm) sesuai default pada perangkat lunak 3DSSPP Versi 7. Ukuran antropometri tersebut cukup mirip dengan kisaran ukuran antropometri pekerja laki-laki sektor pertanian di Pulau Jawa (Syuaib, 2015).

Data Pendukung

Data lain yang turut diambil adalah data demografi responden, kebiasaan harian yang berhubungan dengan kesehatan, keluhan gangguan otot, tingkat rasa sakit, diameter dan



Gambar 2. Postur kerja pada kegiatan pemuatan log elemen kerja pemindahan log: (a) Postur 1, (b) Postur 2, (c) Postur 3.



Gambar 3. Postur kerja pada kegiatan pemuatan log elemen kerja menaikkan log ke atas bak truk: (a) Postur 4, (b) Postur 5, (c) Postur 6, (d) Postur 7.



Gambar 4. Postur kerja pada kegiatan pemuatan log elemen kerja menata log di atas bak truk: (a) Postur 8, (b) Postur 9, (c) Postur 10, (d) Postur 11, (e) Postur 12.

volume *log* yang diangkat, serta data kondisi lingkungan kerja lainnya yang mendukung analisis dalam penelitian.

Pemilihan postur kerja

Dari 71 siklus kerja yang diamati, postur kerja yang dilakukan saat pemuatan *log* ditangkap dengan menggunakan dua buah kamera video. Posisi kamera diatur agar dapat menangkap postur kerja pada sumbu sagital baik dari sisi kanan dan kiri pekerja. Hal ini dilakukan agar posisi seluruh segmen tubuh saat melakukan kerja dapat dipetakan dengan tepat.

Mengingat analisis biomekanik yang

dilakukan dalam penelitian ini adalah analisis biomekanik statis, maka rangkaian gerakan dari siklus terpilih yang terekam kamera video ditransformasikan ke dalam bentuk informasi/data statis (foto). Dalam tahap ini, perangkat lunak *Kinovea* digunakan untuk mengamati rangkaian gerakan saat memuat dan menangkap gerakan-gerakan pada interval yang ditentukan. Dalam penelitian ini terdapat 12 postur kerja yang berhasil diidentifikasi sebagai postur kerja dominan pada tiga elemen kerja dalam sebuah siklus pemuatan *log* (Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4).

Penentuan *Recommended Weight Limit (RWL)* dan *Lifting Index (LI)*

RWL ditentukan menggunakan rumus yang ditetapkan NIOSH (NIOSH, 1994) yang merupakan perbaikan dari perhitungan sebelumnya yang dikenal sebagai *Action Limit (AL)* dan *Maximum Permissible Limit (MPL)* (NIOSH, 1991). Nilai RWL ini digunakan untuk menentukan LI untuk memperkirakan besar stres fisik yang dialami pekerja pemuatan *log* saat melakukan pemuatan menggunakan teknik manual. RWL pada dasarnya setara dengan AL pada persamaan NIOSH 1991. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan RWL dan LI adalah:

$$RWL = (LC)(HM)(VM)(DM)(AM)(FM)(CM) \dots (1)$$

dimana:

LC = *load constant* = 51 lbs (23,13 kg)

HM = *horizontal multiplier* = (10/H)

VM = *vertical multiplier* = (1 - (0,0075 |V-30|))

DM = *distance multiplier* = (0,82 + (1,8/D))

AM = *asymmetric multiplier* = (1 - (0,0032A))

FM = *frequency multiplier*

CM = *coupling multiplier* (bernilai 1 jika genggamannya bagus, bernilai 0,95 jika genggamannya cukup dan $V < 30$ inci, bernilai 1 jika genggamannya cukup dan $V \geq 30$ inci, bernilai 0,90 jika genggamannya buruk)

H = *horizontal distance* (inci)

V = *vertical location*

D = *vertical travel*

A = sudut asimetri (*angular displacement* dari beban dihitung dari *sagittal plane*).

Sedangkan persamaan yang digunakan untuk menghitung LI adalah:

$$LI = L/RWL \dots (2)$$

dimana:

LI = *Lifting Index*

L = berat beban yang diangkat/

Dalam penelitian ini, AL dan MPL yang dihitung berdasarkan persamaan NIOSH 1991 tetap digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini, mengingat perangkat lunak yang digunakan dalam analisis biomekanik menggunakan kriteria batas aman AL sebesar 3400 N dan MPL sebesar 6400 N sesuai *Work Practice Guide for Manual Lifting* (NIOSH, 1981).

Analisis biomekanik

Postur kerja yang disimulasikan oleh perangkat lunak 3DSSPP Versi 7 menggunakan model yang didesain berdasarkan sistem koordinat Kartesian pada sumbu X, Y, dan Z, sehingga perhitungan gaya, momen, dan gaya kompresi dilakukan untuk seluruh sisi tubuh. Pemodelan yang dihasilkan juga dapat mendekati postur kerja sesungguhnya sesuai postur yang diperagakan pekerja saat melakukan kerja aktual pemuatan. Pada perangkat lunak ini, gaya dan momen dihitung dari segmen tubuh yang dimulai dari segmen telapak tangan, dan berakhir pada bagian telapak kaki.

Penilaian subjektif gangguan otot dan rasa sakit

Penilaian subjektif terhadap aspek gangguan otot dan rasa sakit dilakukan untuk memberikan informasi yang lengkap yang berguna dalam pembahasan postur kerja. Penilaian subjektif terhadap gangguan otot dilakukan dengan menggunakan instrumen *Standardized Nordic Questionnaire* (SNQ; Kuorinka dkk., 1987), yang dikombinasikan dengan penilaian tingkat rasa sakit menggunakan instrumen visual *Wong-baker FACES® Pain Rating Scale* (Gambar 1). Kedua instrumen digunakan karena keduanya menyediakan pilihan yang mudah dipahami oleh responden meskipun responden tersebut memiliki tingkat literasi rendah. Penilaian dilakukan terhadap sembilan bagian tubuh yakni daerah leher, bahu, siku, pergelangan tangan/tangan, punggung atas, punggung bawah, pinggul, lutut, dan pergelangan kaki/kaki.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Responden

Seluruh responden dalam penelitian ini berjenis kelamin laki-laki dengan usia bervariasi 18–63 tahun. Kebiasaan umum lain yang diketahui dari penelusuran kebiasaan harian adalah kebiasaan merokok. Tercatat sebagian besar responden menghabiskan lebih dari satu bungkus rokok perhari. Yovi dan Yamada (2019) menyebutkan bahwa rata-rata pekerja kehutanan level operator (dan dibawahnya) membelanjakan 17% dari total penghasilan bulanan untuk membeli

rokok, yang lebih besar dari nilai estimasi rata-rata pengeluaran untuk belanja rokok pada negara-negara berpendapatan menengah dan rendah (Eriksen dkk., 2012). Kebiasaan ini juga ditemukan pada pekerja di level *supervisor* lapangan. Angka ini sangat mempengaruhi kondisi finansial pekerja di kedua kelompok. Sebagai perbandingan, rata-rata rasio belanja makanan terhadap total penghasilan bulanan pada kelompok operator dan *supervisor* masing-masing adalah 53% (Yovi & Yamada, 2019) dan 46% (Yovi, 2019). Kedua angka ini jauh melebihi angka yang diperoleh dari pengamatan terhadap nilai belanja makanan pada keluarga dengan kemampuan ekonomi terbatas (lemah) (Castner & Mabli, 2010).

Pekerja bekerja bersama dalam sebuah regu kerja (biasanya beranggotakan 4–6 orang). Satu regu kerja biasanya bertanggung jawab atas kegiatan menyangkut, untuk kemudian memuat *log* ke atas bak truk angkutan, dan menurunkan *log* di tempat tujuan. Selama musim tebang normal, satu regu kerja dapat menyelesaikan sekitar satu atau dua truk per satu hari kerja. Upah kerja dihitung sebagai volume *log* yang berhasil disarad atau dinaikkan ke atas truk dan diberikan secara berkala (interval waktu yang disepakati, biasanya bersifat mingguan). Sistem pengupahan ini diduga berkontribusi terhadap lemahnya motivasi pekerja keuletan pada level operator di Indonesia untuk meningkatkan ilmu K3 berupa perilaku kerja yang aman dan selamat (Yovi & Nurrochmat, 2018; Yovi & Yamada, 2019).

Nilai RWL dan LI

Penghitungan RWL dan LI dilakukan pada kegiatan yang berhubungan dengan postur mengangkat, yang dalam penelitian ini ditentukan pada kegiatan penataan *log* di atas bak truk. Postur 8, 9, dan 10 (Gambar 3) digunakan sebagai model penghitungan. Dalam perhitungan ini, *load constant* adalah 51 lbs (setara 23 kg). Jarak datar antara tubuh pekerja dan *log* yang diangkat (*H*, *horizontal location*) adalah 5 cm (2 inci), sehingga nilai *horizontal multiplier* (HM) adalah 1. Adapun posisi tangan saat akan mengangkat *log* terhadap lantai (*V*, *vertical location*) adalah 5 cm (2 inci), sehingga nilai *vertical multiplier* (VM) adalah 0,79. Jarak vertikal pengangkatan *log* (*D*) adalah 56 cm

(22 inci), sehingga nilai *distance multiplier* (DM) adalah 0,902. Pekerja meletakkan *log* di lokasi penyimpanan pada arah kanan atau kiri (*frontal plane*) sebesar 22,5° sehingga *asymmetric multiplier* (AM) bernilai 0,928.

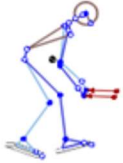
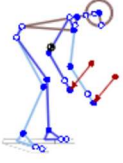
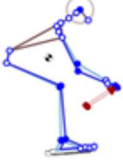
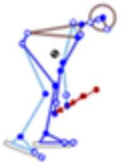
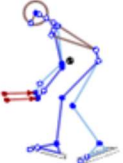
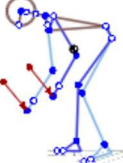
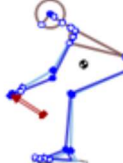
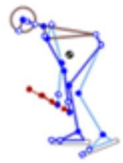




Pengamatan lapangan yang dilakukan pada sebuah regu kerja menunjukkan bahwa total waktu kerja yang diperlukan untuk menyelesaikan pekerjaan pemuatan per truk (71 *log*) adalah 10.835 detik (152,6 detik per *log*). Hingga *log* selesai ditata dalam bak truk, terdapat 3 kali ulangan postur mengangkat *log* (satu kali saat pemindahan dan dua kali saat penataan). Hal ini berarti bahwa frekuensi kegiatan mengangkat adalah sekitar 1,18 kali *lifting* per menit, maka nilai *frequence multiplier* adalah 0.75. Selanjutnya, mengangkat *log* pada pekerjaan dengan tingkat kerataan permukaan yang buruk karena permukaan *log* yang tidak rata menyebabkan pekerja cukup kesulitan menggenggam *log* (*coupling*) dengan erat sehingga nilai *coupling multiplier* (CM) adalah 0.9 (*poor*).

Berdasarkan data-data tersebut, nilai RWL hasil penghitungan adalah 24,8 lbs (11.2 kg), sehingga nilai LI adalah 10. Berdasar standar NIOSH, nilai LI sebesar 10 mengindikasikan bahwa pemuatan *log* secara manual yang dilakukan saat ini tergolong sebagai pekerjaan dengan risiko cedera yang tinggi pada bagian punggung bawah (*low back*) akibat gerakan mengangkat yang sangat intensif. Oleh karena itu, diperlukan beberapa intervensi (misal: teknik, ergonomi) untuk memperkecil tingkat risiko tersebut.


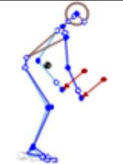
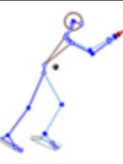
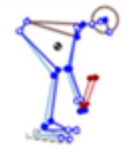
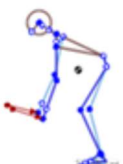
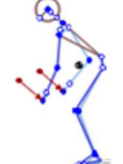
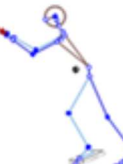





Analisis Biomekanik

Dalam model yang dibangun, asumsi yang digunakan adalah (1) besar beban pada kedua tangan dianggap sama, dan jika *log* dikerjakan lebih dari 1 pekerja, maka (2) berat *log* didistribusikan merata kepada setiap pekerja. Dalam simulasi ini, volume *log* adalah 0.21 m³ dengan berat 113.66 kg. Jika *log* dikerjakan seorang diri maka beban pada setiap tangan (kanan dan kiri) adalah 56.8 kg atau 557.3 N. Jika pekerjaan dilakukan oleh 2 pekerja maka beban pada setiap tangan (kanan dan kiri) akan bernilai 278.5 N, sedangkan jika pekerjaan dilakukan oleh 3 pekerja, maka beban pada tangan kanan dan kiri

Tabel 1. Model biomekanik Postur 1, Postur 2, Postur 3, dan Postur 4

Model biomekanik	Postur 1	Postur 2	Postur 3	Postur 4
Sisi kanan				
Sisi kiri				
Tampak depan				

Tabel 2. Model biomekanik Postur 5, Postur 6, Postur 7, dan Postur 8

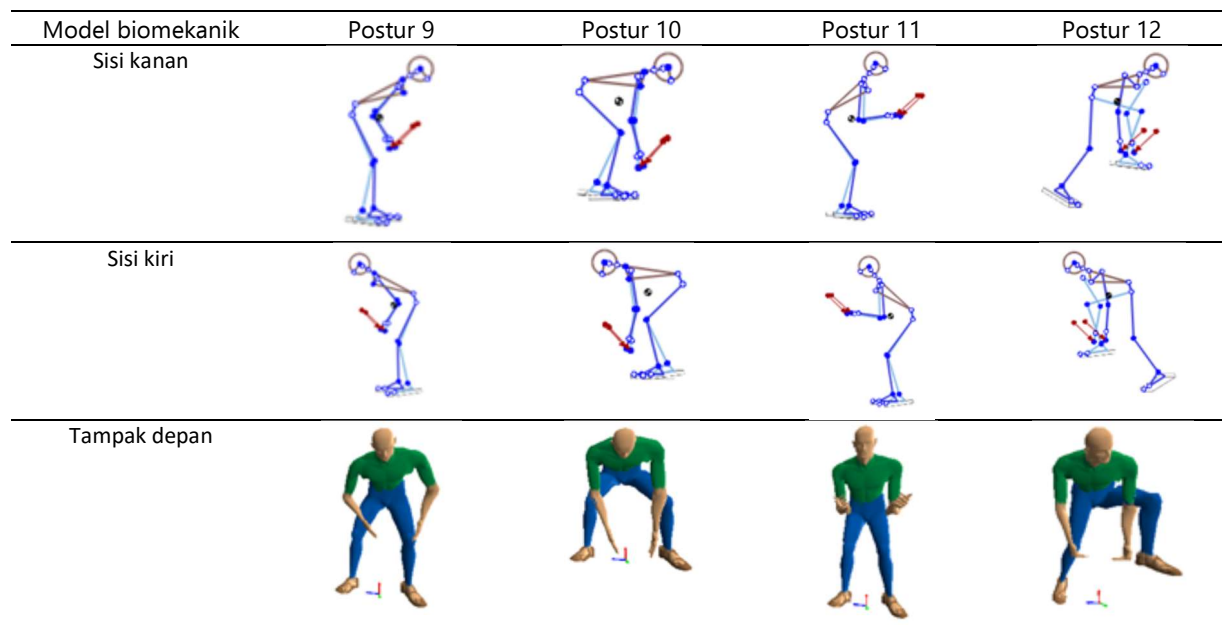
Model biomekanik	Postur 5	Postur 6	Postur 7	Postur 8
Sisi kanan				
Sisi kiri				
Tampak depan				

setiap pekerja adalah 185.8 N. Hasil simulasi model biomekanik statis pada setiap postur disajikan pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3.

Gambar 2, Gambar 3, Gambar 4, Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4 memverifikasi dugaan bahwa pekerjaan pemuatan log ke atas bak truk memerlukan kombinasi dari gerakan *lifting*,

pushing, dan *pulling*. Terdapat 12 postur yang dianggap mewakili gerakan tubuh pekerja saat melakukan pemuatan. Postur 1, Postur 4, Postur 5, Postur 6, Postur 7, Postur 11, dan Postur 12, ketujuhannya didominasi gerakan mendorong, Postur 3 didominasi gerakan menarik, dan Postur 2, Postur 8, Postur 9, dan Postur 10 berkaitan

Tabel 3 Model biomekanik Postur 9, Postur 10, Postur 11, dan Postur 12



Tabel 4. Hasil analisis biomekanik pada kegiatan pemuatan log secara manual

Postur	Gaya pada tangan (<i>hand forces</i>) (N)*	Total gaya tekan (<i>total compression forces</i>) pada L5/S1)	<i>Strenght percent capable (%)</i> *							Stabilitas (<i>standing balance</i>)
			1	2	3	4	5	6	7	
Postur 1	185.8	4129±292	17	94	6	90	81	98	98	"Unacceptable"
Postur 2	278.5	8701±639	0	4	0	26	26	51	92	"Acceptable"
Postur 3	185.8	1271±366	30	27	34	82	93	96	100	"Critical"
Postur 4	185.8	6179±448	16	64	13	69	67	95	97	"Acceptable"
Postur 5	185.8	5554±407	7	38	1	73	72	90	99	"Acceptable"
Postur 6	185.8	4497±323	6	68	9	82	59	98	100	"Critical"
Postur 7	185.8	2946±190	93	100	71	90	90	98	94	"Acceptable"
Postur 8	557.3	13894±1038	0	0	0	1	3	1	38	"Acceptable"
Postur 9	557.3	9514±691	0	0	0	3	2	99	67	"Unacceptable"
Postur 10	557.3	16237±1181	0	0	0	0	3	0	84	"Acceptable"
Postur 11	278.5	5485±390	3	84	0	67	68	99	95	"Unacceptable"
Postur 12	557.3	13377±948	0	0	0	0	0	100	71	"Acceptable"

*Angka menggambarkan persentasi dari populasi (dengan ukuran antropometri serupa dengan *percentile* 5% populasi yang digunakan 3DSSPP Ver. 7) yang mampu melakukan postur kerja tersebut selama 5 detik (terus menerus) dengan istirahat sedikitnya 2 menit.

Keterangan: 1: pergelangan tangan, 2: siku, 3: bahu, 4: torso (batang tubuh), 5: pinggul, 6: lutut, 7: pergelangan kaki.

dengan gerakan mengangkat *log*.

Analisis biomekanik menunjukkan ancaman gangguan kesehatan kerja yang tinggi pada kegiatan pemuatan *log* secara manual. Tingginya

gaya tekan pada L5/S1 pada saat pekerja melakukan kegiatan terlihat pada 10 dari 12 postur kerja yang teridentifikasi (Tabel 2). Hanya Postur 3 dan Postur 7 yang memberikan gaya tekan pada

L5/S1 di bawah nilai AL. Postur 1, Postur 5, Postur 6, dan Postur 11 menyebabkan gaya tekan di atas AL, tetapi di bawah MPL. Sisanya, yakni Postur 2, Postur 4, Postur 8, Postur 9, Postur 10, dan Postur 12 menyebabkan gaya tekan jauh di atas 6500 N. Beban pada L5/S1 yang lebih besar dari 3400 N akan meningkatkan risiko cedera sebesar 3 kali dari pada beban di bawah 3400 N, artinya beban di atas AL ini tidak dapat diterima pada sebagian pekerja, sehingga diperlukan intervensi. Adapun beban di atas 6400 N pada L5/S1 sangat berbahaya, dan berpotensi memberikan risiko cedera sebesar 10 kali dari beban di bawah 3400 N (Chaffin & Anderson, 1991). Hanya sekitar 25% pekerja laki-laki dan 1% pekerja wanita yang sanggup melakukan pekerjaan dengan beban sebesar ini (Nelson dkk., 1995).

Pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa seringkali pekerjaan menata *log* di atas bak truk dilakukan hanya oleh satu pekerja. Sebagian pekerja menganggap pekerjaan mengangkat *log* yang beratnya mencapai 100 kg sendirian merupakan hal "biasa" yang tidak perlu dipermasalahkan dan mereka merasa "mampu" untuk melakukannya sendiri (Bewick & Gardner, 2000), sehingga menunda pekerjaan untuk menunggu pekerja lain membantu merupakan hal yang dianggap berlebihan. Sikap kerja ini pada akhirnya menimbulkan paparan gaya tekan yang berlebihan pada sebagian postur kerja yang pada akhirnya akan menimbulkan dampak negatif bagi kesehatan kerja pekerja (Kroemer & Grandjean, 1997; Kumar, 2001; Sakka dkk., 2015).

Aspek lain yang perlu menjadi bahan pertimbangan untuk melakukan intervensi dalam kegiatan pemuatan *log* adalah *strength percent capable* yakni batas durasi pekerja mampu mempertahankan posisinya (secara statis) sebelum ia mengalami kelelahan otot (*localized musculoskeletal fatigue*). Hasil perkiraan *strength percent capable* (Tabel 2) menunjukkan bahwa hanya sedikit pekerja yang mampu mempertahankan postur-postur kerja dengan gaya tekan sangat tinggi (di atas 3500 N) pada durasi di atas 5 detik. Bahkan, pada Postur 2, Postur 5, Postur 8, Postur 9, Postur 10, Postur 11, dan Postur 12, terdapat fakta bahwa tidak seorang pun pekerja (0% dari populasi) diperkirakan

mampu mempertahankan postur pada posisi statis (lebih dari 5 detik) tanpa berpotensi mengalami kelelahan pada beberapa bagian tubuh yang penting untuk mempertahankan posisi *log*. Walaupun angka-angka ini merupakan perkiraan untuk gerak statis (sedangkan pemuatan *log* bersifat dinamis), tetapi fakta bahwa postur yang kurang lebih sama diulang untuk 57–139 batang *log* untuk memenuhi satu truk (terdapat dua truk yang perlu diisi per harinya) dengan berat rata-rata tiap *log* mencapai 100 kg, maka potensi terjadinya kelelahan otot saat bekerja menjadi sangat tinggi karena faktor pengulangan (Ferguson dkk., 2003; Hansen dkk., 2012). Jika kelelahan tersebut terjadi disaat pekerja sedang melakukan aktivitas mengangkat, mendorong, atau menarik *log* yang berat, maka kecelakaan kerja yang terjadi berpotensi menyebabkan cedera parah bagi pekerja (Kumar, 2001). Oleh karena itu, *localized musculoskeletal fatigue* ini perlu direduksi.

Dari sudut pandang titik keseimbangan, dari 12 postur yang di peragakan oleh pekerja dalam kegiatan pemuatan *log*, 3 postur kerja dikategorikan sebagai postur dengan standing balance yang tergolong "*unacceptable*" dan 2 lainnya tergolong "*critical*". Titik keseimbangan yang buruk ini memperbesar risiko terjadinya kecelakaan kerja karena pekerja dapat dengan mudah tergelincir atau terjatuh saat mengangkat dan mendorong *log* akibat kontrol keseimbangan yang buruk. Potensi jumlah korban menjadi besar, karena pekerjaan-pekerjaan ini dilakukan secara beregu. Saat tergelincir, *log* yang diangkat pekerja dapat terjatuh dan tidak saja menimpa dirinya melainkan juga menimpa rekan kerja lainnya. Pengamatan lapangan menunjukkan bahwa sepatu kerja yang digunakan saat ini bukan sepatu dengan spesifikasi keselamatan baku (Gambar 5). Sol bagian bawah sepatu tersebut tidak cukup baik untuk memberikan traksi yang diperlukan saat pekerja melakukan kegiatan pemuatan, terutama saat menaikkan *log* ke atas truk.

MSDs

Secara objektif, perhitungan dan analisis terhadap nilai RWL, LI, dan analisis biomekanik mengindikasikan bahwa postur-postur kerja dalam kegiatan pemuatan menyebabkan pekerja

dibebani oleh gaya tekan pada bagian pinggang yang cukup besar (beberapa postur melebihi MPL) sehingga rentan mengalami cedera pada pinggang, mudah kehilangan keseimbangan sehingga rentan terjatuh dan mengalami kecelakaan kerja, serta berisiko mengalami *localized musculoskeletal fatigue*. Tingginya risiko ini juga terverifikasi melalui analisis yang bersifat subjektif yang dijaring melalui instrumen SNQ dan *Wong-Baker Faces® Pain Rating Scale* (Gambar 4).

Secara umum, punggung bawah (*lower back*) dan bahu merupakan bagian tubuh dengan keluhan paling parah di antara sembilan bagian tubuh lainnya, diikuti oleh punggung atas (*upper back*). Walaupun rasa sakit yang hebat hanya dikeluhkan oleh sebagian kecil pekerja, bagian tangan (termasuk pergelangan) ternyata merupakan bagian tubuh lain yang perlu mendapat perhatian serius. Hasil ini secara keseluruhan sesuai dengan hasil perhitungan gaya tekan L5/S1 (Tabel 2) dan mirip dengan hasil penelitian Yovi dan Yamada (2019) yang menunjukkan bahwa pekerja penyaradan manual (termasuk dalam kegiatan penyaradan yang dimaksud adalah pemuatan) mengalami gangguan pada bagian punggung atas, pinggang,

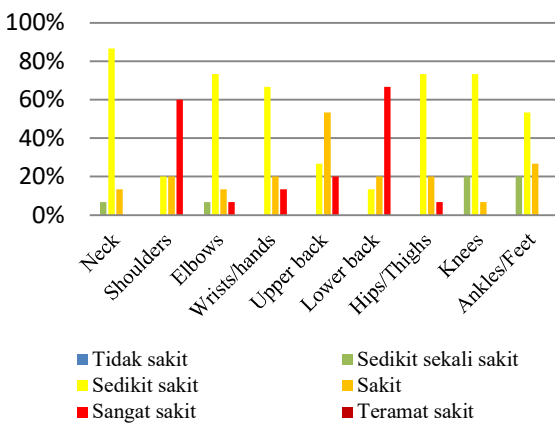
pengulangan gerakan yang dilakukan secara intensif (Hansen dkk., 2012), berat *log* yang melebihi batas aman, serta gerak tubuh ekstrem yang dilakukan pekerja dalam menyelesaikan tugasnya (Bos dkk., 2007).

Gangguan otot perlu dipahami sebagai gangguan yang tidak sepele. Gangguan otot tubuh ini akan menyebabkan penurunan produktivitas kerja, dan yang paling fatal adalah kemunduran kualitas hidup pekerja. Data kerugian ekonomi yang diakibatkan gangguan otot di Indonesia belum tersedia secara lengkap, tetapi sebagai perbandingan Piedrahita (2006) menyebutkan bahwa nilai gangguan otot di Columbia telah menghabiskan biaya sebesar 0.2% dari GDP Columbia pada 2005 (sekitar Rp1,57 triliun rupiah).

Intervensi yang diperlukan

Berdasarkan hasil analisis terhadap data yang diperoleh, intervensi yang tepat perlu segera dilakukan untuk mengatasi permasalahan gangguan K3 pekerja. Intervensi yang dilakukan harus dapat menjamin pekerja melakukan kegiatan pemuatan dengan standard perlindungan K3 yang memadai, tetapi tetap berbiaya murah dan mudah diaplikasikan di lapangan. Intervensi yang mungkin dilakukan, disajikan dalam bagian berikut secara berurutan sesuai hirarki kontrol bahaya (pengendalian berupa eliminasi tidak dibahas mengingat eliminasi tidak dimungkinkan untuk diaplikasikan dalam kegiatan pemuatan *log* secara manual).

Pertama adalah penggunaan alat bantu. Saat ini, kegiatan pemuatan *log* saat ini dilakukan tanpa alat bantu, atau jika ada hanya berupa pole sebagai titaan *log* saat dinaikkan ke atas truk. Teknik pemuatan secara manual tersebut menyebabkan pekerja berpotensi mengalami gangguan kesehatan serius. Oleh karena itu bentuk intervensi yang direkomendasikan adalah penggunaan alat bantu (Bewick & Gardner, 2000). Sesuai dengan sistem kerja (bersifat kontrak) dan kemampuan finansial pekerja yang terbatas, alat bantu yang digunakan perlu dipertimbangkan agar murah (dalam hal biaya pengadaan, perawatan) dan mudah dioperasikan, serta dapat meningkatkan produktivitas kerja.



Gambar 5. Keluhan gangguan otot dan tingkat rasa sakit yang diderita pekerja pemuatan log.

dan tangan. Pergerakan yang mirip, yakni mengoperasikan *chainsaw* pada kegiatan penebangan juga mengindikasikan hal yang sama (Yovi & Prajawati, 2015). Kondisi ini dipicu oleh

Aplikasi penggunaan alat muat *portable* dengan menggunakan prinsip katrol sebagai alat bantu angkat (baik dengan penggerak manual ataupun mekanis) sangat direkomendasikan sebagai pengganti sistem pemuatan manual yang dilakukan saat ini. Katrol akan mempermudah pekerja saat menaikkan *log* ke atas bak truk. Saat menata *log* di atas bak truk, penggunaan katrol tidak saja dapat mengurangi beban kerja fisik yang ditanggung pekerja, melainkan juga akan mengurangi paparan pekerja dengan sumber bahaya secara langsung sehingga dapat menurunkan kemungkinan terjadi kecelakaan kerja.

Kedua adalah pengendalian administratif (*administrative control*). Dalam konteks administrasi, pemberi kerja perlu memberikan dorongan bagi pekerja untuk merubah sikap kerja melalui penyusunan SOP yang memberikan akomodasi sikap kerja yang tepat dan baik seperti: (1) tidak memperbolehkan pekerja untuk mengangkat, membawa, memindahkan, mendorong, atau menarik *log* dengan kategori ukuran tertentu secara sendirian, dan (2) mengharuskan pekerja untuk menggunakan alat bantu yang sesuai untuk ukuran tersebut. Dalam SOP juga perlu dinyatakan (3) adanya keharusan pekerja untuk menggunakan APD yang tepat, terutama sepatu keselamatan dan sarung tangan (untuk meningkatkan kemampuan bekerja terhadap *log*) sebelum memulai pekerjaannya, (4) adanya prosedur pemeriksaan kelengkapan APD dan sikap kerja baik dalam bentuk *safety talk* atau diskusi informal secara berkala (sebelum pekerjaan dilakukan, saat pembagian upah kerja, dll), dan (5) adanya pemberian informasi/pengetahuan K3 secara berkala (Yovi & Yamada, 2015) sehingga pekerja memiliki pengetahuan yang cukup terkait perlindungan K3.

Ketiga adalah alat pelindung diri (APD). Dalam hal kemampuan mempertahankan keseimbangan tubuh, analisis biomekanik (Tabel 4) mengindikasikan perlunya meningkatkan *standing balance*. Selain dengan memperbaiki postur kerja (yang secara otomatis berarti perubahan teknik kerja), keseimbangan tubuh yang lebih baik dapat dicapai dengan meningkatkan traksi antar lantai kerja dengan pekerja, melalui penggunaan sepatu

kerja yang tepat. Traksi sangat tergantung pada beragam faktor, diantaranya jenis dan bentuk permukaan lantai tempat kerja dan jenis sepatu/alas kaki yang digunakan pekerja saat melakukan pemuatan (Kim, 2012). Mengingat modifikasi lantai kerja sangat sulit dilakukan, maka intervensi yang tepat adalah tidak mengenakan sepatu kerja seperti saat ini (Gambar 5), melainkan mengenakan jenis sepatu dengan kemampuan traksi yang lebih baik untuk memperkecil potensi tergelincir (Kim, 2012).



Gambar 6. Tipe alas kaki yang umum dikenakan pekerja pemuatan *log* saat ini.

IV. SIMPULAN

Kegiatan pemuatan *log* ke atas bak truk secara manual merupakan kegiatan yang memerlukan pelaksanaan aktivitas *lifting*, *pushing*, dan *pulling*. Sesuai standard NIOSH yang menjadi acuan internasional, nilai RWL dalam pemuatan *log* secara manual adalah 11.2 kg (yang jauh lebih kecil daripada berat *log* yang diangkut dalam kegiatan aktual di lapangan) dan nilai LI sebesar 10. Nilai-nilai ini mengindikasikan bahwa pemuatan *log* secara manual tergolong sebagai pekerjaan dengan risiko cedera yang tinggi pada bagian punggung bawah (*low back*) akibat gerakan mengangkat yang sangat intensif. Dari sudut pandang biomekanik, postur kerja dalam kegiatan pemuatan didominasi oleh postur yang menyebabkan gaya tekan yang tinggi pada L5/S1 yang berpotensi menyebabkan cedera serius pada bagian punggung bawah. Pemuatan *log* juga menyebabkan pekerja melakukan gerakan ekstrem dengan kontrol keseimbangan rendah sehingga

menyulitkan pekerja mempertahankan titik keseimbangan tubuh agar tidak terjatuh. Kegiatan pemuatan juga berpotensi memicu terjadinya *localized musculoskeletal fatigue* yang berbahaya mengingat kegiatan pemuatan dilakukan berulang secara intens. Penilaian subjektif pekerja memverifikasi permasalahan tersebut. Keluhan gangguan otot ditemukan pada bagian punggung bawah, bahu, punggung atas, dan tangan. Oleh karena itu, diperlukan intervensi baik dengan mensubstitusi teknik kerja (penggunaan alat bantu), perbaikan administrasi kerja (perbaikan SOP dan pengawasan kerja), serta penggunaan sepatu kerja anti slip.

DAFTAR PUSTAKA

- Bos, J., Mol, E., Visser, B., Frings-Dresen, M.H.W. (2007). The physical demands upon (Dutch) fire-fighters in relation to the maximum acceptable energetic workload. *Ergonomics*, 47(4), 446–460.
- Castner, L., Mabli, J. (2010). *Low-income household spending pattern and measures of poverty*. [daring] <https://fnsp.prod.azureedge.net/sites/default/files/SpendingPatterns.pdf> (25 April 2018)
- Chaffin, D.B., Anderson, G.B.J. (1991). *Occupational Biomechanics, 2nd Edition*. New York (US): Jhon Willey & Sons Inc.
- Eriksen, M., Mackay, J., Ross, H. (2012). *The Tobacco Atlas. 4th edition*. Atlanta: American Cancer Society.
- Ferguson, S.A., Allread, W.G., Le, P., Rose, J., Marras, W.S. (2003). Shoulder muscle fatigue during repetitive tasks as measured by electromyography and near-infrared spectroscopy. *Human Factors*, 55(6), 1077–1087. DOI:10.1177/0018720813482328.
- Frankel, V.H. Nordin, M. (1980). *Basic Biomechanics of the Skeletal System*. Philadelphia (US): Lea and Febiger.
- Hansen, C.D., Rasmussen, K., Kyed, M., Nielsen, K. J., Andersen, J. H. (2012). Physical and psychosocial work environment factors and their association with health outcomes in Danish ambulance personnel - A cross-sectional study. *BMC Public Health*, 12(1), 534.
- Kim, J.S. (2012). A comparison of slip resistance between the grinded outsoles and new ones of fire fighter's shoes. *Procedia Engineering*, 45 (2012), 868–874. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.08.251.
- Kroemer, K. H. E., Grandjean E. (1997). *Fitting the Task to the Human, 5th Edition*. Bristol, PA: Taylor & Francis.
- Kumar, S. (2001). Theories of musculoskeletal injury causation. *Ergonomics*, 44(1): 17–47.
- Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, A., Vinterberg, H., Biering-Sørensen, F., Andersson, G., Jørgensen, K. (1987) Standardized Nordic Questionnaire for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Applied Ergonomics*, 18(3), 233–237.
- Nelson, G.S., Wickes, English, J.T. (1995). *Manual Lifting: The Revised NIOSH Lifting Equation for Evaluating Acceptable Weights for Manual Lifting*. Nelson and Associates, retrieved from: <http://www.hazardcontrol.com/factsheets/pdfs/NIOSH-1994.pdf> (2 August 2019).
- Bewick, N., Gardner, D. (2000). Manual handling injuries in health care workers. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 6(2), 209–221. DOI:10.1080/10803548.2000.11076452
- [NIOSH] National Institute for Occupational Safety and Health. (1981). *Work Practice Guide for Manual Lifting*. Department of Health and Human Services (DHHS), National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Publication No. 81–122.
- [NIOSH] National Institute for Occupational Safety and Health. 1991. *Work Practices Guide for Manual Lifting*. Ohio (USA): US Government Printing Office.
- [NIOSH] National Institute for Occupational Safety and Health. (1994). *Applications Manual for The Revised NIOSH Lifting Equation*. <http://www.cdc.gov/niosh> (2 August 2019).
- Piedrahita, H. (2006). Costs of work-related musculoskeletal disorders (MSDs) in developing countries: Colombia case. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 12(4), 379–386. DOI: 10.1080/10803548.2006.11076696.
- Sakka, S., Chablat, D., Ma, R., Bennis, F. (2015). Predictive model of the human muscle fatigue: application to repetitive push-pull tasks with light external load. *International Journal of Human Factors Modelling and Simulation*, 5(1), 81–97.
- Syuaib, M.F. (2015). Anthropometric study of farm workers on Java Island, Indonesia, and its implications for the design of farm tools and equipment. *Applied Ergonomics*, 51, 222–235. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.05.007>
- Yovi, E.Y., Syuaib, M.F. (2016). *Buku Pintar Menebang Pohon bagi Operator Chainsaw*. Bogor: IPB Press. ISBN 978-602-440-004-0
- Yovi, E.Y., Yamada, Y. (2015). Strategy to disseminate occupational safety and health information to forestry workers: the felling safety game. *Journal of Tropical Forest Science*, 27(2), 213–221.
- Yovi, E.Y., Yamada, Y. (2019). Addressing occupational ergonomics issues in Indonesian forestry: Laborer,

operator, or equivalent workers. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 40 (2), 351-363. DOI:10.5552/crojfe.2019.558

- Yovi, E.Y., Nurrochmat, D.R. (2018) An occupational ergonomics in the Indonesian state mandatory sustainable forest management instrument: A review. *Forest Policy and Economics*, 91, 27–35. DOI: 10.1016/j.forpol.2017.11.007
- Yovi, E.Y., Pradjawati, W. (2015) High risk posture on motor-manual short wood logging system in Acacia mangium plantation. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika XXI* (1):11–18. DOI: 10.7226/jtfm.21.1.11
- Yovi, E.Y., Takimoto, Y., Ichihara, K., Matsubara, C. (2005) A study of workload and work efficiency in timber harvesting by using chainsaw in pine plantation forest in Java Island: Clear cutting operation. *Applied Forest Science*, 14 (1),17–26.
- Yovi, E.Y. (2019). Status ergonomi pekerja sektor kehutanan di Indonesia: Kelelahan fisik-mental-sosial, kepuasan kerja, konsep sumber bahaya, dan konsep biaya kecelakaan. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 13 (2) (in press).