

Maderas. Ciencia y tecnología

ISSN: 0717-3644 ISSN: 0718-221X

Universidad del Bío-Bío

Belleville, Benoit; Lancelot, Kilva; Galore, Elaine; Ozarska, Barbara Assessment of physical and mechanical properties of Papua New Guinea timber species Maderas. Ciencia y tecnología, vol. 22, no. 1, 2020, pp. 3-12 Universidad del Bío-Bío

Available in: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48564116001



Complete issue



Journal's webpage in redalyc.org

Fre lalyc.org

Scientific Information System Redalyc

Network of Scientific Journals from Latin America and the Caribbean, Spain and Portugal

Project academic non-profit, developed under the open access initiative

ISSN impresa 0717-3644 ISSN online 0718-221X

DOI:10.4067/S0718-221X2020005000101

ASSESSMENT OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PAPUA NEW GUINEA TIMBER SPECIES

Benoit Belleville^{1,2}, Kilva Lancelot², Elaine Galore³, Barbara Ozarska¹

ABSTRACT

A comprehensive testing program has been developed to assess different physical and mechanical properties of 26 commercial and lesser-known Papua New Guinea species from secondary and plantation forests. The impact of log position in a tree on the mechanical properties has also been assessed to optimize the utilization of timbers along the value chain. The results showed that stiffness and bending strength tend to decrease or remain unchanged along the stem. Shear strength and Janka hardness displayed a similar trend to a lesser extent where the position in the tree had a limited impact on compression strength properties. Thus, segregating based on log position can be of interest where desired mechanical properties and costs associated with segregating justify optimum mechanical properties for the intended end use. The properties of selected species from plantations and regrowth forests were generally lower than those found in the literature for timbers from old-growth forests. The size of specimens tested, the amount and provenance of tested material, and some adaptive traits for tropical tree species are some factors potentially explaining observed differences. However, a comparison with recent studies tends to confirm the overall reduction of physical and mechanical properties when compared with old-growth forests timbers.

Keywords: Compression strength, flexural bending strength, hardness, plantations, regrowth forests, shear, stiffness.

INTRODUCTION

Papua New Guinea (PNG) is an Oceanian country located in the south-western Pacific Ocean region. The country has a total land area of 46,3 million hectares of which 33,6 million ha is estimated to contain forest cover (FAO 2015). Primary and regenerated forests represent 52,4% and 47,6% of the forest area, respectively, accounting for a total growing stock of 5195 million m³. According to the PNG Forest Authority, there are more than 2000 tree species in PNG, of which 20% are utilized in one way or another for commercial use (PNGFA 2007). Commercial forest plantations started in the 1960s with sporadic progress and currently covering 62277 ha. The country aims to develop 240000 ha of commercially viable and sustainable commercial forest plantations by the year 2030 to sustain 3,6 million m³ of industrial timber currently harvested from natural forest annually.

Although the forest cover in PNG is large and diverse, knowledge of the current timber resource is scarce. In the 1970s, an exhaustive review of the mechanical properties of PNG timbers from native forests has been conducted by Bolza and Kloot (1976). However, the most valuable commercial timbers have since been harvested in large areas of the primary rainforest as a result of forest policies focussing on export logging. Second-

Received: 12.12.2018 Accepted: 01.09.2019

¹The University of Melbourne, Faculty of Science, School of Ecosystem and Forest Sciences, Richmond, Victoria, Australia.

²PNG Forest Research Institute, Lae, Morobe Province, Papua New Guinea.

³Timber and Forestry Training College, Lae, Morobe Province, Papua New Guinea.

^{*}Corresponding author: benoit.belleville@unimelb.edu.au

ary forests are recovering in terms of merchantable timber and carbon stocks but much of the potential timber resource is of lesser-known timber species.

Recent studies by Edwin and Ozarska (2015) and Kotlarewski *et al.* (2016) determined selected mechanical properties of some PNG timber species. However, there are still many research and structural challenges, constraints, and opportunities at different levels which need to be addressed to support the development of competitive value-added wood industries. The influence of environmental conditions and other growth factors on wood mechanical properties and the challenges associated with using this material has been the subject of numerous studies worldwide. Barrett and Kellogg (1991) noted a reduction in the mechanical properties of second growth Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) when compared to old-growth timber. Other studies also demonstrated that properties of wood produced from managed trees are different from wood produced in natural stands (Bendtsen 1978, Pearson and Gilmore 1980).

Currently, most local wood processing in PNG is focused on primary conversion of logs to low-grade building materials. Technical knowledge and capacity about efficient processing of different native timber species and produce a broader range of wood products are very low. The variability in properties of the wood material and of the finalized timber products indicates a potential for optimization too. Consequently, there is a need to provide research and technology development to develop and implement commercially sustainable log supply chains, knowledge, and capacity in wood science and processing technologies, as well as the processing structures which support successful domestic value-adding wood processing enterprises.

The aim of the project was to increase the contribution that utilization of forest resources makes to national and local economies, including landowners and processors, through the development of domestic value-added wood processing methods. The specific objectives were to 1) enhance the knowledge of wood properties of PNG timbers to facilitate greater value adding; 2) identify any relationship between log position in a tree and the mechanical properties of timber products to optimize the utilization of PNG timbers at various stages of the chain. Therefore, a testing program has been developed including the assessment of physical and mechanical properties of selected commercial and lesser-known species from secondary and plantation forests.

MATERIALS AND METHODS

Harvesting

The testing program has been divided into two groups of species to facilitate harvesting and specimens' preparation logistic. Each group included 13 species from plantations and regenerated forests (also known as regrowth forests) located in the Morobe and West New Britain provinces, PNG (Table 1). Nine species were harvested from plantations and 17 from regenerated forests (3 softwoods, 23 hardwoods). A total of 130 trees, *i.e.* 5 trees per species, have been selected and harvested in accordance with ASTM D5536 (2010). The trees have been selected based on the following selection criteria: 1) the tree had to be more than 15 years old after regrowth or planting; 2) all trees for a specific species had to be from the same forest area; 3) the selected trees had to be representative of the population, with good form and merchantable height. Following harvesting, the total merchantable height of each tree has been further cut into 3 to 4 m-long logs, labeled as per height from ground (*i.e.* bottom, middle, and top section), and milled. The milled sawn boards were then kiln-dried to 12% moisture content.

Table 1: PNG studied species information.

Species	Trade Name	Origin	Age (years)	DBH (cm)
Plantations (9 species)				
Araucaria	Pine, Hoop	Bulolo, Morobe	28	39 (4)
cunninghamii				
Araucaria hunsteinii	Pine, Klinki	Bulolo, Morobe	43	63 (5)
Castanospermum	Blackbean	Kimbe, West	17	42 (4)
australe		New Britain		
Eucalyptus deglupta	Kamarere	Kimbe, West	29	60 (14)
		New Britain		
Eucalyptus pellita	Pellita	Lae, Morobe	18	36 (5)
Magnolia tsiampacca	Beech, Wau	Lae, Morobe	17	34 (4)
Pinus caribaea	Pine, Caribbean	Lae, Morobe	31	55 (6)
Pometia pinnata	Taun	Lae, Morobe	18	48 (6)
Terminalia brassii	Terminalia, Brown	Lae, Morobe	31	54 (8)
Secondary Forests / Re	growth (17 species)			
Alstonia scholaris	Cheesewood, White	Lae, Morobe	17 to 20	46 (12)
Anisoptera thurifera	Mersawa, PNG	Lae, Morobe	+20 •	46 (8)
Anthocephalus	Labula	Lae, Morobe	+20 •	51 (8)
chinensis				
Canarium oleosum	Canarium, Grey	Lae, Morobe	17 to 20	40 (2)
Elaeocarpus	Quandong, PNG	Lae, Morobe	17 to 20	54 (15)
sphaericus				
Endospermum	Basswood, PNG	Lae, Morobe	+20 *	47 (14)
medullosum				
Falcataria moluccana	Albizia, White	Lae, Morobe	+20 *	64 (9)
Homalium foetidum	Malas	Lae, Morobe	17 to 20	52 (16)
Hopea iriana	Hopea, Heavy	Lae, Morobe	+20 •	44 (4)
Intsia bijuga	Kwila	Lae, Morobe	+20 •	40 (4)
Octomeles sumatrana	Erima	Lae, Morobe	+20 *	55 (11)
Palaquium	Cedar, Pencil	Lae, Morobe	17 to 20	43 (2)
warbargianum				
Pangium edule	Pangium	Lae, Morobe	17 to 20	38 (3)
Pterocarpus indicus	Rosewood, PNG	Lae, Morobe	+20 •	51 (8)
Syzygium spp.	Gum, Water	Lae, Morobe	17 to 20	40 (4)
Vitex cofassus	Vitex, PNG	Lae, Morobe	+20 •	41 (9)
Xanthophyllum	Boxwood, PNG	Lae, Morobe	+20 *	42 (9)
рариапит				

^{*}No exact records of age are available in the harvested area. Species estimated age is +20 years old. Standard deviation in parentheses.

Machining specimens and mechanical testing

Specimens have then been machined in accordance with ASTM D143 (2009) and conditioned to 23°C and 65% relative humidity until constant mass prior to testing. Whenever possible and applicable, a 50 x 50-mm specimen cross-section size has been selected. The selected mechanical properties for the present study were stiffness (MOE), flexural bending strength (MOR), compression strength parallel and perpendicular to the grain, shear strength parallel to the grain, and hardness (Janka). All the tests have been conducted using a universal testing machine (Instron model 5569, MA, USA). Prior to testing, each specimen has been measured to determine the volume and weighted to determine mass at the time of testing.

After every test, a section has been taken from the specimen near the point of failure, weighted, and placed at 103°C for 24 hours to determine the oven-dry mass and moisture content.

Static bending test (MOE and MOR): 20 specimens of dimensions 50 x 50 x 760 mm have been prepared per species and tested using a 3-point bending rig. The specimens have been tested using a loading speed of 2,5 mm/min until failure.

Compression strength parallel to the grain: 20 specimens of dimensions 25 x 25 x 100 mm have been prepared and tested per species. The speed of testing was 0,3 mm/min.

Compression strength perpendicular to the grain: 20 specimens of dimensions 50 x 50 x 200 mm have been

prepared per species. The speed of testing was 0,6 mm/min.

Shear strength parallel to the grain: 20 specimens of dimensions $50 \times 50 \times 63$ mm have been prepared and tested per species. The speed of testing was 0.6 mm/min. The portion of the piece that was sheared off has been used as a moisture content specimen.

Janka hardness: 20 specimens of dimensions 50 x 50 x 150 mm have been prepared and tested per species. The number of test penetrations included two (2) on a tangential surface, two (2) on a radial surface, and one (1) on each end. Only indentations on tangential and radial surfaces have been used to calculate the Janka hardness value. The speed of testing was 6 mm/min.

Statistical analysis

The data were analyzed in Minitab statistical software (Minitab 18, Version 18.1) to evaluate the effect within species of the position in a tree on the mechanical properties. A fit mixed effects model and a Fisher pairwise comparisons analysis ($\alpha = 0.05$) were used. In the model, the tree identification number (tree #1 to #5) was used as a random factor where the species and position in the tree were the fixed factors.

RESULTS AND DISCUSSION

A total of 2,641 specimens from 26 species and 130 trees have been tested *i.e.* shear: 528 specimens; compression parallel: 526 specimens; compression perpendicular: 532 specimens; static bending: 525 specimens; hardness: 530 specimens. The total merchantable height of *Magnolia tsiampacca* trees was usually too short to obtain top sections. Therefore, only bottom and middle sections could generally be obtained for this species which has been excluded from the model.

Hopea iriana provided significantly higher mechanical testing results than any other species across all selected mechanical properties (Table 2). A group composed of Eucalyptus pellita, Homalium foetidum, and Intsia bijuga usually performed significantly better than the other tested species. Xanthophyllum papuanum, Anisoptera thurifera, and Castanospermum australe also typically performed above average. At the other end, a group formed of Octomeles sumatrana, Falcataria moluccana, Endospermum medullosum, Alstonia scholaris, Palaquium warbargianum, Elaeocarpus sphaericus, and Magnolia tsiampacca generally offered mechanical properties below the average.

ession Perpendicular to grain MPa Shear Parallel to grain Hardness Janka Parallel t Species
Alstonia scholaris
Fisher LSD
Anisoptera thurife
Fisher LSD
Anthocephalus MPa 4.6 9,3 F IJ 3797 7,7 LMN 56,5 LMN 7,5 HI Fisher LSD 24,4 L 7,5 GH 7,7 GH 2229 G 60,1 KLM 8,6 EFG 8,5 EFG 10,9 D 10,6 HI 9,3 JK 7,5 GH 7,2 GH isher LSD 12,7 D 11,5 FG 85,2 EF Fisher LSD 50,5 NOP 28,6 JK 4,9 KL 6,6 I 1554 H 44,9 PQ 4,2 LM nedullosum Fisher LSD Eucalyntus e 3132 Fisher LSD Eucalyptus p Fisher LSD Falcataria KL 15,6 12.3 F 6215 Fisher LSD HIJ 6893 isher LSD B 8753 isher LSD 116.6 Fisher LSD isher LSD HIJ isher LSD 4,5 KLM arbargiam isher LSD 12,1 isher LSD imus cariba isher LSD ometia nim 7,5 GH 8 3 isher LSD vzygium spj isher LSD

Table 2: Summary of mechanical properties per species.

MOE: Modulus of elasticity or stiffness; MOR: Modulus of rupture or bending strength.

Effect of position in the tree on selected physical and mechanical properties

The physical and static bending properties per species based on the position in the tree are presented in Table 3. The statistical analysis demonstrated a very significant interaction (P-value <0,001) between species and position in the tree on the bending properties. Stiffness and bending strength tend to decrease or remain unchanged along the stem across all studied species. The average stiffness and bending strength values obtained from bottom and middle sections were significantly greater than those from top sections for 6 (Araucaria cunninghamii, Canarium oleosum, Hopea iriana, Intsia bijuga, Pangium edule, Xanthophyllum papuanum) and 5 (Canarium oleosum, Homalium foetidum, Intsia bijuga, Pangium edule, Xanthophyllum papuanum) species, respectively. Such a trend was not noticeable in species typically performing below the average of all tested species. This observation is in accordance with other studies reported in the literature (Harvald 1988, Shivnaraine 1989, Hojbo 1991, Kliger et al. 1995, Machado and Cruz 2005). In one case, i.e. Eucalyptus pellita, top sections provided significantly higher bending properties than bottom sections. Such a result might be explained by the fact that specimens were taken from logs without any consideration to the radial position within the tree. Consequently, some specimens obtained from bottom sections might have included a higher proportion of juvenile wood, usually not as strong as mature wood, if taken from the outer radial section of the tree and vice-versa. Kliger et al. (1995) also reported that strength and stiffness in butt logs usually tend to increase further away from the pith in the radial direction.

Table 3: Physical and bending properties per species and position in the tree (*i.e.* bottom, middle, or top section based on height from ground).

	Density (kg/m³) *				MOE (GPa)				MOR (MPa)			
Species	Combined	Bottom	Middle	Top	Combined	Bottom	Middle	Top	Combined	Bottom	Middle	Тор
Alstonia	296 b	295	278	321	5.1	4,7	4,8	5,8	33,4	32,6	31,4	36,9
scholaris	43° 20 d	25 6	35 8	57 6	1,2 20	0,7 6	1,0 8	1,4 6	6,6 20	5,2 6	6,7 8	7,5 6
Anisoptera	685	687	685	684	14,6	15,6	14,1	14,3	86,0	88,0	84,1	86,4
thurifera	44 18	48 5	49 7	42 6	1,7 18	1,7 5	1,5 7	1,9 6	9,9 18	10,6 5	12,2 7	7,3 6
Anthocephalus	418	405	447	424	7,7	7,4	8,7	7,5	56,5	53,1	64,3	56,9
chinensis	51 20	45 12	65 5	40 3	1,7 20	1,5 12	2,2 5	1,9 3	12,0 20	10,7 12	13,8 5	11,8 3
Araucaria	496	520	468	495	8,1	9,1	8,0	7,0	60,1	66,4	58,9	54,8
cunninghamii	53 20	35 7	26 6	76 7	1,5 17	1,7 6	1,2 5	0,8 6	12,6 17	12,1 6	9,0 5	14,8 6
Araucaria	473	485	469	469	10,6	11,3	10,1	10,5	68,9	72,0	66,7	68,4
hunsteinii	26 20	31 6	21 7	27 7	1,3 20	1,1 6	1,4 7	1,3 7	7,5 20	8,0 6	8,0 7	6,7 7
Canarium	464	475	465	447	9,3	9,7	10,3	7,8	62,3	64,0	71,2	51,0
oleosum	44 20	53 8	22 6	50 6	1,6 20	1,7 8	0,8 6	1,0 6	12,7 20	12,7 8	5,0 6	10,2 6
Castanospermum	792	806	779	793	11,5	10,3	11,6	12,2	85,2	77,9	85.3	89,1
australe	44 20	32 5	53 6	45 9	1,7 20	1,4 5	1,7 6	1,7 9	10,6 20	7,8 5	11,9 6	9,7 9
Elaeocarpus	385	363	389	412	7,7	7,3	7,9	7,8	50,5	46.4	52.7	52.4
sphaericus	38 20	31 7	38 9	39 4	0,6 20	0.6 7	0.5 9	0.6 4	6.8 20	6.4 7	6.8 9	5.7 4
Endospermum	356	368	349	357	7,8	8,0	7,6	7,9	44,9	47,1	42,6	46,5
medullosum	34 20	29 4	44 9	23 7	1.0 19	0.7 4	1.3 8	0.7 7	9.2 20	8,1 4	11,4 9	7,0 7
Eucalyptus	562	552	564	578	8,6	8,2	8,2	9,8	62,1	59.5	60.0	69.5
deglupta	70 20	95 10	30 5	39 5	1,5 20	1,8 10	0,9 5	0,8 5	6,7 20	6,5 10	5,4 5	1,4 5
Eucalyptus	779	758	780	804	15,6	14,2	15,8	17,0	120,6	107,8	122,6	132,6
pellita	48 22	59 7	44 9	30 6	1,7 22	1.3 7	1,6 9	1,1 6	15,0 22	14,8 7	11,7 9	7,1 6
Falcataria	321	320	297	349	6,7	6.8	6,2	7,2	42,7	39.2	45,0	42.4
moluccana	45 20	54 5	24 8	46 7	0.8 20	0.7 5	0.7 8	0.8 7	9.5 20	10.5 5	8.0 8	11.0 7
Homalium	800	824	791	777	15.4	15,6	16,1	14,3	128,4	133,6	129,5	120,4
foetidum	56 20	58 8	39 6	65 6	1.7 20	1.5 8	1.5 6	1.7 6	13.5 20	10.2 8	10,0 6	17.9 6
Joennam	30 20	Density (kg/m ³) *		-1,	MOE (1,7 0	10,0 20	MOR (MPa)	
Species	Combined		kg/m³) * Middle	Тор	Combined			Тор	Combined		MPa) Middle	Тор
Species	Combined	Density (Middle		Combined	MOE (GPa) Middle	Тор	Combined	MOR (Middle	
	Combined 932 b	Density (Bottom	Middle 928	931	Combined 20,0	MOE (Bottom 20,6	GPa) Middle 20,1	Top 18,7	Combined	MOR (I	Middle 135,9	136,4
Species Hopea iriana	932 b 43 ° 20 d	Density (Bottom 934 49 9	Middle 928 29 6	931 55 5	20,0 2,5 20	MOE (Bottom 20,6 2,7 9	GPa) Middle 20,1 2,8 6	Top 18,7 2,6 5	136,9 9,6 20	MOR (1 Bottom 137,9 10,1 9	Middle 135,9 10,2 6	136,4 10,2 5
Species	932 b 43 ° 20 d 758	Density (Bottom 934 49 9 763	928 29 6 784	931 55 5 697	20,0 2,5 20 14,2	MOE (Bottom 20,6 2,7 9 14,4	GPa) Middle 20,1 2,8 6 15,0	Top 18,7 2,6 5 12,4	136,9 9,6 20 116,6	MOR (1 Bottom 137,9 10,1 9 117,9	Middle 135,9 10,2 6 126,2	136,4 10,2 5 94,7
Species Hopea iriana Intsia bijuga	932 b 43 ° 20 d 758 116 20	Density (Bottom 934 49 9 763 80 8	928 29 6 784 150 8	931 55 5 697 105 4	20,0 2,5 20 14,2 2,0 20	MOE (Bottom 20,6 2,7 9 14,4 0,8 8	GPa) Middle 20,1 2,8 6 15,0 2,6 8	Top 18,7 2,6 5 12,4 1,4 4	136,9 9,6 20 116,6 21,3 20	MOR (1 Bottom 137,9 10,1 9 117,9 11,9 8	Middle 135,9 10,2 6 126,2 20,7 8	136,4 10,2 5 94,7 25,7 4
Species Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia	932 b 43 ° 20 d 758 116 20	Density (Bottom 934 49 9 763 80 8 337	928 29 6 784 150 8 345	931 55 5 697	20,0 2,5 20 14,2 2,0 20 6,1	MOE (Bottom 20,6 2,7 9 14,4 0,8 8 6,1	GPa) Middle 20,1 2,8 6 15,0 2,6 8 6,2	Top 18,7 2,6 5 12,4	Combined 136,9 9,6 20 116,6 21,3 20 48,5	MOR (1 Bottom 137,9 10,1 9 117,9 11,9 8 47,3	Middle 135,9 10,2 6 126,2 20,7 8 51,2	136,4 10,2 5 94,7
Species Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia tsiampacca	932 ^b 43 ^c 20 ^d 758 116 20 339 22 22	Density (Bottom 934 49 9 763 80 8 337 25 15	928 29 6 784 150 8 345 14 7	931 55 5 697 105 4 N/A	20,0 2,5 20 14,2 2,0 20 6,1 0,5 22	MOE (Bottom 20,6 2,7 9 14,4 0,8 8 6,1 0,5 15	GPa) Middle 20,1 2,8 6 15,0 2,6 8 6,2 0,3 7	Top 18,7 2,6 5 12,4 1,4 4 N/A	Combined 136,9 9,6 20 116,6 21,3 20 48,5 5,2 22	MOR (1 Bottom 137,9 10,1 9 117,9 11,9 8 47,3 5,6 15	135,9 10,2 6 126,2 20,7 8 51,2 3,0 7	136,4 10,2 5 94,7 25,7 4 N/A
Species Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia tsiampacca Octomeles	932 b 43 ° 20 d 758 116 20 339 22 22 276	Density (Bottom 934 49 9 763 80 8 337 25 15 280	928 29 6 784 150 8 345 14 7 267	931 55 5 697 105 4 N/A	Combined 20,0 2,5 20 14,2 2,0 20 6,1 0,5 22 4,8	MOE (Bottom 20,6 2,7 9 14,4 0,8 8 6,1 0,5 15 4,7	GPa) Middle 20,1 2,8 6 15,0 2,6 8 6,2 0,3 7 4,7	Top 18,7 2,6 5 12,4 1,4 4 N/A 5,5	Combined 136,9 9,6 20 116,6 21,3 20 48,5 5,2 22 31,5	MOR (1 Bottom 137,9 10,1 9 117,9 11,9 8 47,3 5,6 15 31,0	Middle 135,9 10,2 6 126,2 20,7 8 51,2 3,0 7 30,7	136,4 10,2 5 94,7 25,7 4 N/A
Species Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia tsiampacca Octomeles sumatrana	932 b 43 ° 20 d 758 116 20 339 22 22 276 38 20	Density (Bottom 934 49 9 763 80 8 337 25 15 280 39 6	928 29 6 784 150 8 345 14 7 267 35 10	931 55 5 697 105 4 N/A	20,0 2,5 20 14,2 2,0 20 6,1 0,5 22 4,8 0,8 20	MOE (Bottom 20,6 2,7 9 14,4 0,8 8 6,1 0,5 15 4,7 0,9 6	GPa) Middle 20,1 2,8 6 15,0 2,6 8 6,2 0,3 7 4,7 0,7 10	Top 18,7 2,6 5 12,4 1,4 4 N/A 5,5 0,5 4	Combined 136,9 9,6 20 116,6 21,3 20 48,5 5,2 22 31,5 5,5 20	MOR (1) Bottom 137,9 10,1 9 117,9 11,9 8 47,3 5,6 15 31,0 7,4 6	135,9 10,2 6 126,2 20,7 8 51,2 3,0 7 30,7 4,4 10	136,4 10,2 5 94,7 25,7 4 N/A 34,1 5,5 4
Species Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia tsiampacca Octomeles sumatrana Palaquium	932 b 43 ° 20 d 758 116 20 339 22 22 276 38 20 381	Density (Bottom 934 49 9 763 80 8 337 25 15 280 39 6 369	928 29 6 784 150 8 345 14 7 267 35 10 389	931 55 5 697 105 4 N/A 294 45 4 385	20,0 2,5 20 14,2 2,0 20 6,1 0,5 22 4,8 0,8 20 7,5	MOE (Bottom 20,6 2,7 9 14,4 0,8 8 6,1 0,5 15 4,7 0,9 6 7,0	GPa) Middle 20,1 2,8 6 15,0 2,6 8 6,2 0,3 7 4,7 0,7 10 7,8	Top 18,7 2,6 5 12,4 1,4 4 N/A 5,5 0,5 4 7,7	136,9 9,6 20 116,6 21,3 20 48,5 5,2 22 31,5 5,5 20 50,8	MOR (1) Bottom 137,9 10,1 9 117,9 11,9 8 47,3 5,6 15 31,0 7,4 6 50,0	135,9 10,2 6 126,2 20,7 8 51,2 3,0 7 30,7 4,4 10 51,8	136,4 10,2 5 94,7 25,7 4 N/A 34,1 5,5 4 50,5
Species Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia tsiampacca Octomeles sumatrana Palaquium warbargianum	932 b 43 ° 20 d 758 116 20 339 22 22 276 38 20 381 47 20	Density (Bottom 934 49 9 763 80 8 337 25 15 280 39 6 369 43 7	928 29 6 784 150 8 345 14 7 267 35 10 389 53 7	931 55 5 697 105 4 N/A 294 45 4 385 50 6	20,0 2,5 20 14,2 2,0 20 6,1 0,5 22 4,8 0,8 20 7,5 0,9 20	MOE (Bottom 20,6 2,7 9 14,4 0,8 8 6,1 0,5 15 4,7 0,9 6 7,0 0,6 7	GPa) Middle 20,1 2,8 6 15,0 2,6 8 6,2 0,3 7 4,7 0,7 10 7,8 1,2 7	Top 18,7 2,6 5 12,4 1,4 4 N/A 5,5 0,5 4 7,7 0,5 6	Combined 136,9 9,6 20 116,6 21,3 20 48,5 5,2 22 31,5 5,5 20 50,8 7,6 20	MOR (1) Bottom 137,9 10,1 9 117,9 11,9 8 47,3 5,6 15 31,0 7,4 6 50,0 8,2 7	135,9 10,2 6 126,2 20,7 8 51,2 3,0 7 30,7 4,4 10 51,8 9,1 7	136,4 10,2 5 94,7 25,7 4 N/A 34,1 5,5 4 50,5 5,8 6
Species Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia tsiampacca Octomeles sumatrana Palaquium	932 b 43 ° 20 d 758 116 20 339 22 22 276 38 20 381 47 20 618	Density (Bottom 934 49 9 763 80 8 337 25 15 280 39 6 369 43 7 621	928 29 6 784 150 8 345 14 7 267 35 10 389 53 7 634	931 55 5 697 105 4 N/A 294 45 4 385 50 6	20,0 2,5 20 14,2 2,0 20 6,1 0,5 22 4,8 0,8 20 7,5 0,9 20 12,1	MOE (Bottom 20,6 2,7 9 14,4 0,8 8 6,1 0,5 15 4,7 0,9 6 7,0 0,6 7 12,6	Middle 20,1 2,8 6 15,0 2,6 8 6,2 0,3 7 4,7 0,7 10 7,8 1,2 7 13,2	Top 18,7 2,6 5 12,4 1,4 4 N/A 5,5 0,5 4 7,7 0,5 6 10,3	Combined 136,9 9,6 20 116,6 21,3 20 48,5 5,2 22 31,5 5,5 20 50,8 7,6 20 70,7	MOR (1) Bottom 137,9 10,1 9 117,9 11,9 8 47,3 5,6 15 31,0 7,4 6 50,0 8,2 7 76,2	Middle 135,9 10,2 6 126,2 20,7 8 51,2 3,0 7 30,7 4,4 10 51,8 9,1 7 76,2	136,4 10,2 5 94,7 25,7 4 N/A 34,1 5,5 4 50,5 5,8 6
Species Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia Isiampacca Octoneles sumatrana Palaquium warbargianum Pangium edule	932 t 43 c 20 d 758 116 20 339 22 22 276 38 20 381 47 20 618 33 20	Density (Bottom 934 49 9 763 80 8 337 25 15 280 39 6 369 43 7 621 32 8	928 29 6 784 150 8 345 14 7 267 35 10 389 53 7 634 25 6	931 55 5 697 105 4 N/A 294 45 4 385 50 6 597 35 6	20,0 2,5 20 14,2 2,0 20 6,1 0,5 22 4,8 0,8 20 7,5 0,9 20 112,1 2,1 20	MOE 6 Bottom 20,6 2,7 9 14,4 0,8 8 6,1 0,5 15 4,7 0,9 6 7,0 0,6 7 12,6 1,6 8	GPa) Middle 20,1 2,8 6 15,0 2,6 8 6,2 0,3 7 4,7 0,7 1,8 1,2 7 13,2 1,0 6	Top 18,7 2,6 5 12,4 1,4 4 N/A 5,5 0,5 4 7,7 0,5 6 10,3 2,5 6	136,9 9,6 20 116,6 21,3 20 48,5 5,2 22 31,5 5,5 20 50,8 7,6 20 70,7	MOR (1) 137,9 10,1 9 117,9 11,9 8 47,3 5,6 15 31,0 7,4 6 50,0 8,2 7 76,2 9,6 8	Middle 135,9 10,2 6 126,2 20,7 8 51,2 3,0 7 30,7 4,4 10 51,8 9,1 7 76,2 5,7 6	136,4 10,2 5 94,7 25,7 4 N/A 34,1 5,5 4 50,5 5,8 6 57,8 24,4 6
Species Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia tsiampacca Octomeles sumatrana Palaquium warbargianum	752 20 4 20 4 20 4 20 4 20 4 20 4 20 4 20	Density (Bottom 934 49 9 763 80 8 337 25 15 280 39 6 369 43 7 621 32 8 574	Middle 928 29 6 784 150 8 345 14 7 267 35 10 389 53 7 634 25 6 516	931 55 5 697 105 4 N/A 294 45 4 385 50 6 597 35 6	20,0 2,5 20 14,2 2,0 20 6,1 0,5 22 4,8 20 7,5 0,9 20 12,1 2,1 20 8,0	MOE 6 Bottom 20,6 2,7 9 14,4 0,8 8 6,1 0,5 15 4,7 0,9 6 7,0 0,6 7,0 12,6 1,6 8 8,0	GPa) Middle 20,1 2,8 6 15,0 2,6 8 6,2 0,3 7 4,7 0,7 10 7,8 1,2 7 13,2 1,0 6 8,2	18,7 2,6 5 12,4 1,4 4 N/A 5,5 0,5 4 7,7 0,5 6 10,3 2,5 6 8,0	136,9 9,6 20 116,6 20 21,3 20 48,5 5,2 22 31,5 5,5 20 50,8 7,6 20 70,7 16,6 20 67,2	MOR (1) Bottom 137,9 10,1 9 117,9 117,9 47,3 5,6 15 31,0 7,4 6 50,0 8,2 7 76,2 9,6 8	Middle 135,9 10,2 6 126,2 20,7 8 51,2 30,7 4,4 10 51,8 9,1 7 76,2 5,7 6 70,3	136,4 10,2 5 94,7 25,7 4 N/A 34,1 5,5 4 50,5 5,8 6 57,8 24,4 6
Species Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia tsiampacca Octomeles sumatrana Palaquium warbargianum Pangium edule Pinus caribaea	Combined 932 8 43 20 4 758 116 20 339 22 22 276 38 20 381 47 20 618 33 20 525 101 20	Density (Bottom 934 49 9 763 80 8 8 337 25 15 280 39 6 369 43 7 621 32 8 574 130 8	Middle 928 29 6 784 150 8 345 14 7 267 35 10 389 53 7 634 25 6 516 65 6	931 55 5 697 105 4 N/A 294 45 4 385 50 6 597 35 6 469 52 6	Combined 20,0 2,5 20 14,2 2,0 20 6,1 0,5 22 4,8 0,8 20 7,5 12,1 2,1 20 8,0 1,8 20	MOE 6 Bottom 20,6 2,7 9 14,4 0,8 8 6,1 0,5 15 4,7 0,9 6,6 7 10,6 7 112,6 1,6 8 8,0 2,5 8	GPa) Middle 20,1 2,8 6 15,0 2,6 8 6,2 0,3 7 4,7 0,7 10 7,8 1,2 7 13,2 1,0 6 8,2 1,6 6	18,7 2,6 5 12,4 1,4 4 N/A 5,5 0,5 4 7,7 0,5 6 10,3 2,5 6 8,0 1,0 6	Combined 136,9 9,6 20 1116,6 21,3 20 48,5 5,5 20 50,8 7,6 20 70,7 16,6 20 67,2 9,8 20	MOR (1) Bottom 137,9 10,1 9 117,9 117,9 47,3 5,6 15 31,0 7,4 6 50,0 8,2 7 76,2 9,6 8 66,9 12,4 8	Middle 135,9 10,2 6 126,2 20,7 8 51,2 3,0 7 4,4 10 51,8 9,1 7 76,2 5,7 6 70,3 7,8 6	136,4 10,2 5 94,7 25,7 4 N/A 34,1 5,5 4 50,5 5,8 6 64,4 8,2 6
Species Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia Isiampacca Octoneles sumatrana Palaquium warbargianum Pangium edule	758 116 20 339 22 22 22 27 38 20 618 33 20 664	Density (Bottom 934 49 936 763 80 8 337 25 15 280 39 6 369 43 7 621 32 8 574 130 130 130 697	928 29 6 784 150 8 345 14 7 267 35 10 389 53 7 634 25 6 516 65 6 65 6	931 55 5 697 105 4 N/A 294 45 4 385 50 6 597 35 6 469 52 6 612	20,0 2,5 20 14,2 2,0 20 6,1 0,5 22 4,8 0,8 20 7,5 0,9 20 112,1 2,1 20 8,0 1,8 20 11,1	MOE (Bottom 20,6 2,7 9 114,4 0,8 8 6,1 0,5 15 4,7 0,9 6 7,0 0,6 7 112,6 1,6 8 8,0 2,5 8 11,1	GPa) Middle 20,1 2,8 6 15,0 2,6 8 6,2 0,3 7 4,7 0,7 10 7,8 1,2 7 13,2 1,0 6 8,2 1,6 6 11,1	18,7 2,6 5 12,4 1,4 4 N/A 5,5 0,5 4 7,7 0,5 6 10,3 2,5 6 8,0 1,0 6	Combined 136.9 9.6 20 116.6 21.3 20 48.5 5.2 21 31.5 5.5 20 70.7 16.6 20 67.2 9.8 20 91.1	MOR (1) Bottom 137,9 10,1 9 117,9 117,9 117,9 119, 8 47,3 5,6 15 31,0 7,4 6 50,0 8,2 7 76,2 9,6 8 66,9 12,4 8 92,1	Middle 135,9 10,2 6 126,2 20,7 8 51,2 30,0 7 30,7 4,4 10 51,8 9,1 7 76,2 5,7 6 70,3 7,8 6	136,4 10,2 5 94,7 25,7 4 N/A 34,1 5,5 4 50,5 5,8 6 57,8 6 44,4 6 64,4 8,2 6 92,2
Species Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia tsiampacca Octomeles sumatrana Palaquium warbargianum Pangium edule Pinus caribaea	758 116 20 43 20 443 20 45 20 45 20 45 20 45 20 45 20 45 20 45 20 22 22 276 38 20 381 47 20 618 33 20 525 101 20 664 111 22	Density (Bottom 934 49 939 763 80 8 8337 25 15 280 39 6 369 43 7 621 32 8 574 130 8 697 109 12	928 29 6 784 150 8 345 14 7 267 35 10 389 53 7 634 25 6 516 65 6 626 113 9	931 55 5 697 105 4 N/A 294 45 4 385 50 6 597 35 6 469 52 6 612 * 1	Combined 20,0 2,5 20 14,2 2,0 20 6,1 0,5 22 4,8 0,8 20 7,5 0,9 20 12,1 2,1 20 8,0 1,8 20 11,1 2 22	MOE (Bottom 20.6 2,7 9 14,4 0,8 8 6,1 0,5 15 4,7 0,9 6 7,0 0,6 7,0 12,6 1,6 8 8,0 2,5 8 11,1 1,1 12	GPa) Middle 20.1 2.8 6 15.0 2.6 8 6.2 0.3 7 4.7 7.8 1.2 7 13.2 1.0 6 8.2 1.6 6 11.1	Top 18.7 2,6 5 12.4 1,4 4 N/A 5,5 0,5 4 7,7 0,5 6 10,3 2,5 6 8,0 1,0 6 11,5 * 1	Combined 136.9 9.6 20 116.6 21.3 20 48.5 5.2 22 31.5 5.5 20 70.7 16.6 20 70.7 16.6 20 91.1 14.9 22	MOR (1) Bottom 137,9 10,1 9 117,9 117,9 119 8 47,3 5,6 15 31,0 7,4 6 50,0 8,2 7 76,2 9,6 8 66,9 12,4 8 92,1 14,0 12	Middle 135,9 10,2 6 126,2 20,7 8 51,2 3,0 7 30,7 4,4 10 51,8 9,1 7 76,2 5,7 6 70,3 7,8 6 89,7 17,7 9	136,4 10,2 5 94,7 25,7 4 N/A 34,1 5,5 4 50,5 57,8 24,4 6 64,4 8,2 6 92,2
Species Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia tisumpacca Octomeles sumatrana Palaquium warbargianum Pangium edule Pinus caribaea Pometia pinnata	758 116 20 339 22 22 276 38 20 618 33 20 618 33 20 664 111 22 557	Density (Bottom 934 49 9 763 80 8 8 337 25 15 280 39 6 369 43 7 621 32 8 697 109 12 567	928 29 6 784 150 8 345 14 7 267 35 10 389 53 7 634 25 6 65 6 626 113 9 550	931 55 5 697 105 4 N/A 294 45 4 385 50 6 597 35 6 469 52 6 612 * 1	Combined 20,0 25, 20 14,2 2,0 20 6,1 0,5 22 4,8 20 7,5 0,9 20 12,1 2,1 20 8,0 1,8 20 11,1 1,2 21 10,0	MOE (Bottom 20,6 2,7 9 14,4 0,8 8 6,1 0,5 15 4,7 0,9 6 7,0 0,6 7 12,6 1,6 8,0 2,5 8 11,1 1,1 1,0 10,2	GPa) Middle 20,1 2,8 6 15,0 2,6 8 6,2 0,3 7 4,7 0,7 10 7,8 1,2 7 13,2 1,0 6 11,1 1,4 9 10,0	Top 18.7 2.6 5 12.4 1.4 4 N/A 5.5 0.5 6 10.3 2.5 6 10.3 2.5 6 11.5 * 11.9 9.8	Combined 136,9 9,6 20 116,6 21,3 20 48,5 5,2 22 31,5 5,5 20 50,8 7,6 20 67,2 9,8 20 91,1 14,9 22 76,1	MOR (i Bettom 137,9 10,1 9 117,9 111,9 8 47,3 31,0 7,4 6 50,0 8,2 7 76,2 9,6 8,2 76,2 9,6 9 12,4 8 92,1 14,0 12 79,0	Middle 135,9 10,2 6 126,2 20,7 8 51,2 3,0 7 30,7 4,4 10 51,8 9,1 7 76,2 5,7 6 70,3 7,8 6 89,7 17,7 9 75,0	136,4 10,2 5 94,7 25,7 4 N/A 34,1 5,5 4 50,5 57,8 24,4 6 64,4 8,2 6 92,2 * 1 71,6
Species Hopea triana Intsia bijuga Magnolia tisiampacca Octoneles sumatrana Palaquium warbargianum Panguium chile Pinus caribaea Pometia pinnata Pherocarpus indicus	758 116 20 339 22 22 276 38 20 38 20 38 20 38 20 525 101 20 664 111 22 557 8 20	Density (Bottom 934 49 9 763 80 8 80 8 337 25 15 280 39 6 369 43 7 621 32 8 574 130 8 697 109 12 567 92 8	928 29 6 784 150 8 345 14 7 267 35 10 389 53 7 634 25 6 516 65 6 626 113 9	931 55 5 697 105 4 N/A 294 45 4 385 50 6 597 35 6 612 * 1 548 75 3	Combined 20,0 25, 20 14,2 2,0 20 6,1 0,5 22 4,8 0,8 20 7,5 0,9 20 12,1 2,1 20 8,0 1,8 20 11,1 1,2 22 10,0 1,7 20	MOE (Bottom 20,6 2,7 9 14,4 0,8 8 6,1 0,5 15 4,7 0,9 6 7,0 0,6 7 12,6 1,6 8 8,0 2,5 8 11,1 1,1 12 10,2 17 8	GPa) Middle 20,1 2,8 6 15,0 2,6 8 6,2 0,3 7 4,7 0,7 10 7,8 1,2 7 13,2 1,0 6 8,2 1,6 6 11,1 1,4 9 10,0 1,9 9	Top 18.7 2.6 5 12.4 1.4 4 N/A 5.5 0.5 4 7.7 0.5 6 10.3 2.5 6 8.0 1,0 6 11.5 11.5 9.8 0.9 3	Combined 136.9 9.6 20 116.6 213 20 48.5 5.2 22 31.5 5.5 20 50.8 7.6 20 70.7 16.6 20 67.2 9.8 20 91.1 14.9 22 76.1 11.2 20	MOR (i Bottom 137,9 110,1 9 117,9 11,9 8 47,3 5,6 15 31,0 7,4 6 50,0 8,2 7 76,2 9,6 8 66,9 12,4 8 92,1 14,0 12 79,0 8,6 8	Middle 135,9 10,2 6 126,2 20,7 8 51,2 3,0 7 4,4 10 51,8 9,1 7 76,2 5,7 6 70,3 7,8 6 89,7 17,7 9 75,0	136,4 10,2 5 94,7 25,7 4 N/A 34,1 5,5 4 50,5 5,8 6 57,8 24,4 6 64,4 8,2 6 92,2 * 1 71,6 7,1 3
Species Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia tisumpacca Octomeles sumatrana Palaquium warbargianum Pangium edule Pinus caribaea Pometia pinnata	932 b 43 ° 20 d 758 116 20 d 339 22 22 276 38 20 381 47 20 618 33 20 618 13 20 618 11 22 557 78 20 495	Density (Bottom 934 49 9 763 80 8 3337 25 15 280 39 6 369 43 7 621 32 8 574 130 8 697 109 12 567 92 8 510	Middle 928 29 6 784 150 8 345 14 7 267 35 10 389 53 7 634 25 6 516 65 6 626 113 9 550 73 9 493	931 55 5 697 105 4 N/A 294 45 4 385 50 6 597 35 6 469 52 6 612 * 1 548 75 3 478	Combined 20.0 25, 20 14,2 2,0 20 6,1 0,5 22 4,8 20 7,5 0,9 20 12,1 2,1 20 8,0 1,8 20 11,1 1,2 22 10,0 17, 20 9,6	MOE (Bottom) 20,6 2,7 9 14,4 0,8 8 6,1 0,5 15 4,7 0,9 6 7,0 0,6 7 12,6 1,6 8 8,0 2,5 8 11,1 12 10,2 1,7 8 9,8	GPa) Middle 20.1 2.8 6 15.0 2.6 8 6.2 0.3 7 4.7 0.7 10 7.8 1.2 7 13.2 1.6 6 8.2 1.6 11,1 1.4 9 10.0 1.9 9,6	Top 18.7 2.6 5 12.4 1.4 4 N/A 5.5 0.5 4 7.7 0.5 6 10.3 2.5 6 10.3 1.0 6 11.5 1.5 9.8 0.9 3 9.8	Combined 136.9 9.6 20 116.6 21.3 20 48.5 5.2 22 31.5 5.5 20 70.7 16.6 20 70.7 16.6 20 9.8 20 91.1 14.9 22 76.1 11.2 0 68.1	MOR (1) Bettom 137,9 11,9 117,9 11,9 8,6 15 31,0 7,4 6 50,0 8,2 7 76,2 9,6 8 66,9 12,4 8 92,1 14,0 12 79,0 8,6 8 70,8	Middle 135,9 10,2 6 126,2 20,7 8 51,2 3,0 7 30,7 4,4 10 51,8 9,1 7 76,2 5,7 6 70,3 7,8 6 89,7 17,7 9 75,0 14,2 9 66,4	136,4 10,2 5 94,7 25,7 4 N/A 34,1 5,5 4 50,5 5,8 6 64,4 8,2 6 92,2 * 1 71,6 7,1 3 66,2
Species Hopea triana Intsia bijuga Magnolia Islampacca Octomeles sumatruna Palaquium warbargianum Pangium edule Pinus caribaea Pomeita pinnata Pérocarpus indicus Si-tygium spp.	State	Density (Bottom 934 49 9 763 80 8 337 25 15 280 39 6 369 43 7 621 32 8 574 130 8 697 109 12 567 92 8 510 34 8	928 29 6 784 150 8 345 14 7 267 35 10 389 53 7 634 25 6 65 6 626 113 9 550 73 9 493 37 6	931 55 5 697 105 4 N/A 294 45 4 385 50 6 597 35 6 469 52 6 612 * 1 548 75 3 478 38 6	Combined 20,0 2,5 20 14,2 2,0 20 6,1 0,5 22 4,8 0,8 20 7,5 0,9 20 12,1 2,1 20 8,0 11,1 1,2 22 11,0 10,0 1,7 20 9,6	MOE (Bottom 20,6 2,7 9 14,4 0,8 8,6,1 0,5 15 4,7 0,9 6 7,0 0,6 7,0 12,6 1,6 8 8,0 11,1 1,1 12 10,2 1,7 8 9,8 9,5	Middle 20,1 2,8 6 15,0 2,6 8 6,2 0,3 7 4,7 10,7 10 7,8 1,2 7 13,2 1,0 6 8,2 1,6 6 11,1 1,4 9 9,6 1,1 6	Top 18,7 2,6 5 12,4 1,4 4 N/A 5,5 0,5 4 7,7 0,5 6 10,3 2,5 6 8,0 1,0 6 11,5 * 1 9,8 0,9 3 9,3 1,3 6	Combined 136.9 9.6 20 116.6 21.3 20 48.5 5.2 22 31.5 5.5 20 76. 20 70.7 16.6 20 91.1 14.9 22 68.1 11.2 20 68.1 7.8 20	MOR (i Bottom 137,9 110,1 9 117,9 11,9 8 47,3 5,6 15 31,0 5,6 0,0 8,2 7 76,2 9,6 8 66,9 9,6 8 12,4 8 92,1 14,0 12 79,0 8,6 8 70,8 8,4 8	Middle 135,9 10,2 6 126,2 20,7 8 51,2 3,0 7 4,4 10 51,8 9,1 7 76,2 5,7 6 89,7 17,7 9 75,0 14,2 9 66,4 7,5 6	136,4 10,2 5 94,7 25,7 4 N/A 34,1 5,5 4 50,5 5,8 6 64,4 8,2 6 92,2 171,6 7,1 3 66,2 10,7 6
Species Hopea triana Intsia bijuga Magnolia tisiampacca Octoneles sunsatrana Palaquima warbaryianum Pangium echile Pinus caribaea Pometia pinnata Porocarpus indicus spycytom spp. Terminalia	932 b 43° 20 d 758 116 20 0 339 22 22 276 38 20 381 47 20 618 33 20 525 101 20 664 111 22 557 78 20 495 36 20 433	Density (Bottom 934 49 9 763 80 8 8 337 25 15 280 39 6 369 43 7 621 32 8 574 130 8 697 109 12 567 92 8 510 34 8 434	928 29 6 784 150 8 345 14 7 267 389 53 7 634 25 6 516 65 6 626 113 9 550 73 9 493 37 6 402	931 55 5 697 105 4 N/A 294 45 4 385 50 6 597 35 6 612 * 1 548 75 3 478 38 6 458	Combined 20,0 2,5 20 14,2 2,0 20 6,1 0,5 22 4,8 0,8 20 7,5 0,9 20 12,1 2,1 2,0 1,8 20 11,1 11,1 1,2 22 10,0 1,7 20 9,6 1,0 20 6,9	MOE (Bottom 20,6 2,7 9 14,4 0,8 8 6,1 0,5 15 4,7 0,9 6 7,0 112,6 1,6 8 8,0 2,5 8,0 11,1 11,1 12 10,2 1,7 8,8 9,8 9,8 9,8 9,8 7,0	GPa) Middle 20,1 2,8 6 15,0 2,6 8 6,2 0,3 7 4,7 0,7 10 7,8 1,2 7 13,2 1,6 6 8,2 1,6 6 11,1 1,4 9 10,0 1,9 9 9,6 1,1 6 6,3	Top 18,7 2,6 5 12,4 1,4 4 N/A 5,5 0,5 4 7,7 0,5 6 10,3 2,5 6 8,0 1,0 6 8,0 1,0 6 11,5 * 1 9,8 0,9 3 9,3 1,3 6 7,3	Combined 136.9 9.6 20 116.6 21.3 20 48.5 5.2 21.3 20 50.8 7.6 20 70.7 16.6 20 67.2 9.8 20 91.1 14.9 22 76.1 7.8 20 68.1 7.8 20 54.4	MOR (1) Bottom 137,9 10,1 9 117,9 117,9 11,9 8 47,3 5,6 15 31,0 7,4 6 50,0 8,2 7 76,2 9,6 8 66,9 12,4 8 92,1 14,0 12 79,0 8,6 8 70,8 5,4 8 70,8 5,4 8 55,6	Middle 135,9 10,2 6 126,2 20,7 8 51,2 3,0 7 30,7 4,4 118 9,1 7 76,2 5,7 6 70,3 7,8 6 89,7 17,7 9 75,0 14,2 9 66,4 7,5 6 47,3	136,4 10,2 5 94,7 25,7 4 N/A 34,1 5,5 4 50,5 57,8 24,4 6 64,4 8,2 6 92,2 1 71,6 7,1 3 66,2 10,7 6
Species Hopea triana Intsia bijuga Magnolia sisimpaca Octoneles sumatrana Palaquium Palaquium Pangium ethile Pinus caribaea Pometia pinnata Prorecarpus Syryyium spp. Terminalia brassiii	932 s 43 s 20 d 758 2	Density (Bottom 934 49 9 763 80 8 337 25 15 280 39 6 369 43 7 621 32 8 697 130 8 697 109 12 567 92 8 510 34 8 434 9	928 29 6 784 150 8 345 14 7 267 35 10 389 53 7 634 25 6 626 113 9 550 73 9 493 37 6 402 56 5 5	931 55 5 697 105 4 N/A 294 45 4 385 50 6 597 35 6 469 52 6 612 * 1 548 75 3 478 38 6 458 31 6	Combined 20,0 2,5 20 14,2 2,0 20 6,1 0,5 22 4,8 20 7,5 0,9 20 12,1 2,1 20 8,0 11,1 1,2 22 10,0 1,7 20 6,9,6 1,0 20 6,9,8 20 0,8 20	MOE (Bottom 20,6 2,7 9 14,4 0,8 8,6,1 0,5 15 4,7 0,9 6 7,0 0,6 7,0 12,6 1,6 8,0 2,5 8 11,1 12 10,2 1,7 8 9,8 0,5 8 7,0 0,5 9	Middle 20,1 2,8 6 15,0 2,6 8 6,2 0,3 7 4,7 0,7 10 7,8 1,2 7 13,2 1,0 6 11,1 1,4 9 10,0 1,9 9,6 1,1 6 6,3 1,1 5	Top 18.7 2.6 5 12.4 1.4 4 N/A 5.5 0.5 4 7.7 0.5 6 10.3 2.5 6 10.3 2.5 6 11.5 9.8 0.9 3 1.3 6 7.3 0.5 6	136,9 9,6 20 116,6 20 21,3 20 48,5 5,2 22 31,5 5,5 20 70,7 70,7 16,6 20 91,1 14,9 22 76,1 11,2 20 34,4 8,6 20 54,4 8,6 20	MOR (i Bottom 137,9 10,1 9 117,9 11,9 8 47,3 5,6 15 31,0 7,4 6 50,0 8,2 7 76,2 9,6 8 20,1 14,0 11 79,0 8,6 8 70,8 5,4 8 55,4 8	Middle 135,9 10,2 6 126,2 20,7 8 51,2 30,7 4,4 10 76,2 5,7 6 70,3 7,8 6 89,7 17,7 9 75,0 14,2 9 66,4 7,5 6 47,3 11,2 5	136,4 10.2 5 94,7 25,7 4 N/A 34,1 5,5 4 50,8 6 64,4 8,2 6 92,2 * 1 71,6 71,1 3 66,2 10,7 6 58,0 6
Species Hopea Iriana Intsia bijuga Magnolia tisiampacca Octoneles sannatrana Palaquium varbaryignum Pangium edule Panus caribaea Pometia pinnata Pierocarpus tiadicus spyrytem spp. Terminalia	932 8 43 ° 20 4 758 116 20 339 22 22 276 38 20 38 20 618 33 20 510 20 664 111 22 557 78 20 495 345 39 20 495 39 30 495 39 30 495 495 495 495 495 495 495 495 495 495	Density (Bottom 934 49 9 763 80 8 80 8 337 25 15 280 39 6 369 369 37 621 32 8 574 130 8 697 109 12 567 567 34 8 434 40 9 597	928 29 6 784 150 8 345 14 7 267 35 10 389 53 7 634 25 6 65 6 626 113 9 493 37 6 402 56 5 87	931 55 5 697 105 4 N/A 294 45 4 385 50 6 597 35 6 469 52 6 612 * 1 548 75 3 478 38 6 458 31 6 591	20,0 2,5 20 14,2 2,0 20 6,1 0,5 22 4,8 0,8 20 7,5 0,9 20 12,1 20 8,0 1,8 20 11,1 21 22 10,0 9,6 1,7 20 9,6 1,7 20 1,7	MOE (Bottom 20,6 2,7 9 14,4 0,8 8 6,1 0,5 15 4,7 0,9 6 7,0 12,6 8 8,0 2,5 8 11,1 1,1 12 10,2 11,7 8 9,8 0,5 8 7,0 0,5 9,8 0,5 9,8 11,7	Middle 20,1 2,8 6 15,0 2,6 8 6,2 0,3 7 4,7 0,7 10 7,8 1,2 7 13,2 1,0 6 8,2 1,6 6 11,1 1,4 9 10,0 1,9 9 9,6 1,1 6 6,3 1,1 5 10,8	Top 18.7 2.6 5 12.4 1.4 4 1.4 4 N/A 5.5 0.5 6 10.3 2.5 6 10.3 2.5 6 11.5 * 1 9.8 0.9 3 9.3 1.3 6 7.3 0.5 6 7.3 0.5 6 12.4	Combined 136.9 9.6 20 1116.6 116.6 5.2 22 31.5 5.2 22 31.5 5.5 20 50.8 7.6 20 70,7 16.6 20 67.2 9.8 20 91.1 14.9 22 76.1 11.2 20 68.1 7.8 8.6 20 54.4 8.6 20 80.8	MOR (i Bottom 137,9 10,1 9 117,9 11,9 8 47,3 5,6 15 31,0 7,4 6 50,0 8,2 7 76,2 9,6 8 66,9 12,4 8 92,1 14,0 12 79,0 8,4 8 70,8 5,4 8 55,6 8 70,8 5,4 8 55,6 8 70,8 5,4 8 55,6 8 70,8 5,4 8 70,8	Middle 135.9 10.2 6 126.2 20.7 8 51.2 30.0 7 30.7 4.4 10 51.8 9.1 7 76.2 5.7 6 70.3 7.8 6 89.7 17.7 9 66.4 75.6 47.3 11.2 5 75.0	136,4 10,2 5 94,7 25,7 4 N/A 34,1 5,5 4 50,5 5,8 6 57,8 24,4 6 64,4 8,2 6 92,2 * 1 71,6 7,1 3 66,2 10,7 6 58,6 8,0 6 90,1
Species Hopea triana Intsia bijuga Magnolia sisimpaca Octoneles sumatrana Palaquium Palaquium Pangium ethile Pinus caribaea Pometia pinnata Prorecarpus Syryyium spp. Terminalia brassiii	932 s 43 s 20 d 758 2	Density (Bottom 934 49 9 763 80 8 337 25 15 280 39 6 369 43 7 621 32 8 697 130 8 697 109 12 567 92 8 510 34 8 434 9	928 29 6 784 150 8 345 14 7 267 35 10 389 53 7 634 25 6 626 113 9 550 73 9 493 37 6 402 56 5 5	931 55 5 697 105 4 N/A 294 45 4 385 50 6 597 35 6 469 52 6 612 * 1 548 75 3 478 38 6 458 31 6	Combined 20,0 2,5 20 14,2 2,0 20 6,1 0,5 22 4,8 20 7,5 0,9 20 12,1 2,1 20 8,0 11,1 1,2 22 10,0 1,7 20 6,9,6 1,0 20 6,9,8 20 0,8 20	MOE (Bottom 20,6 2,7 9 14,4 0,8 8,6,1 0,5 15 4,7 0,9 6 7,0 0,6 7,0 12,6 1,6 8,0 2,5 8 11,1 12 10,2 1,7 8 9,8 0,5 8 7,0 0,5 9	Middle 20,1 2,8 6 15,0 2,6 8 6,2 0,3 7 4,7 0,7 10 7,8 1,2 7 13,2 1,0 6 11,1 1,4 9 10,0 1,9 9,6 1,1 6 6,3 1,1 5	Top 18.7 2.6 5 12.4 1.4 4 N/A 5.5 0.5 4 7.7 0.5 6 10.3 2.5 6 10.3 2.5 6 11.5 9.8 0.9 3 1.3 6 7.3 0.5 6	136,9 9,6 20 116,6 20 21,3 20 48,5 5,2 22 31,5 5,5 20 70,7 70,7 16,6 20 91,1 14,9 22 76,1 11,2 20 34,4 8,6 20 54,4 8,6 20	MOR (i Bottom 137,9 10,1 9 117,9 11,9 8 47,3 5,6 15 31,0 7,4 6 50,0 8,2 7 76,2 9,6 8 20,1 14,0 11 79,0 8,6 8 70,8 5,4 8 55,4 8	Middle 135,9 10,2 6 126,2 20,7 8 51,2 30,7 4,4 10 76,2 5,7 6 70,3 7,8 6 89,7 17,7 9 75,0 14,2 9 66,4 7,5 6 47,3 11,2 5	136,4 10.2 5 94,7 25,7 4 N/A 34,1 5,5 4 50,8 6 64,4 8,2 6 92,2 * 1 71,6 71,1 3 66,2 10,7 6 58,0 6

^aAir dry density at 12% moisture content; ^bMean; ^cStandard deviation; ^dNumber of specimens.

The position in the tree had a more limited impact on the compression strength properties. The species and position in tree interaction significantly influenced the compression perpendicular to grain in the case of two species, *i.e. Eucalyptus deglupta* and *Pterocarpus indicus* (Table 4). In both cases, top sections provided significantly higher average values than bottom sections (*P*-value <0,020). In the case of compression parallel to the grain, the crushing strength was not significantly influenced by the position in the tree for any of the tested species. The Fisher pairwise comparisons analysis identified two species, *i.e. Castanospermum australe* and *Anisoptera thurifera*, where the bottom sections provided significantly higher results than the top sections.

Table 4: Compression parallel and perpendicular to the grain per species based on position in the tree (based on height from ground).

	Comr		llel to Grain		Compression Perpendicular to Grain (MPa)				
				,					
Species	Combined	Bottom	Middle	Тор	Combined	Bottom	Middle	Тор	
Alstonia	18,7 a	18,5	18,3	19,1	3,5	3,3	3,3	4,0	
scholaris	2,4 b 20 c	2,5 6	1,2 6	3,2 8	0,7 20	0,7 7	0,4 7	0,9 6	
Anisoptera	51,2	54,8	49,5	47,9	9,3	10,1	9,3	8,4	
thurifera	3,9 20	3,0 8	2,2 7	2,5 5	2,0 20	2,0 7	2,6 7	0,5 6	
Anthocephalus	31,4	28,0	32,8	32,3	6,8	6,4	7,1	7,2	
chinensis	6,7 20	6,6 5	6,4 7	7,1 8	1,9 20	2,4 7	1,3 9	2,6 4	
Araucaria	24,4	25,5	22,6	25,2	7,5	7,9	6,5	8,0	
cunninghamii	3,8 20	5,0 5	3,4 7	3,2 8	1,5 20	1,5 7	1,2 6	1,5 7	
Araucaria	31,0	31,4	31,3	30,4	7,5	7,5	7,7	7,2	
hunsteinii	2,2 20	1,6 7	3,0 5	2,3 8	0,6 20	1,0 6	0,4 8	0,4 6	
Canarium	33,5	32,3	39,0	30,0	7,2	7,5	7,7	6,1	
oleosum	5,1 20	3,4 7	2,1 6	4,4 7	1,4 20	1,5 8	1,6 6	0,6 6	
Castanospermu	48,2	53,6	44,7	44,7	12,7	13,3	12,5	12,4	
m australe	12,4 20	17,3 8	8,3 6	4,9 6	1,2 20	1,5 6	1,1 7	0,7 7	
Elaeocarpus	28,6	26,0	29,4	29,6	4,9	4,1	5,1	5,6	
sphaericus	2,6 20	0,7 5	2,2 9	3,1 6	1,2 20	0,7 7	1,5 7	1,0 6	
Endospermum	29,5	28,6	28,9	31,6	4,2	4,5	3,5	4,1	
medullosum	5,0 20	6,2 7	5,0 8	3,1 5	0,8 20	0,6 8	1,2 4	0,7 8	
Eucalyptus	31,3 9,5 20	31,2 3.6 7	30,5 8.0 8	32,8	9,5 2,5 21	8,4 2,0 11	10,3	11,1	
deglupta Eucalyptus	52,7	3,6 7 51.6	8,0 8 52.4	17,2 5 54.6	16,0	2,0 11 16,2	1,1 5	3,8 5 15,8	
pellita	9,1 21	7,4 9	10,5 6	11,4 6	3,0 22	3,7 10	2,5 5	2,6 7	
Falcataria	25,5	23,8	25,0	28,7	4,1	2,7	4,5	4,6	
moluccana	3,5 20	3.8 4	2.7 12	4,1 4	1,5 21	0.8 5	1,2 12	2.1 4	
Homalium	58,6	59,9	58,7	57,3	1,5 21	16,4	15.4	14,5	
foetidum	8,8 20	7,3 7	14,1 6	5,0 7	2,5 20	2,5 7	2,4 7	2,7 6	
joenaum									
	Comp	ression Para	llel to Grain (MPa)	Compres	sion Perpend	licular to Gra	in (MPa)	
Species	Comp	Bottom		MPa) Top	Compres	Bottom	Middle	in (MPa) Top	
Species Hopea iriana	Comp Combined	Bottom 69,5	Middle 68,3	MPa) Top 69,4	Compres Combined 20,6	Bottom 20,7	Middle 20,6	Top 20,4	
Hopea iriana	Composition Combined 69,0 a 6,8 b 20 c	Bottom 69,5 10,0 6	Middle 68,3 5,8 7	MPa) Top 69,4 5,3 7	Compres Combined 20,6 0,5 20	Bottom 20,7 0,5 8	Middle 20,6 0,5 7	Top 20,4 0,5 5	
*	Comp Combined	Bottom 69,5	Middle 68,3	MPa) Top 69,4	Compres Combined 20,6	Bottom 20,7	Middle 20,6	Top 20,4	
Hopea iriana	Comp Combined 69,0 a 6,8 b 20 c 64,1	Bottom 69,5 10,0 6 66,6	Middle 68,3 5,8 7 62,5	MPa) Top 69,4 5,3 7 64,2	Compres Combined 20,6 0,5 20 17,3	Bottom 20,7 0,5 8 17,0 3,6 10 5,7	Middle 20,6 0,5 7 19,2	Top 20,4 0,5 5 15,6	
Hopea iriana Intsia bijuga	Compared Combined 69,0 a 6,8 b 20 c 64,1 5,3 20	Bottom 69,5 10,0 6 66,6 7,7 7	Middle 68,3 5,8 7 62,5 3,2 11	Top 69,4 5,3 7 64,2 4,4 2	Compres Combined 20,6 0,5 20 17,3 3,3 17	Bottom 20,7 0,5 8 17,0 3,6 10	Middle 20,6 0,5 7 19,2 1,8 4	Top 20,4 0,5 5 15,6 3,4 3	
Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia	Comprocess Combined 69,0 a 6,8 b 20 c 64,1 5,3 20 25,4	Bottom 69,5 10,0 6 66,6 7,7 7 24,6	Middle 68,3 5,8 7 62,5 3,2 11 25,9	MPa) Top 69,4 5,3 7 64,2 4,4 2 28,8	Compress Combined 20,6 0,5 20 17,3 3,3 17 5,6	Bottom 20,7 0,5 8 17,0 3,6 10 5,7	Middle 20,6 0,5 7 19,2 1,8 4 5,3	Top 20,4 0,5 5 15,6 3,4 3 6,0	
Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia tsianpacca Octomeles sumatrana	Compined 69,0 a 6,8 b 20 c 64,1 5,3 20 25,4 2,7 20 18,5 3,2 19	Bottom 69,5 10,0 6 66,6 7,7 7 24,6 2,2 10 17,1 3,1 7	Middle 68,3 5,8 7 62,5 3,2 11 25,9 3,1 9 19,1 2,6 5	MPa) Top 69,4 5,3 7 64,2 4,4 2 28,8 * 1 19,5 3,6 7	Compres Combined 20,6 0,5 20 17,3 3,3 17 5,6 0,9 22 2,7 0,9 20	Bottom 20,7 0,5 8 17,0 3,6 10 5,7 1,0 10 2,6 0,7 6	Middle 20,6 0,5 7 19,2 1,8 4 5,3 0,5 9 2,6 0,8 10	Top 20,4 0,5 5 15,6 3,4 3 6,0 0,5 3 3,2 1,2 4	
Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia tsiampacca Octomeles sumatrana Palaquium	Combined 69,0 a 6,8 b 20 c 64,1 5,3 20 25,4 2,7 20 18,5 3,2 19 25,4	Bottom 69,5 10,0 6 66,6 7,7 7 24,6 2,2 10 17,1 3,1 7 25,1	Middle 68,3 5,8 7 62,5 3,2 11 25,9 3,1 9 19,1 2,6 5 25,6	MPa) Top 69,4 5,3 7 64,2 4,4 2 28,8 * 1 19,5 3,6 7 25,4	Compres Combined 20,6 0,5 20 17,3 3,3 17 5,6 0,9 22 2,7 0,9 20 4,5	Bottom 20,7 0,5 8 17,0 3,6 10 5,7 1,0 10 2,6 0,7 6 4,4	Middle 20,6 0,5 7 19,2 1,8 4 5,3 0,5 9 2,6 0,8 10 4,6	Top 20,4 0,5 5 15,6 3,4 3 6,0 0,5 3 3,2 1,2 4 4,5	
Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia tsiampacca Octomeles sumatrana Palaquium warbargianum	Combined 69,0 a 6,8 b 20 c 64,1 5,3 20 25,4 2,7 20 18,5 3,2 19 25,4 2,7 20	Bottom 69,5 10,0 6 66,6 7,7 7 24,6 2,2 10 17,1 3,1 7 25,1 1,7 7	Middle 68,3 5,8 7 62,5 3,2 11 25,9 3,1 9 19,1 2,6 5 25,6 2,8 7	MPa) Top 69,4 5,3 7 64,2 4,4 2 28,8 * 1 19,5 3,6 7 25,4 3,9 6	Compres Combined 20,6 0,5 20 17,3 3,3 17 5,6 0,9 22 2,7 0,9 20 4,5 1,2 20	Bottom 20,7 0,5 8 17,0 3,6 10 5,7 1,0 10 2,6 0,7 6 4,4 1,6 8	Middle 20,6 0,5 7 19,2 1,8 4 5,3 0,5 9 2,6 0,8 10 4,6 1,0 6	Top 20,4 0,5 5 15,6 3,4 3 6,0 0,5 3 3,2 1,2 4 4,5 0,8 6	
Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia tsiampacca Octomeles sumatrana Palaquium	Combined 69,0 a 6,8 b 20 c 64,1 5,3 20 25,4 2,7 20 18,5 3,2 19 25,4 2,7 20 36,7	Bottom 69,5 10,0 6 66,6 7,7 7 24,6 2,2 10 17,1 3,1 7 25,1 1,7 7 37,5	Middle 68,3 5,8 7 62,5 3,2 11 25,9 3,1 9 19,1 2,6 5 25,6 2,8 7 39,2	MPa) Top 69,4 5,3 7 64,2 4,4 2 28,8 * 1 19,5 3,6 7 25,4 3,9 6 33,5	Compres Combined 20,6 0,5 20 17,3 3,3 17 5,6 0,9 22 2,7 0,9 20 4,5 1,2 20 7,5	Bottom 20,7 0,5 8 17,0 3,6 10 5,7 1,0 10 2,6 0,7 6 4,4 1,6 8 8,0	Middle 20,6 0,5 7 19,2 1,8 4 5,3 0,5 9 2,6 0,8 10 4,6 1,0 6 7,6	Top 20,4 0,5 5 15,6 3,4 3 6,0 0,5 3 3,2 1,2 4 4,5 0,8 6 6,8	
Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia tsiampacca Octomeles sumatrana Palaquium warbargianum Pangium edule	Combined 69,0 a 6,8 b 20 c 64,1 5,3 20 25,4 2,7 20 18,5 3,2 19 25,4 2,7 20 36,7 7,6 20	Bottom 69,5 10,0 6 66,6 7,7 7 24,6 2,2 10 17,1 3,1 7 25,1 1,7 7 37,5 9,0 6	Middle 68,3 5,8 7 62,5 3,2 11 25,9 3,1 9 19,1 2,6 5 25,6 2,8 7 39,2 6,4 7	MPa) Top 69,4 5,3 7 64,2 4,4 2 28,8 * 1 19,5 3,6 7 25,4 3,9 6 33,5 7,3 7	Compres Combined 20,6 0,5 20 17,3 3,3 17 5,6 0,9 22 2,7 0,9 20 4,5 1,2 20 7,5 1,2 20	Bottom 20,7 0,5 8 17,0 3,6 10 5,7 1,0 10 2,6 0,7 6 4,4 1,6 8 8,0 1,4 8	Middle 20,6 0,5 7 19,2 1,8 4 5,3 0,5 9 2,6 0,8 10 4,6 1,0 6 7,6 0,4 5	Top 20,4 0,5 5 15,6 3,4 3 6,0 0,5 3 3,2 1,2 4 4,5 0,8 6 6,8 0,9 7	
Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia tsiampacca Octomeles sumatrana Palaquium warbargianum	Combined 69,0 a 6,8 b 20 c 64,1 5,3 20 25,4 2,7 20 18,5 3,2 19 25,4 2,7 20 36,7 7,6 20 29,1	Bottom 69,5 10,0 6 66,6 7,7 7 24,6 2,2 10 17,1 3,1 7 25,1 1,7 7 37,5 9,0 6 26,5	Middle 68,3 5,8 7 62,5 3,2 11 25,9 3,1 9 19,1 2,6 5 25,6 2,8 7 39,2 6,4 7 31,7	MPa) Top 69,4 5,3 7 64,2 4,4 2 28,8 * 1 19,5 3,6 7 25,4 3,9 6 33,5 7,3 7 27,8	Compres Combined 20,6 0,5 20 17,3 3,3 17 5,6 0,9 22 2,7 0,9 20 4,5 1,2 20 7,5 1,2 20 8,3	Bottom 20,7 0,5 8 17,0 3,6 10 5,7 1,0 10 2,6 0,7 6 4,4 1,6 8 8,0 1,4 8 8,0	Middle 20,6 0,5 7 19,2 1,8 4 5,3 0,5 9 2,6 0,8 10 4,6 1,0 6 7,6 0,4 5 8,4	Top 20,4 0,5 5 15,6 3,4 3 6,0 0,5 3 3,2 1,2 4 4,5 0,8 6 6,8 0,9 7 8,5	
Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia Isiampacca Octomeles Sumatrana Palaquium warbargianum Pangium edule Pinus caribaea	Combined 69,0° 6,8° 20° 64,1 5,3° 20,7 20 18,5 3,2° 19 25,4 2,7° 20 36,7 7,6° 20 29,1 6,0° 20	Bottom 69,5 10,0 6 66,6 7,7 7 24,6 2,2 10 17,1 3,1 7 25,1 1,7 37,5 9,0 6 26,5 3,8 7	Middle 68,3 5,8 7 62,5 3,2 11 25,9 3,1 9 19,1 2,6 5 25,6 2,8 7 39,2 6,4 7 31,7 6,3 9	MPa) Top 69,4 5,3 7 64,2 4,4 2 28,8 * 1 19,5 3,6 7 25,4 3,9 6 33,5 7,3 7 27,8 7,5 4	Compres Combined 20,6 0,5 20 17,3 3,3 17 5,6 0,9 22 2,7 0,9 20 4,5 1,2 20 7,5 1,2 20 8,3 1,5 20	Bottom 20,7 0,5 8 17,0 3,6 10 5,7 1,0 10 2,6 0,7 6 4,4 1,6 8 8,0 1,4 8 8,0 0,5 7	Middle 20,6 0,5 7 19,2 1,8 4 5,3 0,5 9 2,6 0,8 10 4,6 1,0 6 7,6 0,4 5 8,4 1,7 2	Top 20,4 0,5 5 15,6 3,4 3 6,0 0,5 3 3,2 1,2 4,5 0,8 6,8 0,9 7 8,5 1,9 11	
Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia tsiampacca Octomeles sumatrana Palaquium warbargianum Pangium edule	Combined 69,0 a 6,8 b 20 c 64,1 5,3 20 25,4 2,7 20 18,5 3,2 19 25,4 2,7 20 36,7 7,6 20 29,1 6,0 20 36,9	Bottom 69,5 10,0 6 66,6 7,7 7 24,6 2,2 10 17,1 3,1 7 25,1 1,7 7 37,5 9,0 6 26,5 3,8 7 37,3	Middle 68,3 5,8 7 62,5 3,2 11 25,9 3,1 9 19,1 2,6 5 25,6 2,8 7 39,2 6,4 7 31,7 6,3 9 35,6	MPa) Top 69,4 5,3 7 64,2 4,4 2 28,8 * 1 19,5 3,6 7 25,4 3,9 6 33,5 7,3 7 27,8 7,5 4 37,3	Compres Combined 20,6 0,5 20 17,3 3,3 17 5,6 0,9 22 2,7 0,9 20 4,5 1,2 20 7,5 1,2 20 8,3 1,5 20 12,7	Bottom 20,7 0,5 8 17,0 3,6 10 5,7 1,0 10 2,6 0,7 6 4,4 1,6 8 8,0 1,4 8 8,0 0,5 7 12,2	Middle 20,6 0,5 7 19,2 1,8 4 5,3 0,5 9 2,6 0,8 10 4,6 1,0 6 7,6 0,4 5 8,4 1,7 2 14,1	Top 20,4 0,5 5 15,6 3,4 3 6,0 0,5 3,2 1,2 4 4,5 0,8 6 6,8 0,9 7 8,5 1,9 11 10,5	
Intsia bijuga Intsia bijuga Magnolia Istiampacca Octomeles sumatrana Palaquium warbargianum Pangium edule Pimus caribaea Pometia pinnata	Combined 69,0 a 6,8 b 20 c 64,1 5,3 20 25,4 2,7 20 18,5 3,2 19 25,4 2,7 20 36,7 7,6 20 29,1 6,0 20 36,9 4,9 21	Bottom 69,5 10,0 6 66,6 7,7 7 24,6 2,2 10 17,1 3,1 7 25,1 1,7 7 37,5 9,0 6 26,5 3,8 7 37,3 6,0 8	Middle 68,3 7 62,5 3,2 11 25,9 3,1 9 19,1 2,6 5 28,6 7 39,2 6,4 7 31,7 6,3 9 35,6 5,5 5	MPa) Top 69,4 5,3 7 64,2 4,4 2 28,8 * 1 19,5 3,6 7 25,4 3,9 6 33,5 7,3 7 27,8 7,5 4 37,3 3,8 8	Compres Combined 20,6 0,5 20 17,3 3,3 17 0,9 22 2,7 0,9 20 4,5 1,2 20 7,5 1,2 20 12,7 3,3 20 12,7 3,3 22	Bottom 20,7 0,5 8 17,0 3,6 10 5,7 1,0 10 2,6 0,7 6 4,4 1,6 8,0 1,4 8 8,0 0,5 7 112,2 2,7 12	Middle 20,6 0,5 7 19,2 1,8 4 5,3 0,5 9 2,6 0,8 10 4,6 1,0 6 7,6 0,4 5 8,4 1,7 2 14,1 3,9 8	Top 20,4 0,5 5 15,6 3,4 3 6,0 0,5 3 3,2 1,2 4 4,5 0,8 6,8 0,9 7 8,5 1,9 11 10,5 3,2 2	
Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia Istiampacca Octomeles sumatrana Palaquium warbargianum Pangium edule Pimus caribaea Pometia pinnata	Combined 69,0 a 6,8 b 20 c 64,1 5,3 20 25,4 2,7 20 18,5 3,2 19 25,4 2,7 20 36,7 7,6 20 29,1 6,0 20 36,9 4,9 21 45,7	Bottom 69,5 10,0 6 66,6 7,7 7 24,6 2,2 10 17,1 3,1 7 25,1 1,7 7 37,5 9,0 6 26,5 3,8 7 37,3 6,0 8 45,8	Middle 68,3 5,8 7 62,5 3,2 11 25,9 3,1 9 19,1 2,6 5 25,6 2,8 7 39,2 6,4 7 31,7 6,3 9 35,6 5,5 5	MPa) Top 69,4 5,3 7 64,2 4,4 2 28,8 * 1 19,5 3,6 7 25,4 3,9 6 33,5 7,3 7 27,8 7,5 4 37,3 3,8 8 46,2	Compres Combined 20,6 0,5 20 17,3 3,3 17 5,6 0,9 22 2,7 0,9 20 4,5 1,2 20 7,5 1,2 20 8,3 1,5 20 12,7 3,3 22 11,4	Bottom 20,7 0,5 8 17,0 3,6 10 5,7 1,0 10 2,6 0,7 6 4,4 1,6 8 8,0 1,4 8 8,0 0,5 7 12,2 2,7 12 10,7	Middle 20,6 0,5 7 19,2 1,8 4 5,3 0,5 9 2,6 0,8 10 4,6 1,0 6 7,6 0,4 5 8,4 1,7 2 14,1 3,9 8 11,4	Top 20,4 0,5 5 15,6 3,4 3 6,0 0,5 3 3,2 1,2 4 4,5 6 6,8 0,9 7 8,5 1,9 11 10,5 3,2 2 13,2	
Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia tsiampacca Octomeles sumatrana Palaquium warbargianum Pangiam edule Pinus caribaea Pometia pimata Pterocarpus midicus	Compined 69,0 a 69,0 a 20 c 64,1 5,3 20 c 18,5 3,2 19 25,4 2,7 20 36,7 7,6 20 29,1 6,0 20 36,9 4,9 21 445,7 7,2 21	Persion Para Bottom 69,5 10,0 6 66,6 7,7 7 24,6 2,2 10 17,1 7 25,1 1,7 7 37,5 9,0 6 26,5 3,8 7 37,3 6,0 8 45,8 6,5 7	Middle 68,3 5,8 7 62,5 3,2 11 25,9 3,1 9 19,1 2,6 5 25,6 25,6 25,6 25,6 25,6 25,6 25,	MPa) Top 69,4 5,3 7 64,2 4,4 2 28,8 * 1 19,5 3,6 7 25,4 3,9 6 33,5 7,3 7 27,8 7,5 4 37,3 3,8 8 46,2 9,2 7	Compres Combined 20,6 0,5 20 17,3 3,3 17 5,6 0,9 22 2,7 0,9 20 4,5 1,2 20 12,7 1,2 20 12,7 3,3 22 11,4 2,2 21	Bottom 20,7 0,5 8 17,0 3,6 10 5,7 1,0 10 2,6 6 1,6 8 8,0 1,4 8 8,0 0,5 7 12,2 2,7 12 10,7 2,5 9 2,5 9	Middle	Top 20,4 0,5 5 15,6 3,4 3 6,0 0,5 3 3,2 4 4,5 0,8 6 6,8 0,9 7 1,9 11 10,5 3,2 2 13,2 2,4 3	
Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia Istiampacca Octomeles sumatrana Palaquium warbargianum Pangium edule Pimus caribaea Pometia pinnata	Combined 69,0 ° 6,8 ° 20 ° 6,8 ° 20 ° 6,8 ° 20 ° 21,8 ° 21,8 ° 20 ° 18,5 ° 20 ° 25,4 ° 20 ° 20,1 ° 20 ° 20,1 ° 20,0 ° 20,1 ° 20,	Bottom 69,5 10,0 66,6 7,7 24,6 2,2 10 17,1 3,1 7 25,1 1,7 7 37,5 9,0 6 26,5 3,8 7 37,3 6,0 8 45,8 6,5 7 34,6	Middle 68,3 5,8 7 62,5 3,2 11,9 19,1 2,6 5 25,6 7 39,2 7 31,7 6,4 7 31,7 6,3 9 3,5 5,5 5 45,2 6,9 7 40,3	MPa) Top 69,4 5,3 7 64,2 4,4 2 28,8 119,5 3,6 7 25,8 3,9 6 33,5 7,3 7 27,8 7,5 4 37,3 3,8 8 46,2 9,2 7 38,7	Compres 20,6 0,5 20,7 17,3 3,3 17,5 5,6 2,7 0,9 20 4,5 1,2 20 7,5 1,2 20 8,3 12,7 3,3 22 11,4 2,2 21 8,2	Bottom 20,7 0,5 7 17,0 3,6 10 5,7 1,0 10 2,6 0,7 6 4,4 1,6 8 8,0 0,5 7 12,2 2,7 12,2 2,7 12,2 10,7 2,5 9 7,8	Middle 20,6 0,5 7 19,2 1,8 4 5,3 0,5 9 2,6 0,8 10 4,6 1,0 6 7,6 0,4 5 8,4 1,7 2 14,1 3,9 8 11,4 1,6 9 8,9	in (MPa) Top 20,4 0,5 5 15,6 3,4 3 6,0 0,5 3 3,2 1,2 4 4,5 0,8 6 6,8 6,9 7 8,5 1,9 11 10,5 3,2 2 13,2 2,4 3 8,1	
Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia tsiampacca Octomeles sumatrana Palaquium warbargianum Pangium edule Pinus caribaea Pometia pimata Pterocarpus indicus Syzygium spp	Combined 69.0° 69.0° 5,3 20° 64.1 5,3 20° 18.5 3,2 19 25,4 2,7 20° 36,7 7,6 20° 29,1 6,0 20° 36,9 4,9 21 45,7 7,2 21 38,8 20° 38,9 20,7 38,0 38,0 38,0 38,0 38,0 38,0 38,0 38,0	Bottom 69,5 10,0 66,6 7,7 7 24,6 2,2 10 17,1 3,1 7 25,1 1,7 7 3,7 5 9,0 6 20,5 3,8 7 37,3 6,0 8 45,8 7 34,6 4,9 5	Middle 68,3 5,8 7 62,5 3,2 11 2,6 32,9 3,1 9,1 2,6 25,6 2,8 7 39,2 6,4 7 31,7 6,3 9 35,6 6,9 7 40,3 6,7 8	MPa) Top 69,4 4,4 2 28,8 * 1 19,5 3,6 7 25,4 3,9 7 25,4 3,9 7 3,5 7 3,8 8 46,2 7 3,8,7 3,8,7 3,5,7	Compress Combined 20,6 0,5 20 17,3 3,3 17 5,6 0,9 22 2,7 0,9 20 4,5 1,2 20 8,3 1,5 20 12,7 12,2 11,8 20	Bottom	Middle 20,6 7, 19,2 1,8 4 5,3 0,5 9 2,6 0,8 10 1,0 6 1	in (MPa) Top 20,4 0,5 5 15,6 3,4 3 6,0 0,5 3 3,2 1,2 4 4,5 0,8 6 6,8 0,9 7 1,9 11 10,5 13,2 2 13,2 3 8,1 1,6 6	
Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia Istampacca Octomeles sumatrana Palcapium warbargianum Pangium ethile Pimus caribaea Pometia pinnata Pterocarpus indicus Syzygium spp Terminalia	Combined 69.0 s 69.0 s 20 c 64.1 5,3 20 c 25,4 27, 20 18,5 3,2 19 25,4 27, 20 29,1 6,0 20 36,9 4,9 21 45,7 7,2 21 38,3 5,6 20,29,9	Bottom 69.5 69.5 7.7 7 24.6 2.2 10 17.1 3.1 7 25.1 1.7 7 37.5 90.0 8 45.8 6.5 7 34.6 4.9 5	Middle 68,3 7 62,5 3,2 11 25,9 31,1 9 19,1 26,5 25,6 28,6 28,7 30,2 64,4 7 31,7 6,3 9 35,6 5,5 5 45,2 6,9 7 40,3 6,7 8 29,9	MPa) Top 69,4 69,4 4,4 2 28,8 * 1 19,5 3,6 7 25,4 3,9 6 33,5 7 27,8 7,5 3 46,2 9,2 7 38,7 3,5,7 33,7 33,7 33,7 33,7 33,7 33,7 3	Compress Combined 20.6 20.6 17.3 3,3 17 5,6 0,9 22 2.7 1,5 1,2 20 1,2 20 1,2 20 1,3 3 1,5 22 11.4 2,2 21 1,8 20 6,0	Bottom 20.7 8 17.0 10.5 8 17.0 10.5 17.0 10.5 10.7 10.7 10.6 1.6 8 8.0 0.5 1.4 8 8.0 1.4 1.4 1.4 1.4 1.5 1.7 1.7 1.7 1.7 1.7 1.7 1.7	Middle 20,6 0,5 7 19,2 1,8 4 5,3 0,5 9 2,6 0,8 10 4,6 1,0 6 7,6 0,4 5 8,4 2 1,7 2 1,7 2 1,4 1,6 9 8,9 1,3 8 8,9 1,4 1,6 1,6 3,7	in (MPa) Top 20,4 30,5 15,6 3,4 3 6,0 0,5 3 3,2 1,2 4 4,5 0,8 6 6,8 0,9 7 10,5 13,2 2 2,4 3 8,1 1,6 6,9	
Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia tsiampacca Octomeles sumatrana Palaquium warbargianum Pangium edule Pinus caribaea Pometia pinnata Pterocarpus indicus Syzygium spp Terosini alia brassii	Combined 69.0 ° 20 ° 64.1 53.3 ° 20 ° 8.3 18.5 3.2 ° 19 25.4 27. ° 20 36.7 7,6 ° 20 29.1 60.0 ° 20 4.9 ° 21 45.7 7,2 ° 21 38.3 38.5 5.6 ° 20 29.9 44.4 ° 20	Bottom 69,5 10,0 66,6 7,7 7 24,6 22,2 10 17,1 7 3,1 7 7 37,5 9,0 6 26,5 3,8 7 37,3 6,0 8 45,8 45,8 45,8 45,8 45,9 29,0 5,2 10	Middle 68,3 5,8 7 62,5 3,2 11 19,1 2,6 5 28,6 7 31,7 63,9 31,7 63,9 35,6 5,5 5 45,2 6,9 7 40,7 8 29,9 3,5 6,7 3,5 5	MPa) Top 69,4 4,4 2 4,4 2 28,8 8 1 19,5 3,6 7 25,4 3,9 6 33,5 7 3,7 7 27,8 4 37,3 3,8 8 46,2 7 38,5 7 3,7 3,5 7 3,5 7 3,5 7 32,0 3,5 7 3,6 7 3,5 7 3,	Compress Combined 20,6 0,5 20 17,3 3,3 17 0,9 22 2,7 0,9 20 4,5 1,2 20 7,5 1,2 20 8,3 1,5 20 12,7 3,3 22 11,4 8,2 1,8 20 6,0 6,0 1,3 20	Bottom	Middle 20,6 7,6 1,8 4 5,3 0,5 9 2,6 0,8 10 4,6 1,0 6 1,0 6 0,4 5,3 1,1 3,9 8 11,6 9 8,19 1,3 6 3,7 0,1 2 0,1 3,9 0,1 3,0 1,3 6 3,7 0,1 2 0,1 3,9 0,1 2,5 0,1 2	in (MPa) Top 20,4 3,6 0,5 5 15,6 3,4 3 6,0 0,5 3,2 1,2 4,5 0,8 6,8 0,9 7 1,0,5 3,2 2 13,2 1,2 1,2 1,3 1,6 6,8 0,9 1,9 1,0,5 3,2 1,2 1,3 1,6 6,8 0,9 0,6 0,6 0,6 0,6 0,6 0,6 0,6	
Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia Istampacca Octomeles sumatrana Palcapium warbargianum Pangium ethile Pimus caribaea Pometia pinnata Pterocarpus indicus Syzygium spp Terminalia	Combined 69.0 s 69.0 s 5.3 20 c 64.1 5.3 20 c 25.4 2.7 20 18.5 3.2 19 25.4 2.7 20 20 36.7 7.6 7 7.6 20 36.9 4.9 21 45.7 7.2 21 38.3 5.6 20 29.9 4,4 20 45.9	Bottom 69.5 7,7 7 24.6 2,2 10 17,1 3,1 7 25,1 1,7 7 37,5 9,0 6 26,5 3,8 7 37,3 6,0 8 45,8 6,5 7 34,6 49,5 29,0 46,5	Middle 68,3 7 62,5 3,2 11 25,9 3,1 9 19,1 26,5 25,6 28,6 7 30,2 6,4 7 31,7 6,3 9 35,6 5,5 5 45,2 6,9 7 40,3 6,7 8 29,9 3,5 6 42,0	MPa) Top 69,4 4,4 2 28,8 * 1 19,5 3,6 7 25,4 3,9 7 27,8 7,3 7 27,8 4,5 38,7 47,5	Compress Combined 20.6 20.6 17.3 3,3 17 5.6 0,9 22 2.7 1,2 20 1,2 20 1,2 20 1,2 20 1,8 3 1,5 20 1,2 21 1,8 2 1,8 20 6,0 1,3 20 10,0	Bottom 20.7 8 17.0 10,5 8 17.0 10,5 17.0 10,5 1,0 10,7 10,7 10,6 1,6 18,0 1,4 18,0 1,4 18,0 1,2 12,2 12,7 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 13,2 14,4 14,4 15,4 16,4 16,4 16,4 16,4 16,4 16,4 16,4 16	Middle 20,6 0,5 7 19,2 1,8 4 5,3 0,5 9 2,6 0,8 10 4,6 1,0 6 7,6 0,4 5 1,7 2 1,7 2 1,7 1,8 1,4 1,6 9 1,3 1,4 1,6 9 1,3 1,0 8,9 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0	in (MPa) Top 20,4 30,5 15,6 3,4 3 6,0 0,5 3 3,2 1,2 4 4,5 0,8 6 6,8 0,9 7 8,5 10,5 3,2 2,4 3 8,1 16,6 6,9 9,0 13,2 2,4 3 8,1 1,6 6,9 9,9 9,9	
Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia Istampacca Octomeles sumatrana Palaquium warbargianum Pangium edule Pinus caribaea Pometia pinnata Pterocarpus indicus Syzygium spp Terminalia brassii Vitex cofassus	Combined 69.0 ° 66.8 ° 20 ° 64.1 5.3 20 ° 18.5 3.2 ° 19.25.4 2.7 20 36.7 7.6 20 29.1 6.0 20 36.9 4.9 21 45.7 7.2 21 38.3 38.3 38.3 38.3 38.3 38.3 45.7 6.0 20 49.2 44.4 20 44.5 20 45.9	Bottom 69,5 10,0 66,6 7,7 7 24,6 22,2 10 31,7 25,1 1,7 37,5 9,0 6 20,5 3,8 6,0 8 45,8 6,5 7 34,6 4,9 5 29,0 1 40,5 6,1 11 Bottom	Middle 68,3 7 62,5 3,2 11 25,9 3,1 9 3,1 9 25,6 2,8 7 39,2 6,4 7 31,7 6,3 9 35,6 5,5 5 5 6,7 8 45,2 6,7 8 29,9 40,3 40,3 4,6 44,0 4,6 4	MPa) Top 69,4 4,4 2 28,8 * 1,10,5 3,6,7 25,4 3,9 63,5 7,3,7 27,8 7,5 4 37,3 3,8 8 46,2 9,2 7 38,7 3,5 7 32,0 3,5 7 32,0 3,5 7 32,0 3,5 7 32,0 3,5 7 32,0 3,5 7 32,0 3,5 7 32,0 3,5 7 32,0 3,5 7 32,0 33,1 5	Compress Combined 20,6 20,6 17,3 3,3 17 5,6 0,9 22 0,9 2,7 1,2 20 4,5 1,2 20 12,7 3,3 22 11,4 2,2 21 8,2 6,0 6,0 13,3 20 11,0 11,0 11,8 20	Bottom	Middle 20,6 7,6 1,8 4 5,3 0,5 9 2,6 0,8 10 4,6 1,0 6 1,0 6 0,4 5,3 1,1 3,9 8 11,6 9 8,19 1,3 6 3,7 0,1 2 0,1 3,9 0,1 3,0 1,3 6 3,7 0,1 2 0,1 3,9 0,1 2,5 0,1 2	in (MPa) Top 20,4 3,6 3,4 3,6 0,5 3,5 3,2 1,2 4,5 0,8 6,8 0,9 7 8,5 1,9 11 10,5 3,2 2,4 3 8,1 10,5 3,2 2,4 3 8,1 10,5 3,2 2,4 3 8,1 10,5 3,2 2,4 3 8,1 10,5 3,2 2,4 3 8,1 10,5 3,2 2,4 3 8,1 10,5 3,2 2,4 3 8,1 10,5 3,2 2,4 3 8,1 10,6 6,9 9,3 1,3 8,1	
Hopea iriana Intsia bijuga Magnolia Istampacca Octomeles sumatrana Palaquium warbargianum Pangium edule Pinus caribaea Pometia pinnata Pierocarpus indicus Syzygium spp Terminalia brassii	Combined 69.0 s 69.0 s 5.3 20 c 64.1 5.3 20 c 25.4 2.7 20 18.5 3.2 19 25.4 2.7 20 20 36.7 7.6 7 7.6 20 36.9 4.9 21 45.7 7.2 21 38.3 5.6 20 29.9 4,4 20 45.9	Bottom 69.5 7,7 7 24.6 2,2 10 17,1 3,1 7 25,1 1,7 7 37,5 9,0 6 26,5 3,8 7 37,3 6,0 8 45,8 6,5 7 34,6 49,5 29,0 46,5	Middle 68,3 7 62,5 3,2 11 25,9 3,1 9 19,1 26,5 25,6 28,6 7 30,2 6,4 7 31,7 6,3 9 35,6 5,5 5 45,2 6,9 7 40,3 6,7 8 29,9 3,5 6 42,0	MPa) Top 69,4 4,4 2 28,8 * 1 19,5 3,6 7 25,4 3,9 7 27,8 7,3 7 27,8 4,5 38,7 47,5	Compress Combined 20.6 20.6 17.3 3,3 17 5.6 0,9 22 2.7 1,2 20 1,2 20 1,2 20 1,2 20 1,8 3 1,5 20 1,2 21 1,8 2 1,8 20 6,0 1,3 20 10,0	Bottom 20.7 8 17.0 10,5 8 17.0 10,5 17.0 10,5 1,0 10,7 10,7 10,6 1,6 18,0 1,4 18,0 1,4 18,0 1,2 12,2 12,7 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 12,5 12,2 10,7 13,2 14,4 14,4 15,4 16,4 16,4 16,4 16,4 16,4 16,4 16,4 16	Middle 20,6 7, 19,2 1,8 4 5,3 9,5 9 2,6 0,8 10 1,0 6 1	in (MPa) Top 20,4 30,5 15,6 3,4 3 6,0 0,5 3 3,2 1,2 4 4,5 0,8 6 6,8 0,9 7 8,5 10,5 3,2 2,4 3 8,1 16,6 6,9 9,0 13,2 2,4 3 8,1 1,6 6,9 9,9 9,9	

^aMean; ^bStandard deviation; ^c Number of specimens *not applicable

Table 5: Shear parallel to the grain and hardness per species based on position in the tree (based on height from ground).

	s	hear Parallel	to Grain (MP	a)	Janka Hardness (N)				
Species	Combined	Bottom	Middle	Top	Combined	Bottom	Middle	Top	
Alstonia	4,6 "	4,6	4,2	5,1	896	903	849	959	
scholaris	0,9 b 20 c	1,1 6	0,5 8	0,9 6	171 20	88 5	113 9	275 6	
Anisoptera	10,4	11,0	9,7	10,4	3797	3892	3533	4158	
thurifera	1.5 20	1.8 7	1.2 7	1.1 6	788 20	692 6	731 9	975 5	
Anthocephalus	7,5	7,6	7,1	7.8	2179	2021	2183	2383	
chinensis	1.4 20	1.3 8	1.7 8	0.8 4	651 20	886 8	509 6	404 6	
Araucaria	7,7	8.1	7,1	7.9	2229	2444	2067	2133	
cunninghamii	1.2 20	1.5 8	0.5 6	1.2 6	494 20	398 7	145 4	623 9	
Araucaria	8.6	8.6	8.7	8.3	2121	1987	2233	2146	
hunsteinii	1,6 20	1.9 6	1.7 8	1.3 6	251 20	219 7	230 7	273 6	
Canarium	8,5	9.2	8.7	7,5	2177	2347	2335	1795	
oleosum	1.7 20	1.7 8	1.2 6	1.9 6	494 20	543 8	388 6	333 6	
Castanospermum	10.9	11,3	10.8	10.5	4490	4274	4593	4577	
australe	1.1 20	0.7 6	1.4 6	1.1 8	649 20	630 6	729 5	660 9	
Elaeocarpus	6.6	6.0	6.7	7.2	1554	1313	1695	1608	
snhaericus	1.4 20	1.3 7	1.3 8	1.7 5	345 20	282 6	392 8	228 6	
Endospermum	5.4	5.4	5.7	5.2	1311	1387	1162	1356	
medullosum	0.9 20	0.7 8	1.3 6	0.9 6	200 20	183 8	196 6	169 6	
Eucalyptus	8,6	8.1	9.2	8,8	3132	2655	3322	3579	
deglupta	1.4 20	1.7 9	0.9 5	1.3 6	780 20	791 8	489 6	742 6	
Eucalyptus	1,4 20	12.1	12.1	12.4	6215	6459	5829	6237	
pellita	1.6 21	1.4 7	2.0 4	1.7 10	916 22	791 7	340 5	1166 10	
Falcataria	5,6	5.0	5,8	6,0	1192	1275	1121	1213	
moluccana	1.5 22	1.4 7	1.4 13	2.1 2	429 22	642 6	280 9	426 7	
Homalium	1,5 22	1,4 /	13,6	13.0	6893	7404	6847	6257	
Homatum foetidum	3.2 20	1.2 6	3.0 7	4.1 7	1476 20	1492 8	1103 6	1744 6	
foetidum					1476 20			1744 6	
			to Grain (MP		Janka Hardness (N)				
Species	Combined	Bottom	Middle	Top	Combined	Bottom	Middle	Top	
Hopea iriana	16,5 *	16,3	16,9	16,4	8753	8949	8577	8834	
	1,5 b 20 c	1,2 7	1,6 7	1,9 5	1174 20	707 6	1030 9	1914 5	
Intsia bijuga	13,5 1,8 20	13,2	14,4 2.9 7	12,9 0.4 7	6361 2016 20	6894 1545 8	6175 2887 7	5769 1250 5	
Magnolia	5.5	5.6	5.5	N/A	1273	1286	1264	N/A	
tsiampacca	0.6 22	0.7 14	0.4 8	14074	276 23	360 10	206 13	14074	
Octomeles	3.6	3.5	3.4	3.9	735	737	672	890	
sumatrana	0.7 20	0.6 8	0.5 6	0.8 6	255 22	198 8	154 10	496 4	
Palaquium	5,5	5.7	5.5	5.3	1374	1350	1408	1352	
warbargianum	0.7 20	0.5 7	0.7 10	1.0 3	292 20	288 6	320 8	309 6	
Pangium edule	8.0	8.1	7,4	8.3	3091	3120	3435	2811	
r angilim came	1.6 20	1.6 8	1.0 4	1.8 8	409 20	399 8	370 5	250 7	
Pinus caribaea	9,0	9,5	8.9	8,8	2311	2091	2547	2199	
1 miles currence	1.4 20	1.9 5	1.6 7	09 8	467 20	477 5	543 8	254 7	
Pometia pinnata	11.2	11.4	12,0	8,5	4904	5532	5495	3379	
	2.2 22	1.9 12	2.4 7	0.5 3	2098 21	2233 8	1807 7	1671 6	
Pterocarpus	9,3	9.4	9.1	9,6	3239	3175	3282	3282	
indicus	1.2 20	0.9 7	1.6 9	10 4	710 20	727 8	588 8	1063 4	
Syzygium spp,	8.7	9.3	9.0	7.7	2410	2920	2473	1925	
->	1.4 20	1.6 7	1.3 6	1.0 7	788 20	974 7	324 5	531 8	
Terminalia	8,5	8.5	9.2	8.1	2518	2582	2319	2586	
hrassii	1.2 20	1.4 8	0,9 5	1.0 7	232 20	184 6	294 5	176 9	
Vitex cofassus	9,3	8.9	9.3	9.7	3327	3392	3549	3073	
, 413.3163	1,2 21	1,2 9	1.1 6	1,3 6	706 20	769 7	514 6	797 7	
Xanthophyllum	10.6	11,0	10.9	9.7	4899	5568	4908	4441	
papuamim	2,0 20	1,6 7	2,4 5	1,6 5	1141 19	939 4	1452 9	425 6	

^a Mean; ^b Standard deviation; ^cNumber of specimens.

The position in the tree also had a limited effect on shear and hardness testing results (Table 5). The model only identified species as a very significant factor (*P*-value <0,001) influencing shear strength and hardness. The Fisher pairwise comparisons analysis allowed identifying five species where hardness was significantly lower in top sections than bottom sections, *i.e. Xanthophyllum papuanum*, *Homalium foetidum*, *Intsia bijuga*, *Syzygium spp.*, and *Pometia pinnata*. In the case of shear strength, four species could be identified as having significantly lower values in top sections versus bottom sections, *i.e. Canarium oleosum*, *Homalium foetidum*, *Pometia pinnata*, and *Syzygium spp.*. Like bending strength results, such a trend was usually noticeable in mid to high strength species.

Comparison between old-growth forests and regrowth forests or plantations

The mechanical properties of species obtained from plantations and regrowth forests were on average 24% lower than those from old-growth forests (Table 6, Bolza and Kloot 1976). However, it is not clear whether Bolza and Kloot (1976) used a primary (50 x 50 mm specimens) or secondary (25 x 25 mm or 20 x 20 mm) method for smaller size specimens. The authors also noted the extremely limited amount of test material to prepare specimens for many of the tested species, which suggested that smaller size specimens might have been considered here. Therefore, a length effect (Madsen 1990) where natural growth characteristics create cross sections with varying strengths along the length of a timber member might explain the lower mean values obtained in the present study. There was also no indication of tree age in the case of Bolza and Kloot (1976) which might have influenced the observed differences.

Octomeles sumatrana (-43%), Magnolia tsiampacca (-40%), and Syzygium spp. (-39%) were the most affected species when comparing mechanical testing results with their counterparts from old-growth forests. On the other end, Anisoptera thurifera (+4%), Elaeocarpus sphaericus (-10%), and Araucaria hunsteinii (-11%) were the least affected. The density variability observed between old-growth and regrowth or plantations timbers also support the differences observed between mechanical testing results. Octomeles sumatrana (-22%), Magnolia tsiampacca (-27%), and Syzygium spp. (-36%) were again some the species most affected a density reduction where Anisoptera thurifera (+7%), Araucaria hunsteinii (+5%), and Elaeocarpus sphaericus (0%) showed an increase or no difference. Overall, the density of plantations and regrowth forests timbers was 11% lower compared with old-growth forests. However, density alone does not seem to explain all the variability observed and other elements such as ring width might need to be considered (Kliger et al. 1995). Barr et al. (2015) also observed a weak correlation between the density and the bending strength for Intsia bijuga.

Table 6: Physical and mechanical properties of Papua New Guinea species from old-growth forests (Bolza and Kloot 1976).

	ADD	MOE	MOR	Comp	pression	Shear	Hardness	
	at 12% MC			Parallel to grain	Perpendicular to grain	Parallel to grain	Janka	
Species	kg/m ³	GPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	
Alstonia scholaris	384	9,1	59,6	28,7	N/A	6,4	1736	
Anisoptera thurifera	641	13,3	79,3	44,3	8,4	11,9	4406	
Anthocephalus chinensis	465	9,8	74,5	41,3	N/A	11,3	N/A	
Araucaria hunsteinii	449	11,9	76,5	43,9	8,5	9,7	2392	
Canarium oleosum	561	11,7	89,6	49,0	N/A	12,8	3760	
Elaeocarpus sphaericus	384	7,9	56,6	32,5	N/A	8,7	N/A	
Endospermum medullosum	384	9,6	61,4	35,9	10,2	5,2	1713	
Eucalyptus deglupta	673	14,1	105,5	69,6	14,5	10,7	5340	
Homalium foetidum	897	19,2	151,7	84,1	N/A	24,2	9924	
Hopea iriana	977	24,2	168,9	94,5	28,3	18,4	10213	
Intsia bijuga	817	18,0	146,9	80,7	26,5	17,5	8566	
Magnolia tsiampacca	465	9,8	79,3	45,3	N/A	11,2	N/A	
Octomeles sumatrana	352	8,2	53,1	36,3	5,8	5,8	1580	
Pometia pinnata	689	14,3	106,2	59,8	15,6	14,4	6542	
Pterocarpus indicus	609	12,2	95,1	58,3	16,6	9,9	4,695	
Syzygium spp.	769	16,3	110,3	67,7	N/A	13,7	N/A	
Terminalia brassii	465	9,9	68,1	37,2	10,0	8,2	2759	
Vitex cofassus	705	13,6	113,1	63,7	17,9	16,3	5585	
Xanthophyllum papuanum	785	18,5	130,3	78,6	N/A	15,0	7432	

ADD: Air dry density at 12% moisture content; MOE: Modulus of elasticity or stiffness; MOR: Modulus of rupture or bending strength. Araucaria cunninghamii, Falcataria moluccana, Castanospermum austral, Eucalyptus pellita, Palaquium warbargianum, Pangium edule, Pinus caribaea are not included in the list of studied species by Bolza and Kloot (1976). Anisoptera thurifera was the only species from regrowth forests where the mechanical testing results were usually higher (+4%) across all selected mechanical properties than those from old-growth forests (Bolza and Kloot 1976). In the case of plantations species, Magnolia tsiampacca (-40%) and Eucalyptus deglupta (-35%) were the species showing the most important average decrease in terms of mechanical properties when compared with old-growth forests. Araucaria hunsteinii (-11%) and Terminalia brassii (-17%) were the two plantations species least affected when compared with their old-growth counterparts. Compression perpendicular to the grain (-31% on average across all species), hardness (-30%), and compression parallel to the grain (-29%) were the properties showing the highest drops when comparing with old-growth forests timbers. The bending stiffness (-23%) was the mechanical property least affected when compared with results from old-growth forests followed by bending strength and shear (-24% for both).

A study by Edwin and Ozarska (2015) support the observed decrease in mechanical properties of PNG timbers from regrowth forests and plantations when compared with old-growth forests. The physical and bending properties results of 6 hardwoods species from secondary forests in PNG are also in accordance with those obtained in the present study. A study by Haslett et al. (1991) on Anthocephalus chinensis from West Samoa also provided physical and bending properties fitting those of the present study with stiffness and bending strength of 6,8 GPa and 58 MPa, respectively, for an ADD of 340 kg/m³. A lower compression parallel to the grain (25 MPa) might be related to a site factor for growth traits as reported by Leksono et al. 2008 and Hung et al. (2015) for Eucalyptus pellita. Multiple studies on Eucalyptus pellita also demonstrated the site impact on timber mechanical properties (Bootle 2005, Kelin et al. 2006, Hung et al. 2015). Interlocked grain as an adaptive trait for tropical tree species in the rainforest has also been suggested by Cabrolier et al. (2009) after the authors noticed strong variations between and within trees. Where special attention was taken in the selection of specimens for the present study, the presence of interlocked grain could explain some of the differences observed between old-growth and secondary growth timbers. Barr et al. (2015) studied the impact of interlocked grain on bending properties of *Intsia bijuga*. The authors noted that the grain can vary significantly from straight to interlocked and influence significantly the bending strength. Interestingly, stiffnesses and densities found in the present study are similar to those found by Barr et al. 2015 i.e. 758 and 812 kg/m³ and 14,2 and 15 GPa, respectively. However, MOR values differed significantly (116,6 versus 152,5 MPa) potentially because of the presence of interlocked grain.

CONCLUSIONS

Six mechanical properties, namely bending strength, stiffness, compression parallel and perpendicular to the grain, shear parallel to the grain, and hardness, have been evaluated for 26 PNG species using 2641 small clear specimens from 130 trees.

The impact of the position in the tree on the selected mechanical properties has also been assessed. Stiffness and bending strength tend to decrease or remain unchanged along the stem across all studied species. Where shear and hardness testing results showed a similar trend to a lesser extent, the position in the tree had a much more limited impact on the compression strength properties. Further experiments where sampling would consider the radial position within the tree might accentuate observed trends. Therefore, segregating logs based on the position in the tree could be of interest where desired timber mechanical properties and costs associated with segregating is justifying optimum mechanical properties for the intended end use.

The mechanical properties of species obtained from plantations and regrowth forests were lower than those found in the literature from old-growth forests. Different factors including the size of specimens tested, the amount and provenance of tested material, and some adaptive traits for tropical tree species might explain some differences. However, comparisons of mechanical testing results with other recent studies tend to confirm a reduction of physical and mechanical properties when comparing with timbers from old-growth forests.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors acknowledge the financial support of the Australian Government for funding through the Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR) program, Project No. FST/2012/092. Gratitude is extended to the Timber and Forestry Training College and PNG Forest Research Institute for harvest and supply of material used in the study. Special thanks to Frank Asok, Markson Naki, and Grace So'on for their assistance with experimental and coordination activities.

REFERENCES

- **ASTM International. 2009.** Standard test methods for small clear specimens of timber. ASTM D143. 2009. ASTM International: United States.
- **ASTM International. 2010.** Standard Practice for Sampling Forest Trees for Determination of Clear Wood Properties. ASTM D5536. 2010. ASTM International: United States.
- **Barr, J.; Tippner, J.; Rademacher, P. 2015.** Prediction of mechanical properties Modulus of rupture and modulus of elasticity of five tropical species by non-destructive methods. *Maderas-Cienc Tecnol* 17(2):239-252. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2015005000023.
- **Barrett, J.D.; Kellogg, R.M. 1991.** Bending strength and stiffness of second-growth Douglas-fir dimension lumber. *Forest Prod J* 41 (10): 35-43.
- **Bendtsen, B.A. 1978**. Properties of wood from improved and intensively managed trees. *Forest Prod J* 28(10):61-72.
- **Bolza**, E.; Kloot, N.H. 1976. The mechanical properties of 81 New Guinea timbers. Technical Paper No. 11, Division of Building Research, CSIRO: Melbourne, Australia.
 - Bootle, K.R. 2005. Wood in Australia. 2nd Edition. McGraw-Hill: Australia. ISBN: 0071014012
- **Cabrolier, P.; Beauchene, J.; Thibaut, B. 2009.** Is interlocked grain an adaptive trait for tropical tree species in rainforest?. 6th Plant Biomechanics Conference. Cayenne, French Guyana, 16-21-nov, 2009. pp.279-284.
- **Edwin, P.; Ozarska, B. 2015.** Bending properties of hardwood timbers from secondary forest in Papua New Guinea. *Journal of Tropical Forest Science* 27(4): 456-461.
- **FAO. 2015.** *Global Forest Resources Assessment 2015.* Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy. 253 p. ISBN 978-92-5-108826-5.
- Harvald, C. 1988. Nåletraearternes tekniske egenskaper (Mechanical properties of softwoods, in Danish). Royal Veterinary and Agricultural Univ., Dept. of Forestry, Copenhagen, Denmark
- **Haslett, A.N.; Young, G.D.; Britton, R.A.J. 1991.** Plantation grown tropical timbers. 2. Properties, processing and uses. *Journal of Tropical Forest Science* 3(3):229-237.
- **Hojbo, O.A. 1991**. The quality of wood of Norway spruce (*Picea abies*) planted with different spacing. Ph.D. Thesis, Agricultural University of Norway, Norway. ISBN: 82-575-0141-7
- Hung, T.D.; Brawner, J.T.; Meder, R.; Lee, D.J.; Southerton, S.; Thinh, H.H.; Dieters, M.J. 2015. Estimates of genetic parameters for growth and wood properties in *Eucalyptus pellita* F. Muell. to support tree breeding in Vietnam. *Annals of Forest Science* 72:205-217. https://doi.org/10.1007/s13595-014-0426-9.
- **Kelin, Y.; Xiaomei, J.; Jianxiong, L. 2006.** Guide on utilization of eucalyptus and acacia plantations in China for solid wood products. Research Institute of Wood Industry. Chinese Academy of Forestry. Technical Report. Science Press: China. ISBN :7030194004. 195 p.
 - Kotlarewski, N.J.; Belleville, B.; Gusamo, B.K.; Ozarska, B. 2016. Mechanical properties of Papua

New Guinea balsa wood. European Journal of Wood and Wood Products 74:83-89. https://doi.org/10.1007/s00107-015-0983-0.

- **Kliger, I.R.; Perstorper, M.; Johansson, G.; Pellicane P.J. 1995.** Quality of timber products from Norway spruce Part 3. Influence of spatial position and growth characteristics on bending stiffness and strength. *Wood Sci Technol* 29: 397-410. https://doi.org/10.1007/BF00194198.
- **Leksono, B.; Kurinobu, S.; Ide, Y. 2008.** Realized genetic gains observed in second generation seedling seed orchards of *Eucalyptus pellita* in Indonesia. *J For Res* 13:110-116. https://doi.org/10.1007/s10310-008-0061-0.
 - Madsen, B. 1990. Length effect in 38 mm spruce-pine-fir dimension lumber. Can J Civ Eng 17: 226-242.
- Machado, J.; Cruz, H. 2005. Within stem variation of maritime pine timber mechanical properties. *Holz Roh Werkst* 63(2): 154-159. https://doi.org/10.1007/s00107-004-0560-4.
- **Pearson, R.G.; Gilmore, R.C. 1980.** Effects of fast growth rate on the mechanical properties of Loblolly pine. *Forest Prod J* 30(5): 60-66.
- **PNGFA. 2007.** Overview of PNG's Forests. Papua New Guinea Forest Authority. http://www.forestry.gov.pg (Accessed 3 February 2017).
- **Shivnaraine**, C.S. 1989. Within stem variation in bending strength and stiffness of lumber from plantation grown white spruce. M.Sc. Thesis, University of New Brunswick, Fredericton, Canada.