

**STUDII ASUPRA VARIABILITĂȚII
REZISTENȚELOR MECANICE ȘI
PROPRIETĂȚILOR FIBRELOR DE
Bambusa vulgaris Schrad. PENTRU
PRODUȚA DE PANOURI**

**VARIABILITY STUDIES ON STRENGTH
AND FIBRE PROPERTIES OF *Bambusa
vulgaris* Schrad. FOR PANEL
PRODUCTS**

Kehinde Sesan AINA

Researcher – Forest Products Development and Utilization Dept., Forestry Research Institute of Nigeria
Adresa/Address: P.M.B 5054, Ibadan, Nigeria
E-mail: sesan_toy@yahoo.com

Sylvester Ehiagwinah AREGHAN

Researcher – Forestry Research Institute of Nigeria
Adresa/Address: P.M.B 5054, Ibadan, Nigeria
E-mail: sylvesterareghan@yahoo.com

Ifedayo Micheal ADENIYI

Researcher – Forestry Research Institute of Nigeria
Adresa/Address: P.M.B 5054, Ibadan, Nigeria
E-mail: micifad@gmail.com

Oluwaseyi John ALAO

Researcher – Forestry Research Institute of Nigeria
Adresa/Address: P.M.B 5054, Ibadan, Nigeria
E-mail: segialex2003@yahoo.com

Edward Olusola OSUNTUYI

Lecturer – Department of Technology Education, College of Education
Adresa/Address: P.M.B 250, Ikere-Ekiti, Ekiti State
E-mail: osun-sola@yahoo.com

Rezumat:

În acest studiu a fost investigată variabilitatea proprietăților mecanice și caracteristicilor fibrelor lemnului unei specii de bambus (*Bambusa vulgaris*). Pentru caracteristicile fibrelor, respectiv lungimea fibrelor, diametrul fibrelor, lățimea lumenului, grosimea peretelui celular, criteriul Runkel, coeficientul de flexibilitate și indicele de împâslire au fost utilizate tulpini de bambus din două zone geografice (Ibadan and Ilorin) în diferite proporții (10, 30, 50, 70 și 90). De asemenea, în acest studiu au fost investigate proprietățile mecanice ale panourilor lamelate realizate din bambus, sub influența a diverși factori variabili, cum ar fi: tipul adezivului (adeziv Top bond și ureoformaldehidic), partea din tulpină (vârf, mijloc și bază) și grosimea lamelilor (5mm x 20mm și 10mm x 20mm). S-au determinat: rezistența la încovoiere statică, rezistența la șoc, rezistența la compresiune, la forfecare paralelă și perpendiculară.

Pe baza rezultatelor obținute se poate concluziona că există potențial de utilizare a bambusului pentru fabricarea hârtiei și ca material de construcții.

Cuvinte cheie: *Bambusa vulgaris*; dimensiuni fibre; rezistențe mecanice; panouri lamelate din bambus.

Abstract:

A variability study on strength and fibre properties of bamboo (*Bambusa vulgaris*) was investigated in this study. Bamboo bole length of two geographical locations (Ibadan and Ilorin) at percentage of (10, 30, 50, 70 and 90) were used to determine the fibre properties such as fibre length, fibre diameter, lumen width, cell wall thickness, runkel ratio, flexibility coefficient and relative fibre length. The strength properties of bamboo-laminated boards were also investigated in this study with the effect of different variable factors, such as the adhesive type (Top bond and Urea formaldehyderide), bole portion (top, middle and base) and bole thickness size (5mm x 20mm and 10mm x 20mm). Mechanical properties, such as the modulus of rupture, impact bending strength, compression strength, shear strength in both parallel and perpendicular direction were determined.

The results show that there is potential for using bamboo for the production of paper and as building and structural material.

Key words: *Bambusa vulgaris*; fibre dimensions; mechanical strengths; bamboo-laminated boards.

INTRODUCERE

Bambusul este un material natural, rezistent, ușor, regenerabil și cu o puternică adaptabilitate la mediul înconjurător. Această plantă este larg răspândită, în special în zonele tropicale din Asia. Viteza lui de creștere depășește pe aceea a majorității arborilor, iar proprietățile acestuia sunt superioare lemnului juvenil al majorității speciilor repede crescătoare. Spre exemplu, comparativ cu lemnul, bambusul are raportul rezistență/greutate mai mare, o bună rezistență la abraziune și o valoare scăzută a umflării, după absorbția de umiditate. Pe scară largă, cel mai bun mod de utilizare a bambusului este pentru diferite tipuri de panouri, cu diferite structuri și funcții, în concordanță cu proprietățile bambusului.

Panourile pe bază de bambus sunt produse din bambus brut printr-o serie de procedee mecanice și chimice, cum ar fi: pulverizare adeziv, formare pachet, presare la cald. Panourile pe bază de bambus au avantajele dimensiunilor mari, a rezistențelor ridicate, a stabilității la formă și dimensiuni, iar proprietățile și rezistențele lor atât paralel, cât și perpendicular pe fibre pot fi modificate în concordanță cu diferitele cerințe (Zhang 2001). Panourile pe bază de bambus sunt, materiale compozite relativ ideale.

În scopul îmbunătățirii proporției de utilizarea a resurselor de bambus pentru fabricarea panourilor din așchii de bambus, sunt folosite trunchiurile cu diametrul mic și speciile mai puțin cunoscute, vârfurile de tulpină și toate resturile din prelucrarea bambusului. Procesul de fabricare este proiectat similar cu tehnologia de fabricare a panourilor din așchii de lemn: debitare așchii, uscarea, înclieiere, formare covor, presare la cald. Cel mai mare avantaj al acestui produs este că rezerva de materie primă pentru fabricarea panourilor pe bază de bambus este nelimitată. De asemenea, el are rezistențe mari și o valoare scăzută a umflării. Acest produs este larg utilizat la fabricarea mobilei, în construcții, ambalaje și transport. Acesta ar putea fi un bun material pentru înlocuirea panourilor pe bază de lemn, și a panourilor sandwich în construcțiile prefabricate, servind ca panou de perete, panou despărțitor și panou de ușă. Producerea de panourilor cu liant mineral (ciment) probabil că va crește nu numai pentru că ar putea completa cererea internă pentru panourile pe bază de lemn ci și pentru că materia primă locală este accesibilă. Se consideră și că poate ajuta la amortizarea costurilor ridicate ale materialelor de construcții (Dietz 1977).

În sensul îmbunătățirii calității produsului, a creșterii resurselor de materie primă și pentru scăderea costurilor de producție, două sau mai mult de două tipuri de materiale se selectează pentru fabricarea panourilor compozite, inclusiv compozite bambus-lemn, compozite bambus-ciment, compozite bambus-gips etc., compozitele pe bază de bambus preluând calitățile diferitelor materii prime, iar

INTRODUCTION

Bamboo is a kind of natural organism, which is strong, lightweight, renewable, and with a strong adaptability to the environment. This plant is widespread, mainly in the tropical zones from Asia. The speed of its growth far exceeds that of most growing trees, but its properties are superior to most juvenile fast growing wood.

For example, compared with wood, bamboo has a higher strength/ weight ratio, better abrasive resistance, and a lower swelling rate after absorbing moisture.

The best way to utilize bamboo on a large scale is to design and produce a series of bamboo-based panels with different structures and functions according to the properties of bamboo.

Bamboo based panels are products made from raw bamboo through a series of mechanical and chemical procedures, such as glue spraying, package formation, and hot pressing.

The bamboo-based panels have advantages of large size, high strength, stabilization in shape and size, and its parallel and perpendicular strength and property that can be adjusted according to different demands (Zhang 2001). Therefore, bamboo based panels are relatively ideal engineering materials.

For the sake of improving the utilization ratio of bamboo resources, the stems of small diameter and of lesser known species, stem tops and all bamboo processing residues are used to make bamboo particleboard.

The manufacturing process is designed similar to the technology of wood particleboard — chipping, drying, gluing, spreading and hot-pressing. The biggest advantage of this product is that the supply of raw material for making bamboo particleboard is abundant. But it also has relatively high strength and low swelling ratio.

This product has been widely used in furniture manufacturing, construction, packing, and transportation. It will be a good material to replace wood based panel and sandwich panel in prefabricated construction, serving as wall panel, partition, and door panel.

Production of cement-bonded board is likely to increase not only because it will complement the projected domestic demand for wood based panels but also because the raw materials are locally available. It is believed that it would help cushion the rising cost of housing materials (Dietz 1977).

In order to improve the product quality, increasing the resources of raw materials, and decrease the production cost, two or more than two kind of materials are selected to make composite boards, including bamboo-wood composites, bamboo-cement composites, and bamboo-gypsum composites etc., bamboo composites contain merits of different raw materials, and the mechanical properties of composite board are better than that of

proprietățile mecanice ale panourilor compozite sunt mai bune decât cele ale placajului. Compozitele bambus-ciment și bambus-gips au rezistențe mecanice superioare și au capacitatea de a rezista bine în atmosferă liberă. În plus, acestea sunt rezistente la foc, sunt fono-izolante și nu conțin adezivi sintetici care să conducă la emisia de formaldehidă și alte noxe chimice. Compozitele bambus-lemn sunt un alt tip de materiale de construcții bune, deoarece lemnul este ieftin și ușor accesibil, compozitul bambus-lemn este o cale rațională de exploatare cu succes a resurselor de bambus. Sortimentele de compozite din bambus pot fi utilizate ca pereți, panouri despărțitoare, acoperiș, stâlpi și reprezintă un material promițător pentru construcțiile prefabricate.

Compozitele bambus-lemn sunt încă în stadiu de cercetare și încă înfruntă unele probleme ca: deficiențele în așezarea și funcționarea corectă a utilajelor, inclusiv dispozitivele de fixare și tipul cuțitelor, costul ridicat pentru aprovizionarea cu materie primă din bambus, lipsa tehnologiei, a managementului și controlului calității, a producției neregulate și beneficiilor economice scăzute. În prezent, panourile pe bază de bambus au aplicații multiple la fabricarea panourilor de fund la vehicule, cofraje în construcții, schelărie ce include părți de lemn, oțel, plastic etc. ca materie primă pentru mobilă și materiale decorative. Compozitele pe bază de bambus, pot fi, de asemenea, alternative potrivite ca materiale prefabricate în funcție de avantajele pe care le conțin. Oricum, folosirea panourilor pe bază de bambus pentru astfel de utilizări sunt încă limitate. În acest sens, bambusul poate fi considerat o alternativă excelentă de a înlocui lemnul în industria panourilor din așchii. Calegari ș.a (2007) au raportat utilizarea particulelor din bambus (*Bambusa vulgaris*) pentru fabricarea plăcilor din așchii și au concluzionat că proprietățile sunt similare panourilor fabricate 100% din lemn.

Provocarea viitorului la utilizarea rațională a resurselor forestiere este cum să se utilizeze varietatea de materiale din biomasă pentru dezvoltarea de produse acceptate pe piață, cu performanțe constante și durabile. Astfel, acest studiu a urmărit să obțină informații pentru utilizarea caracteristicilor și proprietăților mecanice ale lemnului de *Bambusa vulgaris* din două zone diferite (Ibadan și Ilorin), pentru producția de panouri (panouri stratificate și fabricarea hârtiei).

MATERIALE ȘI MATERIALE

Probele de *Bambusa vulgaris* au fost recoltate comparativ de la Institutul de Cercetări Forestiere din Nigeria, Ibadan și Ile Ogan, Ilorin. Trunchiurile de bambus au fost recoltate la întâmplare și selectate pe diametre în limitele 8 până la 10cm. Fiecare tulpină a fost tăiată la 30cm deasupra solului și lungimea de 12m, înainte de tratamentul din laborator. Epruvetele pentru determinarea

plywood. Bamboo-cement composites and bamboo gypsum composites have higher strength and good weathering resistant ability. Moreover, they are also fire resistant and sound insulating, containing no synthetic adhesives which will lead to free emission of formaldehyde and other noxious chemicals. Bamboo-wood composites are another kind of good construction material, as wood is cheap and widely available to develop bamboo-wood composite board is a rational way to the successful exploitation of bamboo resources.

Various bamboo composites can be utilized as wall, partition, roof, and pillar materials, and it is a promising material in prefabricated construction.

Bamboo composites are still in the developing stage and still face such problems as the deficiency of the machinery in set with proper function including fixture and knife, the high cost for raw bamboo supplying, the lacking of technology and quality control and management, the limited scale and unregulated production, and the low economic benefits.

At present, bamboo-based panels have been widely applied to the manufacture of bottom boards of vehicles, moulding boards of construction, scaffoldings, and has partly taken the place of wood, steel, plastic etc. as raw materials of furniture and decorating materials.

Bamboo-based composite may also be the suitable alternative as the materials of prefabrication in terms of the various advantages they contain. However, the application of bamboo based panels for this utilization is still very limited. In this context, bamboo can be considered an excellent alternative to replace wood in the particleboard industry. Calegari *et al.* (2007) reported the use of bamboo particles (*Bambusa vulgaris*) for particleboard manufacturing and concluded that the properties were similar to that of panels made with 100% of wood.

The future challenge to sufficiently utilize the forest resources is how to deal with the variety of mixed bio-mass materials to develop market acceptable products with uniform and durable performances.

Therefore, this study seeks to find information on the utilization of fibre characteristic and strength properties of *Bambusa vulgaris* from two different locations (Ibadan and Ilorin) for panel products (laminated board and paper making).

MATERIALS AND METHODS

The samples of *Bambusa vulgaris* (Bamboo) were relatively harvested from Forestry Research Institute of Nigeria, Ibadan and Ile Ogan, Ilorin. Bamboo culm was harvested in a randomly selected clump of diameters range of 8 to 10cm. Each culm was felled at 30 m aboveground height and within 12m long before treatment in the laboratory. The samples for fibre properties determination were

proprietăților fibrelor au fost prelevate, din fiecare tulpină tăiată, de la 10%, 30%, 50%, 70% și 90% din lungimea tulpinii. Așchii cu dimensiunile 0,2cm x 0,2cm x 2cm au fost pregătite pentru fiecare epruvetă test, macerate în soluție de H₂O₂ și acid acetic în proporție de 1:1. Apoi, soluția a fost pusă într-o etuvă la 80°C pentru 4 ore. Fibrele macerate au fost foarte bine spălate cu apă distilată, înainte de montarea pe lamele, pentru măsurători. Au fost măsurate 25 de fibre pentru fiecare epruvetă test, utilizând un micrometru montat într-un microscop optic Richter. Caracteristicile fibrelor ca: lungimea fibrelor, diametrul fibrelor și mărimea lumenului, au fost determinate, în timp ce grosimea peretelui celular, criteriul Runkel, coeficientul de flexibilitate și indicele de împâslire au fost calculate. Proprietățile mecanice ale *Bambusa vulgaris* au fost determinate utilizând produse lamelate. Epruvetele din bambus lamelat încleiat au fost obținute din trei părți de tulpină, respective la 10% (bază), 50% (mijloc) și 90% (vârf).

Tulpinile de bambus au fost despicate în sferturi cu ajutorul unui fereastră circular, și îndreptate cu ajutorul unei mașini de rindeluit la grosime, în lamele cu grosimi de 5mm x 20mm și 10mm x 20mm. Înainte de aplicarea adezivului sintetic, lamelele au fost atent șlefuite cu ajutorul unui abraziv și aranjate în straturi paralele, cu fețele șlefuite pregătite pentru aplicarea adezivului una către cealaltă, apoi a fost aplicat adezivul prin pulverizare, la un consum specific de 300g/m², pe fețele pregătite prin pensulare manuală. După aplicarea adezivului, au fost pregătite pachete de bambus lamelat încleiat (BGL) cu două sau patru lamele și presate la rece, la presiunea de 20kg/cm², la temperatura camerei, timp de 24 ore. Probele de bambus lamelat au fost condiționate, cel puțin două săptămâni, la parametrii controlați, respectiv temperatura de 25°C și umiditatea relativă a aerului de 65%.

Acest experiment a implicat doi factori: părțile din tulpină [trei porțiuni de tulpină, 10% (bază), 50% (mijloc) și 90% (vârf)] și dimensiunile lamelilor încleiate (LDS) [(5mm x 20mm and 10mm x 20mm)]: au fost aplicate două tratamente cu adezivi sintetici (Top bond și ureoformaldehidic). Pentru rezistența la încovoiere statică MOR (N/mm²), rezistența la șoc (mm), rezistența la compresiune (N/mm²) și rezistența la forfecare paralelă și perpendiculară (N/mm²) au fost pregătite câte cinci probe de bambus lamelat încleiat (BGL) cu dimensiuni specifice. Testele au fost determinate pe probe în conformitate cu British Standard D 373:1989, Fig. 1 prezentând unele dintre epruvetele realizate și testate.

collected at 10%, 30%, 50%, 70% and 90% on the bole length of each Bamboo felled. Slivers of 0,2cm x 0,2cm x 2cm were prepared from each of the test sample, macerated in a solution of H₂O₂ and acetic acid in a ratio of 1:1. The solutions were later placed inside an oven at 80°C for 4hours. The macerated fibres were washed thoroughly with distilled water before mounted on the slide for measurement. 25 fibres sample were measured from each test sample using a stage micrometer mounted in a Ritchen light microscope.

Fibre properties such as fibre length, fibre diameter, lumen size, were determined while cell wall thickness, Runkel ratio, coefficient of softness and felting power were calculated. The strength properties of *Bambusa vulgaris* were also determined when used as laminated products.

The glue-laminated samples of bamboo were derived at three bole portions of 10% (bottom), 50% (middle) and 90% (top) respectively.

The bamboo culms were splitted into quarters through a circular saw machine and planed into strand thickness of 5mm x 20mm and 10mm x 20mm with the use of roller planer machine. Strands were thoroughly smoothed by sandpaper prior to adhesive chemicals application, the strands were arranged parallel to each other with the surface smoothly prepared for glue application facing each other, the adhesive with a glue spread rate of 300g/m² was then applied to the prepared bamboo surface by hand brushing. After glue spreading, four and two layers of bamboo-glue laminate (BGL) were prepared and cold pressed at pressure setting of 20kg/cm² and at room temperature for 24 hours. The laminated bamboo specimens were conditioned at a controlled temperature of 25°C and 65% relative humidity (RH) for at least 2 weeks.

This experiment involved two factors [three bole portions of 10% (bottom), 50% (middle) and 90% (top)] and laminated dimensional size (LDS) [(5mm x 20mm and 10mm x 20mm)]: two treatment of chemical adhesive (top bond and urea-formaldehyde) were applied. Five BGL specimens with appropriate dimensions for MOR (N/mm²), impact bending strength (mm), compression test (N/mm²); shear in both parallel and perpendicular (N/mm²) were prepared. Tests were performed on the specimens in accordance with British Standard D 373:1989. Fig. 1 shows some of the samples produced and tested.



Fig. 1.

Epruvete din bambus lamelat încleiat / Bamboo glued-laminated samples.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Caracteristicile fibrelor

Lungimea fibrelor la bambusul studiat (*B. vulgaris*) este mai mare la cel din Ibadan, cu maxima de 2,8mm la 90% și valoarea minimă de 2,4mm la 10%, în timp ce pentru cel din Ilorin, cea mai mare valoare medie a lungimii fibrelor este 3,1mm la 30%, iar cea mai mică valoare de 2,5mm la 10% din înălțimea tulpinii (Tabelul 1).

Cea mai mare valoare a diametrului fibrelor la *B. vulgaris* din Ibadan este de 20,4 μ m la 30% și cea mai mică de 17,6 μ m la 70%, iar la bambusul din Ilorin cea mai mare valoare a diametrului fibrelor este de 25,12 μ m la 30% și cea mai mică valoare a diametrului fibrelor este la 90% cu 17,9 μ m (Tabelul 1).

Lumenul fibrelor de bambus din cele două zone a avut cea mai mare valoare de 13,4 μ m la 50% pentru Ibadan și cea mai mică valoare a lumenului de 11,6 μ m la 70%, iar pentru Ilorin, cea mai mare valoare este de 15,5 μ m la 30% și cea mai mică valoare la 70% de 11,2 μ m (Tabelul 1).

Grosimea peretelui celular a avut valoarea cea mai mare pentru Ibadan de 3,9 μ m la 30% și cea mai mică valoare de 2,9 μ m la 70%, în timp ce la bambusul din Ilorin cea mai mare valoare a grosimii peretelui celular a fost de 4,8 μ m la 30% și cea mai mică valoare de 3,5 μ m la 50% (Tabelul 1).

Cea mai mare valoare pentru criteriul Runkel este pentru bambusul din Ibadan de 0,7 la 30% și cea mai mică valoare este de 0,5 la 70%, în timp ce pentru bambusul din Ilorin cea mai mare valoare pentru criteriul Runkel este de 0,7 la 50%, iar cea mai mică valoare este de 0,7 la 30%.

Coeficientul de flexibilitate pentru bambusul din Ibadan, a avut valoarea cea mai mare de 0,65 la 70% și cea mai mică valoare la 30% de 0,60, iar pentru bambusul din Ilorin, cea mai mare valoare a coeficientului de flexibilitate a fost la 10% de 0,61, iar cea mai mică valoare de 0,60 la 50%.

Indicele de împâslire la bambusul din Ibadan a avut cea mai mare valoare de 1,647mm la 70% și

RESULT AND DISCUSSION

Fibre Characteristics

The fibre length in the study of bamboo (*B. vulgaris*) is the highest from Ibadan with 2.8mm and at 90% and lowest with the value of 2.4mm at 10% while in Ilorin, the highest mean value of fibre length is 3.1mm at 30% and lowest value of 2.5mm at 10% (Table 1).

The fibre diameter of the *B. vulgaris* from Ibadan is highest with the value of 20.4 μ m at 30% and lowest value with 17.6 μ m and at 70%, but the value of fibre diameter from Ilorin is highest with 25.12 μ m at 30% and lowest fibre diameter at 90% with 17.9 μ m (Table 1).

The lumen of bamboo samples from the two locations is highest in value with 13.4 μ m at 50% from Ibadan and lowest lumen value of 11.6 μ m at 70% but from Ilorin, the highest lumen value is 15.5 μ m at 30% and lowest value at 70% with 11.2 μ m respectively (Table 1).

The cell wall has the highest value in Ibadan with 3.9 μ m at 30% and lowest value of 2.9 μ m at 70% while the Ilorin bamboo has highest cell wall of 4.8 μ m at 30% and lowest cell wall of 3.5 μ m at 50% (Table 1).

The Runkel ratio value of bamboo from Ibadan is highest with 0.7 at 30% and lowest Runkel ratio value with 0.5 at 70% while the Ilorin bamboo Runkel ratio is highest with the value of 0.7 at 50% and lowest value of 0.7 at 30%.

The coefficient of flexibility gotten from Ibadan bamboo had the highest value of 0.65 at 70% and lowest value at 30% with 0.60, but for Ilorin bamboo, the highest coefficient of flexibility is at 10% with 0.61 and lowest value of 0.60 at 50%.

Lastly, Ibadan bamboo relative fibre length had the highest value of 1.647mm at 70% and lowest value of 1.502mm at 10%, while the relative fibre length of bamboo from Ilorin had the highest value of 2.144mm at 90% and lowest value at 10% with 1.494mm (Table 1).

Previous studies show similarities in the ratio

cea mai mică valoare de 1.502mm la 10%, în timp ce indicele de împâslire la bambusul din Ilorin a avut cea mai mare valoare de 2,144mm la 90% și cea mai mică valoare la 10% de 1,494mm (Tabelul 1).

Studii anterioare au prezentat valori asemănătoare cu valorile obținute în acest studiu pentru *Bambusa vulgaris* pentru raportul lungime - lățime între 150:1 și 250:1 (Li 2004). Liese (1987) și Espiloy ș.a. (1988) au prezentat similitudini pentru lungimea fibrelor la unele specii, valorile medii care sunt raportate fiind următoarele: *Bambusa tulda* 3mm, *B. vulgaris* 2,3mm, *Dendrocalamus giganteus* 3,2mm, *Guadua angustifolia* 1,6mm, *Phyllostachys edulis* 1,5mm. Caracteristicile fibrelor pentru *Bambusa vulgaris* au crescut de la 10% parte din tulpină până la 90% parte din tulpină, aceste observații fiind similare cu cele raportate de (Seema and Kumar 1992).

Proprietățile mecanice

Rezultatele prezentate în Tabelul 2 au arătat tendința rezistenței la șoc de a fi influențată de tratamentele implicate (LDS și tipul adezivului).

Valorile rezistenței la șoc raportate pentru epruvetele din bambus lamelat, înclieate cu adeziv Top bond (TB) au variat de la 25,67mm la 36,67mm, în timp ce, pentru cele înclieate cu adeziv ureormaldehidic (UF) au variat de la 19,00mm până la 40,67mm.

Epruvetele realizate din lamele de 5mm x 20mm la care s-a folosit adeziv TB, au avut rezistența la șoc de 30,67mm la 50%, respectiv de 30,33mm la 90% și de 25,67mm la 10%, iar cele cu lamele de 10mm x 20mm, au avut valorile: 36,67mm la 90%, 33,33mm la 50% și respectiv 28,00mm la 10%. În cazul adezivului UF, panourile realizate din lamele de 5mm x 20mm, au avut rezistența la șoc de 32,00mm la 50%, 31,33mm la 90% și 19,00mm la 10%, în timp ce cele realizate din lamele de 10mm x 20mm au avut 40,67mm la 90%, 39,00mm la 50% și 38,00mm la 10% din înălțimea tulpinii.

Pentru epruvetele de bambus lamelat, înclieat cu adeziv TB rezistența la încovoiere statică a variat de la 35,28N/mm² până la 69,8N/mm², iar pentru cele înclieate cu adeziv UF a variat de la 99,90N/mm² până la 536,96N/mm² respectiv.

Valorile rezistenței la încovoiere pentru epruvetele înclieate cu TB, au variat de la 35,28N/mm² până la 45,44N/mm² pentru epruvetele din lamele de 5mm x 20mm și de la 52,03N/mm² până la 69,81N/mm² pentru epruvetele din lamele de 10mm x 20mm (Tabelul 2).

Valorile rezistenței la încovoiere statică pentru epruvetele înclieate cu UF au variat de la 99,90N/mm² până la 199,46N/mm² pentru epruvetele din lamele cu dimensiunile de 5mm x 20mm și de la 124,88N/mm² până la 536,96N/mm² pentru cele de 10mm x 20mm (Tabelul 2).

Studii anterioare au arătat că rezistențele bambusului lamelat înclieat, cu trei și cinci straturi

of length to width varies between 150:1 and 250:1 with the value of *Bambusa vulgaris* in this study (Li 2004). Liese (1987) and Espiloy *et al.* (1988) reports shows conformity in fibre length of some species, the mean values are reported as follows: *Bambusa tulda* 3mm, *B. vulgaris* 2.3mm, *Dendrocalamus giganteus* 3.2mm, *Guadua angustifolia* 1.6mm, *Phyllostachys edulis* 1.5mm. the fibre characteristic of *Bambusa vulgaris* increases from the 10% bole portion to 90% bole portion respectively, this observation is similar to the report of (Seema and Kumar 1992).

Strength properties

As shown in Table 2, the results indicated that **impact bending strength** tends to be influenced by the treatments implied (LDS and adhesive type).

The impact bending strength values recorded in BGL samples bonded with Top bond glue (TB) ranged from 25.67mm to 36.67mm while that of Urea formaldehyde glue (UF) ranged from 19.00mm to 40.67mm respectively.

In within the TB bamboo laminated samples, LDS of 5mm x 20mm has impact bending strength of 30.67mm from 50%, 30.33mm from 90% and 25.67mm from 10%, and in LDS of 10mm x 20mm, the impact bending strength has 36.67mm from 90%, 33.33mm from 50% and 28.00mm from 10% respectively. With the UF adhesive, the impact bending strength with LDS of 5mm x 20mm, has 32.00mm from 50%, 31.33mm from 90% and 19.00mm from 10% while LDS of 10mm x 20mm has 40.67mm from 90%, 39.00mm from 50% and 38.00mm from 10% BP.

In MOR of the BGL samples, TB ranged from 35.28N/mm² to 69.8N/mm² and UF ranged from 99.90N/mm² to 536.96N/mm² respectively.

The MOR of BGL samples made from *B. vulgaris* values and glued with TB varied from 35.28N/mm² to 45.44N/mm² in LDS of 5mm x 20mm and also varied from 52.03N/mm² to 69.81N/mm² in LDS of 10mm x 20mm (Table 2).

MOR values from BGL glued with UF also varied from 99.90N/mm² to 199.46N/mm² in LDS of 5mm x 20mm and 124.88N/mm² to 536.96N/mm² in LDS of 10mm x 20mm (Table 2).

A previous study has shown that the strength of three-layer and five-layer laminated bamboo board (LBB) made from bamboo zephyr mats of *D.asper* glued with urea formaldehyde were 1031 and 962 kg cm⁻² respectively (Sulastiningsih *et al.* 1996).

obținut din bambus zephyr din *D. asper*, înclieiate cu adeziv ureoformaldehidic au fost de 1031 și respectiv 962 kg·cm⁻² (Sulastiningsih ș.a. 1996).

Într-un alt studiu pe lemn lamelat înclieiat de bambus cu 5 lamele obținut din bambus zephyr înclieiat cu adeziv rezorcinic valorile au variat de la 639 până la 707kg·cm⁻² (Nugroho și Ando 2001). Rezistența la încovoiere statică pentru panourile lamelate, înclieiate paralel (longitudinal) și combinate, realizate din *D.yunnanicus* a fost de 210 și respectiv de 195MPa, în timp ce, pentru *Heterocyclus pubescens* au fost de 175 și respectiv de 136MPa (Gou 2007).

Idris ș.a. (1994) au raportat că rezistența la încovoiere statică pentru *G.apus* a fost de 502,3kg·cm⁻² pentru zonele cu noduri și 1240,3kg·cm⁻² pentru zonele dintre noduri. Widjaja și Risyad (1987), au arătat că rezistența la încovoiere statică pentru panourile din bambus lamelat cu 5 straturi a fost mai mică decât rezistența la încovoiere statică pentru bambusul original.

Observațiile din prezentul studiu sunt în concordanță cu observațiile lui Widjaja și Risyad (1987), respectiv rezistența la încovoiere statică pentru panourile din bambus lamelat cu 5 straturi a fost mai mică decât pentru bambusul original, datorită faptului că în straturile panourilor de bambus lamelat se află un număr mare de mici fisuri care au apărut din cauza unor imperfecțiuni între lamelele înclieiate și astfel au redus rezistența panourilor. Studiul a arătat că rezistența la încovoiere statică pentru lemnul lamelat înclieiat a fost afectată de dimensiunile lamelelor și adezivul utilizat (Tabelul 2). Ea a crescut cu creșterea grosimii lamelelor. Acest rezultat nu este în concordanță cu rezultatele raportate de Sulastiningsih ș.a. (1996) referitor la rezistența la încovoiere statică pentru lemnul lamelat înclieiat de bambus din zephyr din *D. asper* înclieiat cu adeziv UF care nu a fost afectat de numărul de straturi, dar este în concordanță cu cele raportate de Sulastiningsih și Nurwati (2009). În acest studiu rezistența la încovoiere statică pentru lemnul lamelat înclieiat de bambus obținut din *B. vulgaris* și înclieiat cu UF, epruvetele cu două straturi înclieiate a avut valori incredibile ale rezistenței comparativ cu epruvetele cu patru straturi.

Rezistența la **compresiune** pentru bambusul lamelat înclieiat cu adeziv TB a variat de la 44,92N/mm² până la 56,03N/mm², pentru epruvete cu lamele cu dimensiunile de 5mm x 20mm și de la 57,91N/mm² până la 76,04N/mm² pentru epruvetele realizate din lamele cu dimensiunile de 10mm x 20mm (Tabelul 2). Valorile rezistenței la compresiune au fost diferite pentru bambusul lamelat înclieiat cu UF, variind de la 12,62N/mm² până la 30,57N/mm² pentru epruvetele cu lamele înclieiate din lamele cu dimensiunile de 5mm x 20mm și pentru epruvetele din lamele cu dimensiunile de 10mm x 20mm, rezistența la compresiune a variat de la 45,05N/mm² până la 47,66N/mm² (Tabelul 2). Aceste

În altă studiu de patru straturi lamelat bambus lemn realizat din bambus zephyr mat liant cu rezorcinol-bazat liant variat de la 639 la 707kg·cm⁻² (Nugroho and Ando 2001). MOR of parallel and crossed laminated panels made from *D.yunnanicus* was 210 and 195MPa respectively, while *Heterocyclus pubescens* were 175 and 136MPa respectively (Gou 2007).

Idris *et al.* (1994) reported the MOR of *G.apus* was 502.3kg cm⁻² for parts with nodes and 1240.3kg cm⁻² for internodes.

Widjaja and Risyad (1987) also showed that the MOR of LBB was lower than the MOR of the original bamboo especially for five-layer LBBs. The observation in our study is in agreement with the observation of Widjaja and Risyad (1987) that MOR of LBB was lower than the MOR of the original bamboo due to the fact that in LBB bamboo sheets, there are many small splits which occurred from some imperfection joints among strips and thus, reduced the strength of LBB.

Our study showed that the MOR of bamboo-glued laminated samples was affected by the LDS and adhesive used (Table 2). MOR increased as the thickness of the bamboo sheet increased. This result is not in agreement with that reported by Sulastiningsih *et al.* (1996) that MOR of laminated bamboo made from bamboo zephyr mats of *D. asper* glued with UF was not affected by the number of layers but in agreement with the report of (Sulastiningsih and Nurwati 2009). In this study of MOR of laminated bamboo made from *B. vulgaris* glued with UF, two layers laminated samples had incredible strength values compared to four layers laminated samples.

The **compression strength** of BGL with TB varied from 44.92N/mm² to 56.03N/mm² in LDS of 5mm x 20mm and 57.91N/mm² to 76.04N/mm² in LDS of 10mm x 20mm respectively (Table 2).

The compression strength values was different in bamboo-glued laminated with UF, the values varied from 12.62N/mm² to 30.57N/mm² in LDS of 5mm x 20mm and in LDS of 10mm x 20mm, the compression strength varied from 45.05N/mm² to 47.66N/mm² (Table 2).

These values were very lower compare to the compression strength of *G.apus* with 503.1kg·cm⁻² to 572.0kgcm⁻² for part with nodes and internodes respectively (Idris *et al.* 1994). According to the

valori au fost mai mici comparativ cu rezistența la compresiune pentru *G.apus*, de $503.1\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ până la $572.0\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ pentru zonele cu noduri și respectiv fără noduri (Idris ș.a. 1987), rezistența la compresiune pentru *G robusta* a fost de $520,9\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$, astfel rezistența la compresiunea pentru panourile de bambus lamelat cu 5 straturi este mai mare decât pentru bambusul original. Aceasta ar putea fi datorită densității mai mari (Sulastiningsih și Nurwati 2009), și astfel, în acest studiu rezistența la compresiune pentru bambusul lamelat înțleiat obținut din *B. vulgaris* este în concordanță cu observațiile lui Sulastiningsih și Nurwati (2009). Rapoarte anterioare au arătat că rezistența la compresiune pentru panoul lamelat de *Guadua angustifolia kunt* înțleiat cu adeziv UF este de $47,2\text{MPa}$ (Barreto 2003), și astfel este în concordanță cu valorile rezistenței la compresiune pentru bambusul lamelat înțleiat obținut din *B. vulgaris* în acest studiu.

Rezistența la forfecare paralelă (//) și perpendiculară (\perp) pentru bambusul lamelat înțleiat a variat de la $0,12\text{N}/\text{mm}^2$ până la $0,56\text{N}/\text{mm}^2$ (Tabelul 2), pentru înțleierea cu TB, în timp ce, pentru bambusul lamelat înțleiat cu adeziv UF, a variat de la $0,12\text{N}/\text{mm}^2$ până la $0,26\text{N}/\text{mm}^2$. Pentru rezistența la forfecare perpendiculară (\perp) la bambusul lamelat înțleiat obținut prin înțleiere cu TB a variat de la $0,43\text{N}/\text{mm}^2$ până la $1,26\text{N}/\text{mm}^2$, în timp ce în cazul înțleierii cu UF au variat de asemenea de la $0,43\text{N}/\text{mm}^2$ până la $0,85\text{N}/\text{mm}^2$ (Tabelul 2). În plus, analiza de variație a indicat că la bambusul lamelat înțleiat nu au fost diferențe semnificative pentru nivel și locație la caracteristicile fibrelor, iar la rezistențele mecanice ale bambusului, au fost diferențe semnificative pentru principalii factori (Tabelul 3). Acestea dau de înțeles că tipul adezivului, porțiunea de tulpină și dimensiunile elementelor înțleiate au o influență semnificativă asupra rezistențelor mecanice ale bambusul lamelat înțleiat BGL.

CONCLUZII

Pe baza acestui studiu s-au formulat următoarele concluzii:

1. Caracteristicile fibrelor de bambus din diferite zone nu par să prezinte diferențe semnificative (Tabelul 1), ceea ce înseamnă că locația nu afectează proprietățile fibrelor.

2. În cazul ambilor adezivi utilizați UF și TB, valorile rezistențelor în cadrul părților de tulpină au arătat că partea de tulpină la 90% a avut cele mai bune caracteristici ale rezistențelor față de părțile la 50% și 10% (Tabelul 2). Partea de tulpină a plantei este o variabilă semnificativă de care se va ține cont în producția panourilor lamelate din specii de bambus.

3. Totuși există influențe semnificative asupra rezistențelor epruvetelor lamelate înțleiate cu adezivi TB și UF, epruvetele înțleiate cu UF au avut cele

report of Widjaja and Risyad (1987), the compression strength of *G robusta* was $520.9\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$, thus the compression strength of LBB is higher than that of the original bamboo. This could be due to the density of LBB which was higher than the specific gravity of the original bamboo (Sulastiningsih and Nurwati 2009), this compression strength in bamboo-glued laminated made from *B. vulgaris* in this study is in agreement with the observation of Sulastiningsih and Nurwati (2009).

A previous report showed that the compression strength of glued laminated *Guadua angustifolia kunt* with UF is 47.2MPa (Barreto 2003), this is in agreement with the compression strength value in bamboo-glued laminated using *B. vulgaris* in this study.

The **shear strength** in (//) and (\perp) of BGL varied from $0.12\text{N}/\text{mm}^2$ to $0.56\text{N}/\text{mm}^2$ (Table 2) in BGL made from TB while with UF, it varied from $0.12\text{N}/\text{mm}^2$ to $0.26\text{N}/\text{mm}^2$ respectively. In shear strength (\perp) of BGL made from TB varied from $0.43\text{N}/\text{mm}^2$ to $1.26\text{N}/\text{mm}^2$ while the shear strength (\perp) made from UF also varied from $0.43\text{N}/\text{mm}^2$ to $0.85\text{N}/\text{mm}^2$ respectively (Table 2).

Furthermore, the analysis of variance indicated that there were no significant different in the level and location of bamboo fibre characteristic, in strength properties of bamboo, there were significant differences on the main factors of BGL (Table 3), this implies that adhesive type, bole portion and laminate size have significant influence on the strength properties of BGL.

CONCLUSION

Based on our study, the following conclusions can be reached:

1. The fibre characteristic of bamboo from different location appears to be not significant different (Table 1), which means that locations do not affect the fibre properties.

2. In both UF and TB adhesives, strength values within bole portion show that bole portion of 90% had the best strength characteristics to the other bole portions of 50% and 10% (Table 2). Bole portion of the plant is a significant variable to be considered in production of laminated boards with bamboo plant.

3. Since there is significant influence on the strength of laminated sampled glued with TB bond and UF, UF had higher MOR values ranged from $99.9\text{N}/\text{mm}^2$ to $536.96\text{N}/\text{mm}^2$ while TB had MOR values ranged within $35.28\text{N}/\text{mm}^2$ to $69.81\text{N}/\text{mm}^2$ (Table 2). The

mai mari valori pentru rezistența la încovoiere statică, acestea variind de la 99,9N/mm² până la 536,96N/mm² în timp ce pentru epruvetele încheiate cu TB valorile rezistenței la încovoiere statică au variat de la 35,28N/mm² până la 69,81N/mm² (Tabelul 2). Adezivul utilizat a afectat potențialul de încheiere al produsului, în acest caz este posibil să apară bule după încheiere, cel mai rezistent adeziv putând fi considerat adezivul UF.

4. În final, sortimentele de bambus sunt de diferite mărimi, mărirea lamelelor putând fi prioritatea de bază în producția de panouri lamelate când utilizăm tulpini de bambus. Variația dimensiunilor lamelelor de bambus are un efect semnificativ asupra rezistențelor mecanice ale panourilor lamelate.

Valori mici ale rezistenței la șoc, ce au variat de la 25,67mm până la 30,67mm, s-au înregistrat la epruvetele de bambus din lamele cu dimensiunile de 5mm x 20mm, în timp ce valorile cele mai mari pentru rezistența la șoc, ce au variat de la 28,00mm până la 36,67mm, s-au înregistrat pentru epruvetele din lamele cu dimensiunile de 10mm x 20mm și tendința este similară în panourile lamelate încheiate cu UF. Rezultatul a evidențiat faptul că dimensiunea mai mare a lamelelor poate fi foarte favorabilă în producția panourilor lamelate la fabricație.

Este un fapt dovedit că fabricarea acestui produs poate fi tehnic fezabilă, dacă în plus cercetările sunt concentrate în procesul de utilizare.

adhesive used does affect the bonding potentials of the product, in such that there might occur spring back after bonding, strong adhesive like the UF should be considered.

4. Lastly, bamboos are of different size, laminated size should be major priority in production of laminated board when using bamboo plant. The variability in the laminated sizes of bamboo plant has significant effect on strength properties of laminated board.

Low impact bending values ranged from 25.67mm to 30.67mm in sample laminated size of 5mm x 20mm, while higher impact bending values ranged from 28.00mm to 36.67mm were recorded for the sample thickness of 10mm x 20mm and the same trend is witness in UF laminated boards. The result revealed that higher laminated size of sample could be more favourable in production of laminated board by manufacturer.

It is a proven fact that manufacture of this product could be technically feasible if further researches are carried out in the utilization process.

Tabelul 1 / Table 1

Valorile medii ale caracteristicilor fibrelor de Bambusa vulgaris din două locații diferite și pentru proporții diferite / Mean value of fibre characteristic of Bambusa vulgaris from two different locations and proportion

Proportia din înălțime / Proportional Level (%)	Locația / Location	Lungimea fibrelor / Fibre length (mm)	Diametrul fibrelor / Fibre diameter (μm)	Lațimea lumenului fibrelor / Fibre lumen width (μm)	Grosimea peretelui celular / Cell wall thickness (μm)	Criteriul Runkel/ Fibre runkel ratio	Coeficientul de flexibilitate / Coefficient flexibility	Indicele de împâslire / Relative fibre length (mm)
10	Ibadan	2.42	19.42	12.34	3.54	0.66	0.63	150.2
		2.52	19.52	12.21	3.66	0.72	0.61	149.5
30	Ibadan	2.63	20.45	12.58	3.94	0.72	0.60	163.4
		3.12	25.12	15.51	4.81	0.71	0.60	157.2
50	Ibadan	2.57	20.40	13.42	3.49	0.63	0.65	159.3
		3.05	19.33	11.71	3.81	0.75	0.60	199.2
70	Ibadan	2.55	17.63	11.65	2.99	0.56	0.66	164.8
		3.00	18.30	11.30	3.50	0.73	0.60	196.5
90	Ibadan	2.81	20.43	13.04	3.69	0.60	0.63	163.4
		2.99	17.95	10.75	3.60	0.73	0.60	214.5

Fiecare valoare reprezintă o medie / Each value represents mean value

Tabelul 2 / Table 2

Valorile medii ale rezistențelor mecanice determinate pe epruvete din lemn lamelat încleiat de bambus utilizând diferiți adezivi / Mean values of Strength properties assessed on Bamboo-laminated samples using different adhesives

Adeziv / Adhesive	Porțiunea de tulpină / Bole portion (%)	Dimensiunile lamelor / Laminated size	Coeziunea internă / Impact test (mm)	Rezistența la încovoiere statică / MOR (N/mm ²)	Rezistența la compresiune / Compression strength (N/mm ²)	Rezistența la forfecare paralelă / Shear strength in // (N/mm ²)	Rezistența la forfecare ⊥ / Shear strength in ⊥ (N/mm ²)
Top bond	10	5mm x 20mm 10mm x 20mm	25.67 ± 2.08 28.00 ± 1.00	35.28 ± 4.34 52.03 ± 3.72	44.92 ± 12.21 57.91 ± 7.72	0.23 ± 0.06 0.40 ± 0.04	0.95 ± 0.08 1.17 ± 0.01
	50	5mm x 20mm 10mm x 20mm	30.67 ± 0.58 33.33 ± 0.58	38.63 ± 2.16 65.74 ± 4.89	50.75 ± 2.17 61.82 ± 1.59	0.32 ± 0.07 0.48 ± 0.01	1.15 ± 0.05 1.20 ± 0.01
	90	5mm x 20mm 10mm x 20mm	30.33 ± 0.58 36.67 ± 0.58	45.44 ± 4.34 69.81 ± 3.86	56.03 ± 5.21 76.04 ± 5.46	0.38 ± 0.04 0.56 ± 0.05	1.17 ± 0.04 1.26 ± 0.02
Ureoform aldehydic / Urea formaldehyde ride	10	5mm x 20mm 10mm x 20mm	19.00 ± 1.00 38.00 ± 2.65	99.90 ± 6.36 124.88 ± 8.97	12.62 ± 2.49 45.05 ± 1.25	0.12 ± 0.03 0.19 ± 0.01	0.43 ± 0.05 0.68 ± 0.04
	50	5mm x 20mm 10mm x 20mm	32.00 ± 2.00 39.00 ± 1.00	135.68 ± 57.12 443.20 ± 54.19	20.16 ± 4.12 46.25 ± 0.66	0.18 ± 0.02 0.22 ± 0.01	0.51 ± 0.08 0.81 ± 0.02
	90	5mm x 20mm 10mm x 20mm	31.33 ± 2.08 40.67 ± 1.15	199.46 ± 5.00 536.96 ± 2848	30.57 ± 10.96 47.66 ± 0.51	0.18 ± 0.02 0.26 ± 0.03	0.59 ± 0.08 0.85 ± 0.01

Valorile medii cu deviațiile standard / Mean values with standard deviation

Tabelul 3 / Table 3
Rezultatele analizei de variație pe proprietățile mecanicedeterminate pe epruvete lamelate / Result of analysis of variance on the strength properties conducted on the laminated specimens

Sursa de variație / Source of variance	df	Rezistența la impact / Impact bonding		Compresiune / Compression		Rezistența la încovoiere statică / MOR		Forfecare paralelă / Shear in //		Forfecare perpendiculară / Shear +	
		F-cal	F-tab	F-cal	F-tab	F-cal	F-tab	F-cal	F-tab	F-cal	F-tab
Adeziv / Adhesive	1	27.842	4.26*	151.108	4.26*	629.148	4.26*	262.254	4.26*	968.403	4.26*
Porțiunea de tulpină / Bole portion	2	83.539	3.40*	13.632	3.40*	94.591	3.40*	27.640	3.40*	33.987	3.40*
Dimensiunea elementelor lamelate / Laminated size	1	257.895	4.26*	102.738	4.26*	225.487	4.26*	87.640	4.26*	143.758	4.26*
Adeziv x Porțiunea de tulpină / Adhesive x Bole portion	2	1.197	3.40 ^{ns}	0.484	3.40 ^{ns}	76.346	3.40*	3.994	3.40*	0.288	3.40 ^{ns}
Adeziv x Dimensiunea elementelor lamelate / Adhesive x Laminated size	1	68.211	4.26*	7.131	4.26*	149.824	4.26*	17.026	4.26*	21.901	4.26*
Dimensiunea elementelor lamelate x Porțiunea de tulpină / Laminated size x Bole portion	2	12.092	3.40*	0.493	3.40 ^{ns}	39.105	3.40*	0.439	3.40 ^{ns}	1.516	3.40 ^{ns}
Adeziv x Porțiunea de tulpină x Dimensiunea elementelor lamelate / Adhesive x Bole portion x Laminated size	2	20.171	3.40*	3.013	3.40 ^{ns}	34.777	3.40*	0.077	3.40 ^{ns}	3.579	3.40*
Eroare / Error	24										
Total / Total	35										

*reprezintă diferența semnificativă / *represent significant different while
ns reprezintă diferența ne semnificativă la un nivel de probabilitate de 0,05 / ns represent not significant at 0.05 level of probability

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

- BARRETO, C.W. (2003). Evolucion de Guadua laminada pegada aplicada a propuesta de reticulado plano, tesis de grado arquitectura Universidad Nacional de Colombia sede Bogota.
- CALEGARI, L., HASELEIN, C.R., SCAVARELLI, T.L., SANTINI, E.J., STANGERLIN, D.M., GATTO, D.A., TREVISAN, R. (2007). Desempenho físico-mecânico de painéis fabricados com bambu (*Bambusa vulgaris* Schr.) em combinação com madeira. *Cerne* 13: 57-63.
- DIETZ, A.G.H. (1977). Innovative uses of materials for housing in developing areas. *International Journal for Housing Science and its Applications*, 7(2):132–164.
- ESPILOY, Z.B., ELLA, A.B., FLORESCA, A.R. (1988). Physico-mechanical properties and Anatomical structure relationships of two erect bamboo species. *Philippine lumber man* 32(4,5) 25 -27, 35, 32–33.
- GOU, Z.W.W. (2007). Laminated panel manufacture of two kinds of bamboo for architecture material property comparison. <http://www.inbar.int/publication/pubdownload.asp>? Accessed on July 2011.
- IDRIS, A.A., FIRMANI, A., PURWITO, A. (1994). Penelitian bamboo untuk bahan bangunan. *Strategi penelitian Bambu Indonesia*. Yayasan Bambu Lingkungan Lestari, Bogor.
- LIESE, W., HAMBURG, F.R.G. (1987). Research on Bamboo. *Wood Sci. Technol.* 21: 189-209.
- NUGROHO, N., ANDO, N. (2001). Development of structural composite products made from bamboo II: fundamental properties of laminated bamboo lumber. *Journal of Wood Science* 47: 237– 242.
- SEEMA, J., KUMAR, R. (1992). Mechanical behavior of bamboo and bamboo composite. *J. of Material Sci.* 27:4598-4604.
- SULASTININGSIH, I.M., NURWATI, P. (2009). Physical and Mechanical properties of Laminated Bamboo board. *Journal of Tropical Forest Science* 21(3): 246-251.
- SULASTININGSIH, I.M., NURWATI, P., SUTIGNO, P. (1996). Pengaruh jumlah lapisan terhadap sifat bamboo lamina. *Buletin Penelitian Hasil Hutan* 14: 366–373.
- WIDJAJA, E.A., RISYAD, Z. (1987). Anatomical Properties of some Bamboos Utilized in Indonesia. Pp. 244–246 in Rao AN, Dhanarajan G, Sastry CB (Eds.). *Recent Research on Bamboos. Proceedings of the International Bamboo Workshop*. 6-14 October 1985. Hangzhou, China. Chinese Academy of Forestry, Beijing and International Development Research Centre, Ottawa.
- XIAOBO, LI. (2004). Physical, Chemical, and Mechanical properties of Bamboo and its utilization potential for Fiberboard manufacturing. Master thesis submitted to Louisiana State University and Agriculture and Mechanical College. Pp 27-29.
- ZHANG QISHENG. (2001). Industrial Utilization on Bamboo, technical report Nr. 26, pp. 28-33.