

PELUANG APLIKASI PRODUK BAMBU REKAYASA DALAM PEMBANGUNAN INFRASTRUKTUR BERKELANJUTAN

I. S. Irawati*, U. Wusqo, H. Z. Arifin

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada,
Jalan Grafika No. 2 Yogyakarta, Indonesia

*E-mail: inggar_septhia@ugm.ac.id

Abstract

Bamboo is a fast-growing plant and an environmentally friendly material that can be used as a substitute material for wood, especially in the construction sector. Although bamboo has many advantages in terms of strength and environmental aspects, the use of bamboo material in the construction sector is still limited due to its non-prismatic and irregular shape. Nowadays, many engineered bamboo products have been developed to optimize the utilization of bamboo in the construction sector. Several engineered bamboo products that have been manufactured are laminated bamboo, cross laminated bamboo, bamboo scrimber, and bamboo particleboard. This paper presents a comprehensive study related to engineered bamboo products, from its production process to its application in the construction sector. In general, the mechanical properties of engineered bamboo products are comparable to those of bamboo culm. Several aspects that can affect the mechanical properties of engineered bamboo products are the species of bamboo being used, preservatives and adhesives, the method of preservation and gluing being applied, as well as the bamboo particle size. Bamboo engineered products can be applied to various construction elements, including beams, columns, and roof structures.

Keywords: *Engineered bamboo product, Mechanical properties, Production process*

Abstrak

Bambu merupakan tanaman cepat tumbuh dan material ramah lingkungan yang dapat digunakan sebagai material alternatif pengganti kayu. Meskipun memiliki banyak keunggulan dari aspek kekuatan dan lingkungan, penggunaan material bambu dalam dunia konstruksi masih terkendala bentuk alaminya yang non prismatic dan tidak seragam. Dewasa ini, banyak produk bambu rekayasa yang dikembangkan untuk mengoptimalkan penggunaan bambu pada bidang konstruksi. Beberapa produk bambu rekayasa yang telah banyak diproduksi diantaranya bambu laminasi, *cross laminated bamboo*, *bamboo scrimber*, dan *bamboo particleboard*. Makalah ini menyajikan informasi secara komprehensif terkait dengan produk bambu rekayasa mulai dari proses produksi hingga aplikasinya di dunia konstruksi. Secara umum, sifat mekanika yang dihasilkan pada produk bambu rekayasa tidak kalah dibandingkan dengan sifat mekanika batang bambu utuh. Beberapa aspek yang dapat mempengaruhi sifat mekanika produk bambu rekayasa meliputi spesies bambu yang digunakan, bahan pengawet dan perekat, metode pengawetan dan perekatan yang digunakan, serta ukuran partikel bambu. Produk bambu rekayasa dapat diaplikasikan untuk berbagai kebutuhan konstruksi, seperti sebagai elemen balok, kolom, maupun struktur rangka atap.

Kata Kunci: *Produk bambu rekayasa, Sifat mekanika, Proses produksi*

PENDAHULUAN

Bambu merupakan salah satu material yang diketahui cocok dengan konsep pembangunan berkelanjutan. Secara alami, bambu merupakan material organik terbarukan yang mudah dibudidayakan dan cepat untuk dipanen. Masa tumbuh bambu hingga dapat dipanen berkisar antara 3-5 tahun. Kemudahan pembudidayaan bambu dan masa panen bambu yang singkat menjadi solusi terhadap kendala penggunaan kayu sebagai bahan bangunan, yaitu lamanya masa panen kayu dan penggundulan hutan (*deforestation*) (Nurdiah, 2016). Proses pemanenan bambu yang tidak tebang habis akan lebih melindungi lingkungan terhadap pencemaran udara akibat polusi CO₂ dan erosi tanah (Manandhar et al., 2019). Selain itu, bambu dikenal sebagai tanaman konservasi air (Buziquia et al., 2019). Lahan-lahan tempat budidaya bambu akan mempunyai kondisi air tanah yang baik.

Bambu termasuk material yang memiliki perbandingan kekuatan terhadap berat (*strength-to-weight ratio*) yang relatif tinggi. Bambu memiliki berat satuan kering (*dry density*) antara 500-800 kg/m³ (Kaminski et al., 2016). Kuat tarik sejajar serat pada bagian kulit penampang bambu sebanding dengan kuat tarik baja. Hal ini disebabkan karena distribusi serat bambu, bagian yang berkontribusi terhadap kekuatan bambu, pada bagian kulit luar bambu lebih rapat dibandingkan distribusi serat bambu pada bagian dalam bambu (Amada et al., 1996; Ghavami et al., 2003; dan Tan et al., 2011). Kekuatan tekan, geser dan lentur bambu dapat dibandingkan dengan kekuatan kayu. Kekuatan tekan bambu didukung oleh keberadaan lignin (Syeda & Kumar, 2014). Kuat tekan rata-rata bambu Wulung (*Gigantochloa atroviolacea*) dengan dan tanpa nodia masing-masing adalah 52,27 MPa dan 50,50 MPa (Oka et al., 2014). Kuat lentur bambu Wulung pada persentil ke-5 dengan selang kepercayaan 75% sebesar 27,56 MPa (Irawati & Wusqo, 2020). Kuat geser rata-rata bambu *Guadua angustifolia Kunth* sebesar 7,55 MPa (Correal & Arbelaez, 2010).

Di balik keunggulan tersebut, penggunaan bambu sebagai material bangunan terkendala bentuk alami batang bambu. Bambu memiliki penampang lingkaran berongga. Dimensi batang bambu non prismatic dan tidak seragam, baik dimensi antar batang bambu maupun dimensi dalam satu batang bambu pada bagian pangkal, tengah dan ujung.

Diameter bagian pangkal relatif lebih besar dibandingkan diameter bagian atas atau *tapered* (van der Lugt et al., 2006). Bentuk alami batang bambu tersebut menyebabkan kesulitan dalam membuat sambungan antar batang bambu.

Untuk mengatasi kendala tersebut, produk bambu rekayasa (*engineered bamboo*) kemudian dikembangkan. Keuntungan dari penggunaan produk bambu rekayasa adalah kemudahan dalam pengembangan desain dan aplikasi pada beberapa bagian struktur bangunan. Dimensi produk bambu rekayasa dapat dibuat sesuai kebutuhan sehingga memungkinkan produk-produk bambu rekayasa digunakan pada struktur bentang panjang. Proses produksi bambu rekayasa dapat mempertahankan arah serat bambu pada arah longitudinal (Sullivan, 2018).

Saat ini, terdapat berbagai macam produk bambu rekayasa, yaitu bambu laminasi (*laminated bamboo*), *cross laminated bamboo* (CLB), *bamboo scrimber*, dan papan partikel bambu (*bamboo particleboard*). Bambu laminasi juga dikenal dengan nama *laminated bamboo lumber* (LBL) atau *glued laminated bamboo* (GluBam). *Bamboo scrimber* dikenal juga dengan istilah *parallel strand bamboo* (PSB).

Makalah ini bertujuan untuk menyampaikan informasi terkait dengan proses produksi, karakter, dan pemanfaatan produk bambu rekayasa pada sektor konstruksi secara komprehensif. Hasil dari penelitian terdahulu dihimpun dan dikaji lebih lanjut untuk memberikan pandangan yang lebih luas kepada pembaca mengenai peluang aplikasi produk dalam rangka pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan.

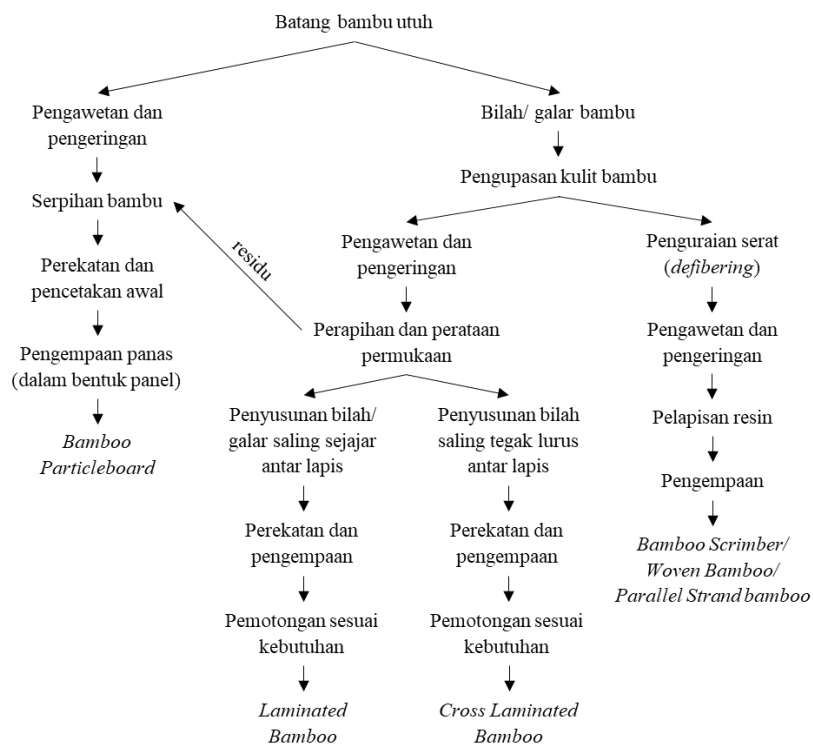
PROSES PEMBUATAN PRODUK BAMBUN REKAYASA

Proses pembuatan berbagai produk bambu rekayasa dapat dilihat pada Gambar 1. Secara garis besar, proses produksi GluBam, CLB dan PSB terdiri dari empat tahap yaitu pembentukan bahan yang akan direkat (Tahap 1), pengawetan (Tahap 2), pengeringan (Tahap 3), dan perekatan (Tahap 4). Berdasarkan Gambar 1, dapat dilihat bahwa perbedaan utama antara GluBam dengan CLB terletak pada arah penyusunan antar lapis laminanya.

Pada Tahap 1 pembuatan GluBam, proses produksi dapat menghasilkan bilah-bilah dan galar-galar bambu (Sharma et al., 2015a; Nugroho & Ando, 2001) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Berbeda dengan produksi GluBam, pembuatan CLB dan PSB hanya menggunakan bilah-bilah bambu (Xing et al., 2019; Agustina et al., 2015;

Archila et al., 2014). Pada pembuatan PSB, bilah-bilah bambu yang sudah diperoleh kemudian dilanjutkan dengan proses *defibering* (penguraian serat). Sebelum *defibering*, biasanya dilakukan proses pelunakan (*softening*) untuk memisahkan lapisan interseluler dari bambu. Proses ini dilakukan dengan merebus bambu dalam larutan NaOH atau Na₂CO₃ dengan kadar 3% dari berat, yang dapat mereduksi tingkat polusi dan juga biaya jika dibandingkan dengan menggunakan reagen kimia lainnya (Huang et al., 2019).

Bilah/galar bambu yang diperoleh pada Tahap 1 kemudian diawetkan (Tahap 2), dikeringkan (Tahap 3), dan kemudian direkatkan (Tahap 4). Proses pengeringan dilakukan sehingga kadar air bahan yang akan direkat mencapai kadar air yang disyaratkan oleh spesifikasi bahan perekat. Bilah dan galar bambu dinyatakan siap untuk direkatkan jika kadar air bilah dan galar bambu sudah mencapai kadar air yang disyaratkan oleh spesifikasi bahan perekat dan mempunyai permukaan yang rata serta bersih dari kulit bambu, baik kulit bambu bagian luar maupun bagian dalam. Pada proses pembuatan CLB, dengan tujuan untuk mendapatkan sifat mekanika bilah bambu yang lebih baik, proses densifikasi bilah bambu dapat ditambahkan setelah proses pengawetan Tahap 2 dilakukan (Archila et al., 2014).



Gambar 1. Bagan alir pembuatan produk bambu rekayasa (dari berbagai sumber)



Gambar 2. Bahan baku produk bambu rekayasa berupa bilah (kiri) dan galar (kanan) bambu dari bambu Moso (Sharma et al., 2015a; Nugroho & Ando, 2001) Proses produksi *particleboard* secara umum tipikal dengan proses produksi GluBam, CLB dan PSB. Namun, serpihan bambu dari bambu utuh diperoleh setelah bambu diawetkan dan dikeringkan. Selain itu, serpihan bambu juga dapat diperoleh dari hasil perapihan dan perataan bilah dan galar bambu.

Metode pengawetan dan metode pengempaan yang digunakan dalam pembuatan produk bambu rekayasa berbeda-beda. Pemilihan metode pengawetan sangat bergantung pada alat yang dimiliki oleh industri, mulai dari penggunaan teknologi sederhana dengan biaya murah (perendaman) hingga teknologi lebih tinggi yang memerlukan biaya yang lebih tinggi juga (karbonasi dan karamelisasi). Metode pengempaan yang digunakan sangat bergantung pada jenis bahan perekat. Adapun jenis pengawet, metode pengawet, jenis perekat dan metode pengempaan yang biasa digunakan dalam proses pembuatan produk bambu rekayasa disajikan dalam Tabel 1.

SIFAT MEKANIKA

Bambu merupakan material ortotropik non homogen, begitu juga dengan produk bambu rekayasa. Dalam perencanaan harus diketahui kekuatan pada masing-masing arah sumbu utamanya. Pengujian yang umum dilakukan untuk mengetahui sifat mekanika produk bambu rekayasa adalah uji tarik sejajar dan tegak lurus serat, uji tekan sejajar dan tegak lurus serat, uji geser sejajar serat, dan uji lentur (tiga titik ataupun empat titik pembebanan). Maksud dari pengujian tersebut adalah untuk mengetahui sifat mekanika yang dapat digunakan sebagai dasar perencanaan dalam desain struktur bangunan bambu. Tabel 1 menyajikan resume hasil pengujian sifat mekanika produk bambu rekayasa yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Proses pengujian yang telah dilakukan masih mengacu pada standar pengujian untuk produk kayu dikarenakan standar pengujian untuk produk bambu rekayasa masih belum tersedia. International Organization for

Standardization (ISO) sendiri saat ini sedang dalam proses melakukan penyusunan standar pengujian untuk produk bambu rekayasa (ISO, n.d.).

Terdapat beberapa aspek yang berpengaruh terhadap sifat mekanika produk bambu rekayasa diantaranya jenis bambu yang digunakan, tebal bilah, jenis pengawet, jenis perekat, metode pengawetan, keberadaan nodia, dan ukuran partikel bambu. Pada GluBam misalnya, kajian yang dilakukan oleh Sulastiningsih et al. (2013b) menunjukkan adanya perbedaan sifat mekanika dan sifat fisika (kecuali aspek kerapatan) pada balok GluBam dengan jenis pengawet yang berbeda. Merujuk pada Tabel 1, pada balok GluBam yang dibuat dari bambu Petung dengan perekat polymer isocyanate, penggunaan pengawet jenis deltamethrin menghasilkan nilai kuat geser balok GluBam yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengawet jenis boraks. Selain itu, penggunaan perekat jenis urea formaldehyde cenderung memberikan nilai kuat geser balok GluBam yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan perekat polymer isocyanate. Kajian yang dilakukan oleh Sumawa et al. (2018) menunjukkan adanya pengaruh metode pengawetan terhadap kuat geser balok GluBam yang terbuat dari bambu Petung dengan perekat polymer isocyanate. Pada dua jenis pengawet yang berbeda (boraks dan ekstrak tembakau), penggunaan metode pengawetan Boucherie-Morisco memberikan nilai kuat geser yang lebih rendah dibandingkan dengan metode pengawetan rendaman panas. Namun demikian, Nugroho et al. (2019) mendapatkan hasil yang sebaliknya ketika perekat polivinil asetat digunakan.

Keberadaan nodia dapat menurunkan kuat tekan balok GluBam. Hal ini disebabkan oleh sel pembuluh (*vascular cells*) bambu utuh pada bagian nodia bambu yang memiliki struktur yang lebih rumit dibandingkan dengan bagian internodia bambu, sehingga menghasilkan material yang lebih rapat dan keras (Sulastiningsih et al., 2013a). Pada produk CLB, tebal bilah bambu yang digunakan akan berpengaruh pada MOR dan kuat rekat, sementara orientasi sudut *core* akan memberikan pengaruh terhadap penyusutan volume, MOR, tekan sejajar serat dan kuat rekat (Agustina et al., 2014).

Pada produk *bamboo particleboard*, penggunaan ukuran serpihan bambu yang semakin kecil akan menghasilkan nilai MOE dan MOR yang semakin kecil pula. Hal ini disebabkan karena ketidakmampuan perekat untuk menutupi seluruh lapisan permukaan serpihan bambu yang berukuran kecil. Namun demikian, ukuran serpihan bambu ini tidak akan berpengaruh terhadap kandungan air, kerapatan, kembang susut pada arah tebal

setelah 24 jam, kekuatan rekat internal (*internal bonding*), serta kuat cabut sekrup dari *bamboo particleboard* (Bazetto et al., 2019).

Pada umumnya, proses rekayasa pada bambu dilakukan untuk mendapatkan kualitas bambu yang lebih seragam dan lebih baik. Selain itu, dimensi dan bentuk dari produk bambu rekayasa juga dapat disesuaikan dengan peruntukannya. Merujuk pada Tabel 1, terlihat bahwa bambu laminasi dan *bamboo scrimber* memiliki sifat mekanika yang sebanding dengan bambu utuh. Perbedaan mencolok terlihat pada nilai MOR dan kuat

Tabel 1. Resume sifat mekanika produk bambu rekayasa

Peneliti	Standar pengujian	Spesies	Jenis perekat	Metode pengepmpaan	Jenis pengawet (metode)	Kadar air (%)	MOR (MPa)	MOE (GPa)	// Serat (MPa)			I Serat (MPa)		Metode perolehan bilah
									fc	ft	fv	fc	ft	
1. Laminated bamboo														
Sharma et al. (2015b)	AST M D143-09, BS 373:1 957, BS EN 408:2010	<i>Phyllostachys pubescens</i>	Polyurethane	Manual clamped	-	7,0	77,0 - 83,0	11,0 - 13,0	77,0	90,0	16,0	22,0	2,0	Bilah
Chen et al. (2020)	AST M D143-14	<i>Phyllostachys pubescens</i>	Phenol formaldehyde (PF)	Flat pressure 20 MPa, 150 °C	(Steaming, carbonization)	10,6	111,5	8,9	56,3	107,7	17,5	-	-	Bilah
Mahdavi et al. (2012)	AST M D143-94	<i>Phyllostachys pubescens</i>	Resorcinol GP	Mechanical press	-	15,8	76,5	9,3	-	-	-	-	-	Galar
Azmy et al. (2021)	Derikvand & Pangh (2016)	<i>Dendrocalamus asper</i>	Polym Isocyanate Urea Formaldehyde	Cold & hot pressing	Deltametrin (Cold soaking)	7,0-12,0	-	-	-	-	7,34	-	-	Bilah
Novitri et al. (2021)											7,61	-	-	
Sumawa et al. (2018)*	SNI 03-3959-1995, AST M D9050 3-2013	<i>Dendrocalamus asper</i>	Polym Isocyanate	-	Borax, tobacco water (Boucherie-Morisco, hot immersion)	-	A: 93,08 B: 104,89 C: 92,28 D: 95,59	-	-	-	A: 4,78 B: 6,56 C: 4,08 D: 4,78	-	-	Bilah

Tabel 1. (Lanjutan)

Peneliti	Standar pengujian	Spesies	Jenis perekat	Metode pengempaan	Jenis dan metode pengawetan	Kadar air (%)	MOR (MPa)	MOE (GPa)	// Serat (MPa)			I Serat (MPa)		Metode perolehan bilah
									fc	ft	fv	fc	ft	
Kumar et al. (2016)	CSN 490110-490116, 490118	<i>Phyllostachys pubescens</i>	Phenol formaldehyde (PF)	-	Saturated steam treatment	7,0	166,5	18,7	115,7	144,8	17,0	77,0	6,7	-
	155,3						16,4	113,4	115,5	14,3	64,2	5,6		
	131,8						14,7	104,7	111,0	11,9	49,3	4,2		
3. Cross laminated bamboo (CLB)														
Xing et al. (2019)**	EN 392, EN 302-1, EN 16351	Moso bamboo	MUF, HPA, PUR	Cold-cured; 0,6 MPa clamping pressure	-	8,0-12,0	-	-	-	-	MUF: 5,0 HPA: 1,8 PUR: 2,7	-	-	Bilah
**Note: MUF = melamine-urea-formaldehyde, HPA = hybrid polymer adhesive, PUR = polyurethane														
Agustina et al. (2015)	ASTM D143-94, JAS 1152 (2007)	<i>Dendrocalamus asper</i>	Water based polymer isocyanate (WBPI)	Double spread, cold pressing	-	13,0	10,3-24,0	0,8-5,2	16,5-42,6	-	0,6-3,2	-	-	Bilah
Archila et al. (2014)	BS EN 789:2004	<i>Guadua angustifolia Kunth</i>	Epoxy resin	Cold pressing	Thermo-hydro-mechanical (THM)	12,0	-	3-layer s: 13,5 (0°), 5,3 (90°) 5-layer s: 22,6 (0°), 12,5 (90°)	-	-	-	-	-	Bilah
4. Bamboo particleboard														
Widyorini et al.	JIS A 5908-	<i>Dendrocalamus</i>	Citric acid	Hot pressing	-	5,0-7,0	12,3	4,1	-	-	-	-	-	-

(2016)	2003	<i>s asper</i>	30%wt resin											
Bazzetto et al. (2019)	NBR 14810	<i>Dendrocalamus asper</i>	Urea formaldehyde	Hot pressing	-	10,7-11,0	5,2-7,6	0,7-1,0	-	-	-	-	-	-
Valarelli et al. (2014)	NBR 14810	<i>Dendrocalamus giganteus</i>	Urea formaldehyde (UF), Castor-oil-based (M)	Hot pressing 130° (UF) 70° (M)	-	-	2,4-9,9	0,4-1,8	-	-	-	-	-	-

5. Batang bambu utuh

Oka et al. (2014)	ISO 22157-2004	<i>Gigantochloa atroviolacea</i>	-	-	Borax acid	13,0-16,2	-	-	Nod e: 52,3 Int-node : 254,3 : 50,5	109,9	7,6	-	2,7	-
Gauss et al. (2019)***	ISO 22157-2019	<i>Phyllostachys edulis</i>	-	-	Chromated copper borate, disodium octaborate tetrahydrate	7,0 - 10,0	OC: 205 OT: 183	16,3 2 15,5 7	Nod e: 59,5 Int-node : 275 : 57,5	100	18,1	-	18,0	-

***Note: **OC**= outer culm wall in compression, **OT**= outer culm wall in tension

tarik sejajar serat, dimana nilai MOR pada bambu utuh dapat mencapai 205 MPa, sementara untuk kuat tarik sejajar seratnya mencapai lebih dari 200 MPa. Hal ini dimungkinkan terjadi karena pada pengujian terhadap sifat mekanika bambu utuh biasanya dilakukan tanpa menghilangkan kulit luar bambu. Kulit bambu diketahui memiliki nilai kuat tarik yang sangat tinggi (Morisco, 1996 & Amada et al., 1997). Sementara itu, pada produk bambu rekayasa biasanya kulit bambu dihilangkan pada tahapan awal pembuatan produk bambu rekayasa. Inovasi guna meningkatkan kualitas produk bambu rekayasa juga dapat dilakukan dengan mengkompositkan bambu dengan material lain. Penambahan lapisan *carbon fiber-reinforced polymer* (CFRP) melalui proses *pressing* terbukti dapat meningkatkan kapasitas dari CLB (Qingfang, et al., 2019). Pembuatan produk komposit antara kayu dengan bambu dalam bentuk *cross laminated timber bamboo* (CLTB) juga telah terbukti menghasilkan produk rekayasa kayu dan bambu dengan nilai MOR dan MOE yang baik (Barreto et al., 2019)

APLIKASI PRODUK BAMBU REKAYASA

Perkembangan proses produksi dari bambu rekayasa memungkinkan produk bambu rekayasa dibuat dalam ukuran lebih besar dan seragam. Aplikasi untuk keperluan struktural dapat berupa elemen balok, kolom, maupun rangka atap, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3a-3d (Chen et al., 2020; Xiao et al., 2013; Chen et al., 2020;



Gambar 3. Aplikasi produk bambu rekayasa a) bangunan bertingkat, b) rangka struktur, c) elemen balok, d) jembatan pejalan kaki, e) lantai *outdoor* (dari berbagai sumber) Li et al., 2016). Aplikasi produk rekayasa untuk elemen non struktural bisa dilihat pada Gambar 3e, PSB digunakan sebagai lantai *outdoor* (Huang et al., 2019). Selain itu, aplikasi GluBam dari bambu Moso sebagai elemen non struktural secara masif (mencapai luas 200.000 m²) juga

ditemukan pada langit-langit bangunan Terminal Bandara Internasional Barajas, Madrid yang memberikan kesan struktur bangunan lebih dinamis, indah dan natural (Archello, n.d.).

KESIMPULAN

Kendala penggunaan bambu utuh dalam dunia konstruksi akibat bentuk geometri dapat diatasi dengan mengolahnya menjadi produk bambu rekayasa. Secara umum, proses pembuatan produk bambu rekayasa terdiri atas tahapan persiapan bahan baku, pengawetan, pengeringan, perekatan, dan pencetakan. Beberapa aspek yang perlu diperhatikan karena dapat mempengaruhi sifat mekanika bambu meliputi sifat alami dari bambu yang digunakan serta jenis dan metode dari pengawetan dan perekatan. Produk bambu rekayasa dapat diaplikasikan menjadi elemen struktural dan arsitektural secara lebih luas dibanding bambu utuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, A., Nugroho, N., Bahtiar, E. T., Hermawan, D. (2015). Karakteristik Cross Laminated Bamboo Sebagai Bahan Komposit Struktural. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 25, 174-181.
- Amada, S., Ichikawa, Y., Munekata, T., Nagase, Y., Shimizu, H. (1997). Fiber texture and mechanical graded structure of bamboo. *Composite Part*, 28B, 13-20.
- Archello. (n.d.). Barajas International Airport Madrid. <https://archello.com/project/barajas-international-airport-madrid>.
- Archila, H. F., Ansell, M. P., Walker, P. (2014). Mechanical characterization of engineered Guadua-bamboo panels using digital image correlation. In Proc., *Young Researchers Forum II: Construction Materials*.
- Azmy, U., Irawati, I. S., Awaludin, A. (2021). Penentuan Konsentrasi Deltamethrin untuk Pengawet Bambu Petung dan Peluang Aplikasinya pada Bambu Laminasi Perekat Polymer Isocyanate. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Infrastruktur Abad ke-21*, 1, 118-124.
- Barreto, M. I. M., Araujo, V. D., Barbosa, J. C., Christoforo, A. L., Moura, J. D. M. (2019). Structural Performance Analysis of Cross-Laminated Timber-Bamboo (CLTB). *BioResources*, 14(3), 5045-5058.
- Bazetto, J. T D. L., Junior, G. B., Brito, F. M. S. (2019). Effect of Particle Size on Bamboo Particle Board Properties. *Floresta e Ambiente*, 26(2), 1-8.
- Buziquia, S.T., Loper, P.V.F., Almeida, A.K. (2019). Impact of bamboo spreading: a review. *Biodiversity and Conservation*, 28, 3695 – 3711.
- Chen, G., Yu, Y., Li, X., He, B. (2020). Mechanical behavior of laminated bamboo lumber for structural application: an experimental investigation. *European Journal of Wood and Wood Products*, 78, 53-63.
- Correal, J. F., Arbelaez, J. (2020). Influence of Age and Height Position on Colombian Guadua angustifolia Bamboo Mechanical Properties. *Maderas Ciencia y Tecnologia*, 12, 106-113.
- Gauss, C., De Araujo, V., Gava, M., Cortez-Barbosa, J., Junior, H. S. (2019). Bamboo particleboards: recent developments. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 49.
- Ghavami, K., Rodrigues, C. S., Paciornik, S. (2003). Bamboo: Functionally Graded Composite Material. *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)*, 4(1), 1-10.
- Huang, Y., Ji, Y., Yu, W. (2019). Development of bamboo scrimber: a literature review. *Journal of Wood Science*, 65(25).

- Irawati, I. S., Wusqo, U. (2020). Perbandingan Perilaku Lentur Lentur Balok Bambu Menggunakan Sifat Mekanik yang Diperoleh dengan Metode Rata-Rata dan persentil ke-5. *Jurnal Permukiman*, 15, 43-53.
- ISO (n.d.). ISO/DIS 23478 Bamboo structures – Engineered bamboo products – Test methods for determination of physical and mechanical properties. <https://www.iso.org/standard/75683.html>.
- Kaminski, S., Lawrence, A., Trujillo, D. (2016). Structural use of bamboo Part 1: Introduction to bamboo. *The Structural Engineer*, 94, 40-43.
- Kumar, A., Vlach, T., Hrouda, M., Kasal, B., Tywoniak, J., Hajek, P. (2016). Engineered Bamboo Scrimber: Influence of Density on The Mechanical and Water Absorption Properties. *Construction and Building Materials*, 127, 815-827.
- Li, H., Deeks, A. J., Zhang, Q., (2016). Wu, G. Flexural Performance of Laminated Bamboo Lumber Beams. *BioResources*, 11, 929-943.
- Mahdavi, M., Clouston, P. L., Arwade, S. R. (2012). A Low-Technology Approach Toward Fabrication of Laminated Bamboo Lumber. *Construction and Building Materials*, 29, 257-262.
- Manandhar, R., Kim, J. H., Kim, J. T. (2019). Environmental, social and economic sustainability of bamboo and bamboo-based construction materials in buildings. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 18, 49-59.
- Morisco. (1996). *Rekayasa Bambu*, Penerbit Nafiri, Yogyakarta
- Novitri, T., Irawati, I. S., Awaludin, A. (2021). Pengaruh Konsentrasi Deltamethrin terhadap Ketahanan bambu Petung dan Peluang Aplikasinya pada Bambu laminasi Perekat urea Formaldehyde. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Infrastruktur Abad ke-21*, 1, 112-117.
- Nugroho, D. B. (2019). Pengaruh Pengawet Boraks dan Air Tembakau terhadap Kuat Geser Perekat serta Perilaku Lentur Balok Laminasi dengan Perekat Polyvinyl Acetate (PVAc). Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada (Tesis).
- 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.
- Nurdiah, E. A. (2016). The Potential of Bamboo as Building Material in Organic Shaped Buildings. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 216, 30-38.
- Oka, G. M., Triwiyono, A., Awaludin, A., Siswosukarto, S. (2014). Effects of Node, Internode, and Height Position on The Mechanical Properties of Gigantochloa atroviolacea Bamboo. *Procedia Engineering*, 95, 31-37.
- Qingfang, Lv., Wang, W., Liu, Y. (2019) Flexural Performance of Cross-Laminated Bamboo (CLB) Slabs and CFRP Grid Composite CLB Slabs. *Advances in Civil Engineering 2019*.
- Sharma, B., Gatoo, A., Bock, M., Mulligan, H., Ramage, M. (2015). Engineered bamboo: state of the art. *Construction Materials*, 168, 57-67.
- Sharma, B., Gatoo, A., Bock, M., Ramage, M. (2015). Engineered bamboo for structural applications. *Construction and Building Materials*, 81, 66-73.
- Sulastiningsih, I. M., Ruhendi, S., Massijaya, M. J., Darmawan I. W., Santoso, A. (2013). Effect of Nodes on the Properties of Laminated Bamboo Lumber. *Wood Research Journal*, 4(1), 19-24.
- Sulastiningsih, I. M., Santoso, A., Barly, Iskandar, M. I. (2013). Karakteristik Papan Bambu Lamina Direkat dengan Tanin Resorsinol Formaldehida. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*, 11(1), 62-72.
- Sullivan, C. C. (2018). Sustainable Envelopes with Structural Engineered Bamboo. Continuing Education Center. <https://continuingeducation.bnppmedia.com/courses/lamboo-technologies/sustainable-envelopes-with-structural-engineered-bamboo/>.

- Sumawa, I. W. A. M. (2018). Pengaruh Bahan Pengawet Boraks dan Ekstrak Tembakau terhadap Perilaku Rekatan Bambu Laminasi Perekat Polymer Isocyanate. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada (Tesis).
- Syeda, A., Kumar, B. S. J. (2014). A Case Study on Bamboo as Green Building Material. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 4(2).
- Tan, T., Rahbar, N., allameh, S.M., Kwofie, S., Dissmore, D., Ghavami, K., Soboyejo, W.O. (2011). Mechanical properties of functionally graded hierarchical bamboo structures. *Acta Biomaterialia*, 7(10), 3796-3803
- Valarelli, I., Battistelle, R., Bueno, M., Bezerra, B., Campos, C., & Alves, M. (2014). Physical and Mechanical Properties of Particleboard Bamboo Waste Bonded with Urea Formaldehyde and Castor Oil Based Adhesive. *Matéria*, 19(1), 1-6.
- Van der Lugt, P., van den Dobbelen, A. A. J. F., Janssen, J. J. A. (2006). An Environmental, Economic and Practical Assessment of Bamboo as Building Material for Supporting Structures. *Construction and Building Materials*, 20, 648-656.
- Widyorini, R., Umemura, K., Isnan, R., Putra, D. R., Awaludin, A., Prayitno, T. A. (2016). Manufacture and properties of citric acid-bonded particleboard made from bamboo materials. *European Journal of Wood and Wood Products*, 74, 57-65.
- Xiao, Y., Yang, R. Z., Shan, B. (2013). Production, environmental impact and mechanical properties of glulam. *Construction and Building Materials*, 44, 765-773.
- Xiao, Y., Zhou, Q., Shan, B. (2010). Design and Construction of Modern Bamboo Bridges. *Journal of Bridge Engineering*, 15, 533-541.
- Xing, W., Hao, J., Sikora, K. S. (2019). Shear Performance of Adhesive Bonding of Cross-Laminated Bamboo. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31(9).
- Yu, Y., Zhu, R., Wu, B., Hu, Y., Yu, W. (2015). Fabrication, Material Properties, and Application of Bamboo Scrimber. *Wood Science and Technology*, 49, 83-98