

# Penerapan Material Bambu pada Rancangan Wisata Perumahan *Permatecture*

Wila Prakasita Scotiswara Supomo dan I Gusti Ngurah Antaryama  
Departemen Arsitektur, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail:* antaryama@arch.its.ac.id

**Abstrak**—Pengadaan material bangunan berdampak negatif terhadap lingkungan yang sebagian besar disebabkan oleh eksploitasi sumber daya alam dan penggunaan energi dalam kegiatan pembangunan. Pada rancangan wisata perumahan *permatecture*, pendekatan *permatecture* dihadirkan dengan melihat arsitektur sebagai sebuah siklus alam, siklus hidrologi, agar tidak menjadi kontras dan memberikan masalah baru pada keseimbangan alam sehingga menciptakan sistem tanpa sampah. Objek rancang berada di Desa Gandri, Ngawi dimana terjadi krisis air tanah. Untuk memperbaiki kondisi tersebut, pemilihan, pemanfaatan, daur hidup material bangunan, hingga desain bangunan menjadi hal yang sangat penting. Dilakukan pengumpulan data melalui literatur dan survei, yang kemudian dilakukan analisis dan sintesis terhadap data tersebut sehingga dapat memunculkan ide desain. Pada lahan perumahan *permatecture*, bambu merupakan material yang banyak tumbuh sehingga material ini digunakan sebagai bahan bangunan utama. Bambu apus digunakan untuk kolom yang membutuhkan kuat lentur (melengkung), bambu petung untuk kolom tegak, dan bambu ori untuk ornamen seperti fasad, pintu, dinding, dan lainnya. Bambu mudah rusak sehingga perlu untuk mengganti bahan setiap 8 tahun. Untuk memenuhi kebutuhan pengadaan bahan substitusi, tanaman bambu juga akan ditanam di lahan tersebut. Bahan bangunan bambu menjadi lebih berkelanjutan untuk kedepannya.

**Kata Kunci**—Berkelanjutan, Material, *Permatecture*, Siklus Hidrologi, Terbarukan.

## I. PENDAHULUAN

**P**EMBANGUNAN perumahan atau hunian akan memunculkan kebutuhan material bangunan dalam jumlah besar. Pengadaan material bangunan harus mempertimbangkan lingkungan agar tidak menghabiskan sumber daya alam dan berdampak negatif terhadap lingkungan [1]. Dampak negatif tersebut sebagian besar disebabkan oleh eksploitasi sumber daya alam dan penggunaan energi dalam kegiatan pembangunan [2]. Fenomena tersebut dapat dilihat pada Gambar 1. Dampak negatif tidak dapat dihindari. Hal ini hanya dapat diminimalisir dengan melakukan pendekatan berbasis lingkungan.

Pada perumahan *permatecture*, (Gambar 2 dan Gambar 3), objek rancang berada di Desa Gandri, Kabupaten Ngawi, Jawa Timur. Di desa tersebut terjadi krisis air tanah akibat eksploitasi tanpa henti untuk mengairi sawah. Air tanah dangkal di Desa Gandri sudah habis dan warga sekarang hanya bisa menggunakan air tanah dalam. Penerapan material utama bangunan yang terbarukan dan berkelanjutan memiliki peran penting dalam mengembalikan keseimbangan alam. Pendekatan *permatecture* dilakukan dalam objek rancang yang dihadirkan dengan melihat arsitektur sebagai sebuah siklus alam agar tidak menjadi kontras dan memberikan masalah baru pada keseimbangan alam sehingga menciptakan sistem tanpa sampah (*no-waste*)/terurai karena



Gambar 1. Eksploitasi sumber daya alam berupa tambang kapur yang menimbulkan dampak negatif lingkungan.



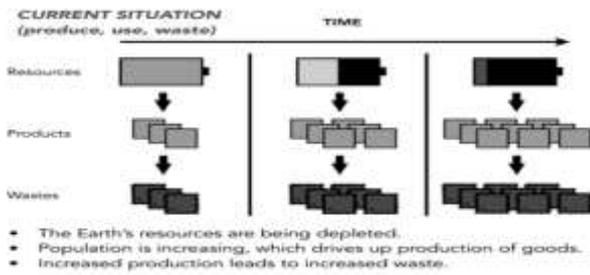
Gambar 2. Tampak mata burung perumahan *permatecture* di Desa Gandri, Kabupaten Ngawi.



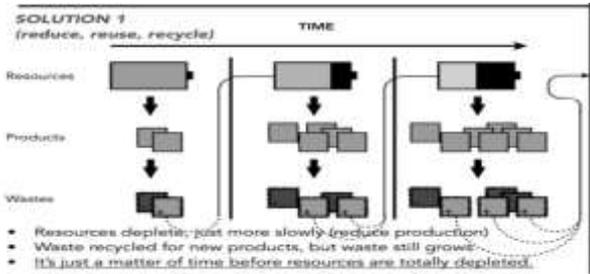
Gambar 3. Perspektif perumahan *permatecture* di Desa Gandri, Kabupaten Ngawi.

semua yang belum kembali ke alam dianggap sebagai sebuah sumber daya. *Permatecture* merupakan integrasi dari permakultur dan arsitektur yang mana keduanya memiliki perpotongan yaitu harus bekerja sama dengan alam.

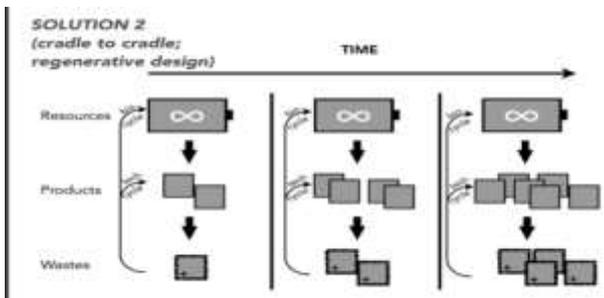
Aplikasi material bangunan harus memikirkan dampak lingkungan terutama terhadap siklus air pada daerah tersebut. Pemilihan material, pemanfaatan, desain, hingga daur hidup material menjadi hal yang sangat penting. Pemilihan material utama harus mengutamakan lokalitas dan keberlanjutan material tersebut. Material utama yang dipilih adalah material yang dapat dengan mudah didapat dan murah. Pemilihan material tersebut juga harus memiliki manfaat bagi keseimbangan siklus hidrologi pada daerah tersebut. Agar



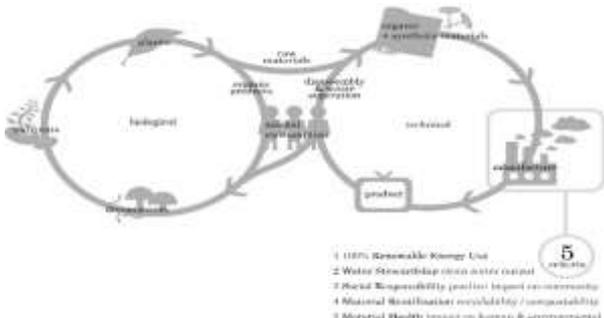
Gambar 4. Diagram sistem yang ada sekarang.



Gambar 5. Diagram sistem 3R yang merupakan solusi sekarang.



Gambar 6. Diagram sistem C2C yang merupakan solusi lebih baik.



Gambar 7. Siklus cradle-to-cradle sebagai *technical nutrients* dan *biological nutrients*.

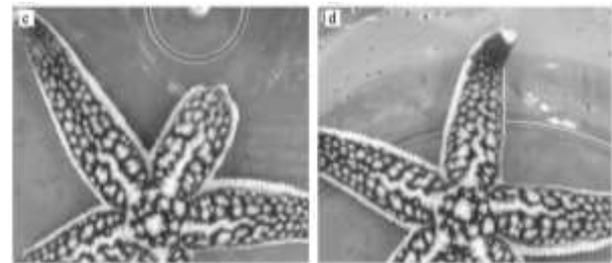
material tidak mudah rusak, pemanfaatan atau penggunaan material tersebut harus sesuai dengan kebutuhannya. Hal ini juga mempengaruhi dari desain bangunan pada onbjek rancang. Daur hidup material direncanakan dengan melihat konsep *Cradle-to-Cradle* dimana setiap sampah tidak akan dibuang tapi akan melalui proses. Hal ini seperti solusi yang banyak diterapkan sekarang, yaitu 3R (*reduce, reuse, recycle*). Tapi jika dilihat lebih detail, C2C memiliki dampak negatif lebih kecil dibanding 3R [3]. Skema perbandingan sistem tersebut dapat dilihat pada (Gambar 4 - Gambar 6). Untuk menghindari dampak negatif lingkungan, daur hidup material bangunan harus dipikirkan dengan benar. C2C merupakan pengembangan dari *cradle to grave* yang dielaborasi dari gagasan bahwa sumber daya alam dapat habis [4]. Selama ini dalam masyarakat konsumtif, tidak peduli apa yang akan terjadi dengan sampah kita. Dalam permodelan *Cradle-to-Cradle*, semua bahan yang digunakan



Gambar 8. Pondasi permakultur yang terdiri atas tiga etika dasar dan 12 prinsip.



Gambar 9. Bambu di Desa Gandri, Kabupaten Ngawi.



Gambar 10. Proses regenerasi lengan bintang laut dewasa.

dalam proses industri atau komersial (teknis atau biologis) mengikuti siklus (Gambar 7). Dengan menerapkan konsep *Cradle-to-Cradle* pada daur hidup material, maka material bangunan dapat digunakan secara berkelanjutan dan bangunan akan memiliki life-time yang lebih panjang [5].

Tujuan dari perancangan ini adalah bagaimana penerapan material bangunan tidak berdampak negatif terhadap lingkungan dan dapat mengembalikan keseimbangan alam. Penerapan material tersebut berfokus pada pemilihan, pemanfaatan, dan daur hidup material, serta desain bangunan.

## II. METODE RANCANGAN

### A. *Permatecture*

Dalam merancang perumahan *permatecture*, diterapkan pendekatan *permatecture* / permakultur. Permakultur adalah sebuah filosofi untuk menciptakan kehidupan yang berkelanjutan dengan cara mempelajari cara kerja alam,

Tabel 1.

Jenis Bambu dan Karakteristiknya				
Jenis Bambu	Panjang Bambu	Jarak Ruas	Tebal Dinding	Diameter Luar
Bambu Apus	6-13 m	20-65 cm	15 mm	4-8 cm
Bambu Ori	9-18 m	25-30 cm	10-20 mm	7-10 cm
Bambu Betung	10-14 m	40-60 cm	10-15 mm	6-15 cm

Tabel 2.

Jenis Bambu dan Sifat Mekanisnya				
Jenis Bambu	Kuat Tarik Ruas / tidak	Kuat Tekan Ruas / tidak	Kuat Geser Ruas / tidak	Kuat Lentur Ruas / tidak
Bambu Apus	60.6 Mpa / 64.9 Mpa	44.8 Mpa / 7.8 Mpa	1.08 Mpa / 0.83 Mpa	44.8 Mpa / 7.8 Mpa
Bambu Ori	81.5 Mpa / 240 Mpa	36.01 Mpa / 5.1 Mpa	2.72 Mpa / 0.39 Mpa	36.01 Mpa / 5.1 Mpa
Bambu Betung	83.4 Mpa / 110.7 Mpa	31.1 Mpa / 1.6 Mpa	1.03 Mpa / 1.62 Mpa	31.1 Mpa / 1.6 Mpa

Tabel 3.

Hasil Uji Kuat Tarik Bambu dengan Pengawetan			
Jenis Bambu	0 Bulan	6 Bulan	12 Bulan
Bambu Apus	226.19 Mpa	221.48 Mpa	211.13 Mpa
Bambu Ori	0%	2.1%	6.7%
Bambu Betung	10-14 m	40-60 cm	10-15 mm

bukan kontras dan merusak alam. Semua yang belum kembali ke alam dianggap sebagai sebuah sumber daya. Permactecture merupakan pendekatan tentang mendesain lingkungan binaan manusia sekaligus melestarikan dan memperluas sistem alam dengan cara siklus. Dalam penerapan permakultur maupun permactecture, tidak akan lepas dari pondasi permakultur, yaitu tiga etika dan 12 prinsip permakultur yang menjadi pondasi dalam mendesain simulasi sistem alam yang mempunyai sifat closed-loop dan waste-free cycle (Gambar 8). Sifat closed-loop dan waste-free cycle pada permakultur juga muncul pada penerapan Cradle-to-Cradle.

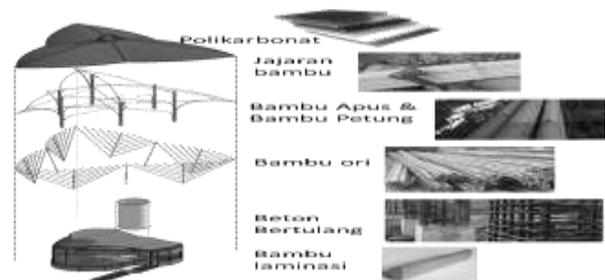
Rancangan didasarkan oleh data yang didapat baik secara kuantitatif maupun kualitatif. Data tersebut didapat dengan mengumpulkan teori dan data melalui studi pada buku, jurnal, catatan, laporan, serta pengamatan langsung dan wawancara. Dan didapatkan data seperti material yang paling banyak di Desa Gandri adalah bambu (Gambar 9). Aplikasi material bambu dilakukan dengan menerapkan 12 prinsip permactecture sehingga dapat mewujudkan sifat *closed-loop* dan *waste-free cycle*.

**B. Biomimikri**

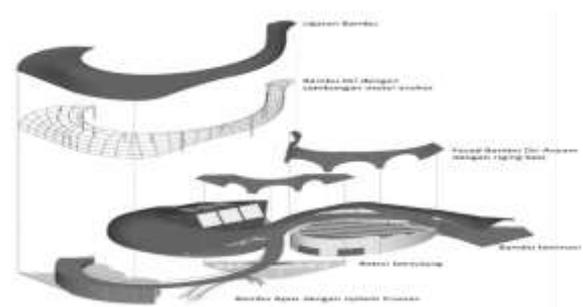
Metode biomimikri dipilih untuk mendukung daur hidup material bangunan dan prinsip *permactecture*. Rancangan ini mengadopsi proses regenerasi pada lengan bintang laut. Saat ada ancaman, bintang laut akan memotong lengannya. Bagian lengan yang terpotong akan beregenerasi dan tumbuh lengan baru (Gambar 10). Proses regenerasi tersebut tidak dapat terjadi secara cepat. Butuh waktu sekitar satu tahun untuk menumbuhkannya [6]. Bintang laut akan selalu dapat menumbuhkan lengan yang terpotong selama intinya tidak rusak [7]. Dalam penerapan metode biomimikri diperlukan beberapa batasan, yaitu strategi desain penggantian lengan (bagian luar) yang berawal dari inti tubuh (bagian dalam).



Gambar 11. Gambar jenis bambu yang ada pada lahan, dari kiri terdapat bambu apus, ori, dan petung.



Gambar 12. Aksonometri struktur dan material bangunan hunian.



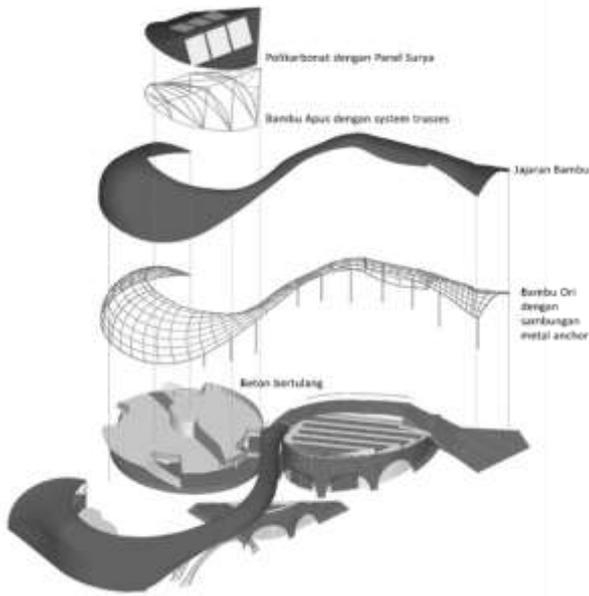
Gambar 13. Aksonometri struktur dan material bangunan komunal.

Proses regenerasi ini diterapkan dalam mekanisme struktur dan substitusi material bambu pada rancangan. Mekanisme tersebut dianalogikan pada proses regenerasi lengan bintang laut. Dengan adanya struktur inti yang tetap berdiri kokoh untuk mempermudah proses penggantian material bambu.

**III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Material yang digunakan dalam objek rancang digunakan material terbarukan yang dapat dengan mudah diperoleh sehingga dipilih material yang paling banyak tersedia pada lahan dan daerah sekitarnya. Setelah dilakukan survei lahan dan wawancara dengan warga, material bambu dipilih untuk material utama dari bangunan. Bambu merupakan material struktur bangunan tempat tinggal yang menjanjikan untuk masa depan dengan keunggulannya yang dapat diperbaharui [8]. Hasil dari identifikasi pada Desa Gandri, didapatkan 3 jenis bamboo yang paling banyak. Bambu tersebut adalah bambu apus, bambu ori, dan bambu petung (Gambar 11).

Di Indonesia ada 5 spesies bambu yang tahan jamur dan cocok sebagai material konstruksi, 2 diantaranya adalah Bambu Apus dan Bambu Petung [9]. Jenis bambu akan sangat mempengaruhi besarnya kekuatan dan juga kegunaan [10-11]. Kekuatan atau sifat mekanis bambu secara umum



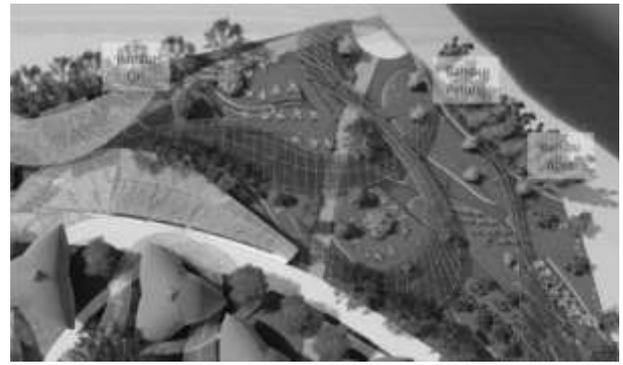
Gambar 16. Aksonometri struktur dan material bangunan masjid.



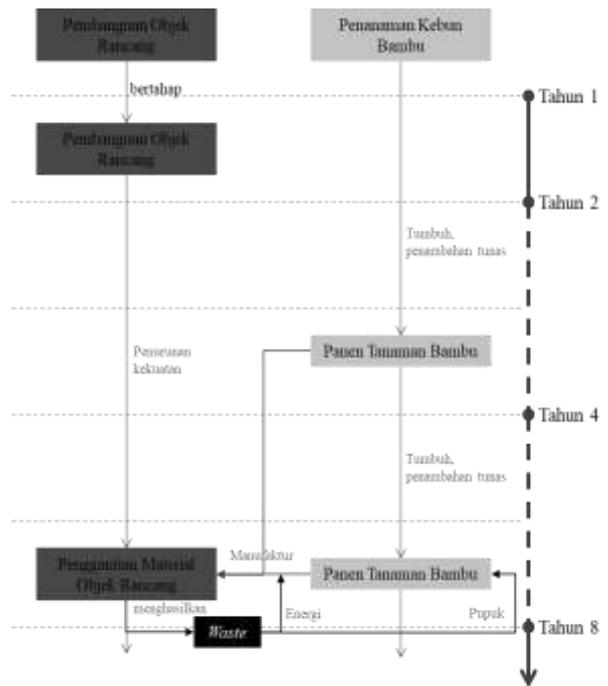
Gambar 17. Bambu sebagai tanaman pencegah erosi yang banyak ditanam di pinggir sungai.

tergantung pada beberapa faktor, yaitu jenis bambu, umur bambu pada waktu penebangan, kelembaban batang bambu, bagian batang (kaki, pertengahan, atau kepala), posisi dan jarak ruas (bagian ruas tahan terhadap gaya tekan dan lentur). Jenis dan karakteristik bambu dapat dilihat pada Tabel 1 dan sifat mekanis bambu pada Tabel 2 [12-14]. Bambu yang digunakan untuk konstruksi adalah bambu kering dengan kadar air  $\leq 14\%$  [15].

Berdasarkan sifat mekanisnya, yaitu kuat Tarik, kuat tekan, kuat geser dan kuat lentur, setiap jenis bamboo digunakan untuk bagian objek rancang yang berbeda-beda. Bambu apus yang memiliki kuat lentur yang tinggi digunakan untuk struktur yang melengkung. Sedangkan bambu ori yang memiliki jarak ruas yang pendek, digunakan untuk kerangka dari struktur cangkang bambu, jajaran bambu untuk penutup atap, dan bambu laminasi untuk lantai-dinding, serta elemen pelengkap seperti pintu, fasad anyaman, dan lain-lain. Untuk bambu petung yang memiliki diameter yang besar, dan juga kuat tarik yang besar digunakan untuk material struktur kolom pada bangunan hunian. Pada kolom bangunan hunian ini akan terdapat kolom yang melengkung (bambu apus) dan tegak (bambu petung) yang pada dasarnya diikat menjadi satu



Gambar 14. Peta persebaran tanaman bambu pada objek rancang perumahan *permatecture*.



Gambar 15. Diagram *life cycle* dari material terbarukan yaitu bambu secara berkelanjutan.

untuk membentuk satu kesatuan struktur. Kemudian ditambahkan material pendukung lainnya (Gambar 12- Gambar 14). Penggunaan material bambu dapat menciptakan bentuk melengkung yang menyerupai pola alam.

Bambu merupakan material alam organik yang memiliki nilai kuat tarik dan lentur yang cukup tinggi. Meskipun bambu memiliki banyak keunggulan, bambu juga memiliki kendala untuk pemanfaatannya. Pertama, bambu mudah terserang jamur, rayap dan terutama kumbang bubuk sehingga cenderung tidak awet. Kemudian, bambu juga sangat dipengaruhi oleh kelembaban di sekelilingnya. Jika bambu tidak terlindung, maka akan mengalami penurunan kekuatan. Dapat disimpulkan, permasalahan utama dari material bambu adalah umur bambu yang relatif pendek karena adanya serangan biologis dan iklim. Perlu adanya proses pengawetan dan penggantian material bambu secara berkala. Pengawetan dilakukan setelah bambu dipanen. Beberapa cara pengawetan telah diteliti, salah satunya dengan cara merendam bambu di larutan boraks [16].

Proses penggantian material secara berkala dilakukan 8 tahun sekali. Hal ini dikarenakan selama 12 bulan, kekuatan mekanis dari bambu akan berkurang sebanyak 6.7% dari kekuatan awal (Tabel 3). Dengan safety factor untuk

bangunan yaitu 50-40% kekuatan material. Dan didapatkan dari data pada tahun ke-8, kuat tarik bambu tersisa hanya 45% dari kekuatan awal sehingga perlu adanya penggantian material tersebut pada tahun ke-8 setelah pembangunan. Bangunan dirancang dengan metode biomimikri, yaitu dengan melihat bangunan sebagai seekor bintang laut yang dapat menumbuhkan lengan yang terpotong selama inti tubuhnya tidak rusak. Bangunan akan memiliki inti dari beton bertulang, dan bagian pendukungnya berasal dari bambu. Penggunaan inti struktur beton tersebut untuk mempermudah proses substitusi material baru sehingga tidak mengganggu aktivitas pengguna (Gambar 12-Gambar 14).

Tanaman bambu memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap kadar karbon di udara sehingga sangat mempengaruhi iklim global [17]. Hutan bambu dapat mengurangi kadar karbon global dan menghindari pemanasan global. Di Provinsi Fujian, Cina, terdapat hutan bambu spesies edulis dan diukur pengaruhnya terhadap densitas carbon dan cadangan carbon serta produksi oksigen [18]. Bambu merupakan penghasil oksigen paling besar dibanding pohon lain (kemampuan fotosintesisnya 35% lebih cepat), daya serap karbon yang cukup tinggi, kemampuan yang cukup baik dalam memperbaiki lahan kritis, serta akar yang mampu mencegah erosi (Gambar 15). Selain itu, bambu juga dapat menyerap air hingga 90%. Oleh karena itu, bambu ditanam pada daerah marginal dekat sungai dimana terdapat kontur tanah yang lebih rendah [19]. Hal ini bertujuan untuk mencegah erosi dan mengikat air. Sehingga, secara tidak sengaja keseimbangan siklus hidrologi juga ikut terjaga. Pada lahan disebar lokasi untuk menanam Bambu Apus, Bambu Petung, dan Bambu Ori. Dimana Bambu Apus dan Bambu Petung diletakkan di daerah marginal dekat sungai, sedangkan Bambu Ori diletakkan di daerah marginal sebelah timur lahan. Bambu Apus memiliki daerah tanam seluas 38 m<sup>2</sup>, Bambu Ori dengan daerah tanam seluas 62 m<sup>2</sup>, dan Bambu Petung dengan daerah tanam seluas 30 m<sup>2</sup> (Gambar 16) [20].

Semakin tua umur bambu maka batang bambu semakin kuat, semakin tinggi akan semakin kuat dan pada ketinggian tertentu akan berkurang secara teratur [21-23]. Dari simpulan tersebut, bambu harus dipanen pada panjang maksimumnya. Bambu memiliki kecepatan pertumbuhan tercepat. Dari beberapa hasil penelitian, kecepatan pertumbuhan bamboo dapat mencapai ketinggian maksimum 15 sampai 30 meter dalam waktu 2 sampai 4 bulan dengan rata-rata pertumbuhan sekitar 20-100 cm per hari dan diameter 5-15 cm, tergantung dari jenisnya [22].

Untuk bambu layak konstruksi (Ori, Betung, Jawa) memiliki kecepatan pertumbuhan sekitar 15-30 cm perhari mulai hari ke  $\pm 7$  hingga hari ke  $\pm 60$  dan akan mencapai tinggi maksimal pada usia 3 sampai 4 bulan setelah tunas baru muncul [23]. Dari awal penanaman, bambu hanya memerlukan waktu 3-5 tahun untuk dapat dimanfaatkan sebagai bahan konstruksi bangunan. Pada objek rancang akan terbentuk siklus dari material bambu sehingga pemanfaatannya dapat berkelanjutan (Gambar 17). Dalam pembangunannya sendiri dilakukan secara bertahap sehingga pada saat penggantian material tidak akan dilakukan bersamaan. Tanaman bambu yang ada pada lahan akan rutin dipanen untuk memenuhi kebutuhan material pengganti.

#### IV. KESIMPULAN

Material bambu yang banyak ditemukan pada lahan digunakan untuk material utama bangunan. Setiap jenis bambu (apus, ori, petung) akan digunakan untuk kebutuhan yang berbeda-beda berdasarkan karakteristik dan sifat mekanisnya. Bambu apus digunakan untuk kolom yang membutuhkan kuat lentur (melengkung), bambu petung untuk kolom tegak, dan bambu ori untuk ornamen seperti fasad, pintu, dinding, dan lainnya. Penggunaan material bambu menciptakan bentuk yang menyerupai pola alam, yaitu melengkung dan jarang memiliki sudut. Hal ini sangat terlihat pada 3 bangunan utama, yaitu bangunan komunal, masjid, dan hunian. Bambu sebagai material terbarukan merupakan elemen organik (*biological nutrient*) yang tidak tahan terhadap serangan biologis dan iklim sehingga perlu adanya penggantian material setiap 8 tahun sekali. Desain bangunan mengadopsi sifat bintang laut yang dapat menumbuhkan lengannya. Bangunan dirancang memiliki inti struktur beton yang kokoh agar mempermudah proses substitusi material bambu. Untuk memenuhi kebutuhan pengadaan material pengganti tersebut, tanaman bambu juga akan ditanam pada lahan, yaitu pada daerah dekat sungai. Setiap 4 tahun sekali tanaman bambu akan dipanen untuk menjadi material pengganti bangunan. Sehingga material bangunan menjadi lebih berkelanjutan untuk masa mendatang.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Chang, R. J. Ries, and Y. Wang, "The embodied energy and environmental emissions of construction projects in china: an economic input-output LCA model," *Energy Policy*, vol. 38, no. 11, 2010, doi: 10.1016/j.enpol.2010.06.030.
- [2] C. Thormark, "A low energy building in a life cycle - Its embodied energy, energy need for operation and recycling potential," *Build. Environ.*, vol. 37, no. 4, 2002, doi: 10.1016/S0360-1323(01)00033-6.
- [3] W. McDonough and M. Braungart, *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*, 1st ed. New York: North Point Press, 2002.
- [4] A. Sibley, "An unconventional approach to sustainability," *New Zeal. Manag.*, vol. 58, no. 9, 2011.
- [5] L. H. Lovins, *Rethinking Production*, 25th ed. Perancis: Routledge, 2008.
- [6] T. Fan, X. Fan, Y. Du, W. Sun, S. Zhang, and J. Li, "Patterns and cellular mechanisms of arm regeneration in adult starfish *asterias rollestoni* bell," *J. Ocean Univ. China*, vol. 10, no. 3, pp. 255-262, Sep. 2011, doi: 10.1007/S11802-011-1837-Y.
- [7] Y. Ben Khadra *et al.*, "Re-growth, morphogenesis, and differentiation during starfish arm regeneration," *Wound Repair Regen.*, vol. 23, no. 4, 2015, doi: 10.1111/wrr.12336.
- [8] D. Yu, H. Tan, and Y. Ruan, "A future bamboo-structure residential building prototype in China: Life cycle assessment of energy use and carbon emissi," *Energy Build.*, vol. 43, no. 10, 2011, doi: 10.1016/j.enbuild.2011.06.013.
- [9] S. Suprpti, "Decay resistance of five Indonesian species bamboo species against fungi," *J. Trop. For. Sci.*, vol. 22, no. 3, pp. 287-294, 2010.
- [10] S. Li, M. Ramakrishnan, K. K. Vinod, R. Kalendar, K. Yrjälä, and M. Zhou, "Development and deployment of high-throughput retrotransposon-based markers reveal genetic diversity and population structure of asian bamboo," *Forests*, vol. 11, no. 1, 2020, doi: 10.3390/f11010031.
- [11] D. C. Franklin, "Taxonomic interpretations of Australian native bamboos (Poaceae: Bambuseae) and their biogeographic implications," *Telopea*, vol. 12, no. 2, 2008, doi: 10.7751/telopea20085809.
- [12] D. Putri and A. Masdar, "Tinjauan kekuatan ranting bambu ori sebagai konektor pada sambungan struktur kuda-kuda bambu," *J. Forum Mek.*, vol. 3 No. 2, 2016.
- [13] E. R. Putri, "Pricing Financial Derivatives," in *International Conference Mathematics Pure, Applied, and Computation (ICOMPAC)*, 2016, p. 42.
- [14] E. Suriani, "A Study of the Physical-Mechanical Properties of Bamboo

- in Indonesia,” in *Proceedings of the Built Environment, Science and Technology International Conference*, 2018, pp. 154–162, doi: 10.5220/0008904601540162.
- [15] S. Dransfield, *Plant Resources of South-East Asia*, 1st ed. Leiden: Backhuys, 1995.
- [16] S. Handayani, “Pengujian sifat mekanik bambu (metode pengawetan dengan boraks),” *J. Tek. Sipil Perenc.*, vol. 1, no. 9, 2007.
- [17] H. Chen, M. Miao, and X. Ding, “Influence of moisture absorption on the interfacial strength of bamboo/vinyl ester composites,” *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 40, no. 12, 2009, doi: 10.1016/j.compositesa.2009.09.003.
- [18] L. H. Qi, G. L. Liu, S. H. Fan, X. H. Yue, H. Zhang, and M. Y. Du, “Effects of different tending measures on carbon density, storage, and allocation pattern of *Phyllostachy edulis* forests in western Fujian Province,” *Chinese J. Ecol.*, vol. 28, no. 8, 2009.
- [19] Saefudin, E. Basri, and N. Hadjib, “Pengaruh umur, posisi batang dan tingkat kekeringan terhadap sifat fisik dan kualitas pengeringan bambu andong,” *J. Penelit. Has. Hutan*, vol. 26 No. 4, pp. 289–298, 2008.
- [20] D. J. F. Correal and C. Juliana Arbeláez, “Influence of age and height position on colombian *Guadua angustifolia* bamboo mechanical properties,” *Maderas Cienc. y Tecnol.*, vol. 12, no. 2, 2010, doi: 10.4067/S0718-221X2010000200005.
- [21] M. R. Wakchaure and S. Y. Kute, “Effect of moisture content on physical and mechanical properties of bamboo,” *Asian J. Civ. Eng.*, vol. 13, no. 6, 2012.
- [22] D. Farrelly, *The Book of Bamboo; The Sierra Club*, 1st ed. United States of America: Sierra Club Books, 1984.
- [23] W. K. Chen, P. C. Chen, K. M. Liu, and S. Bin Wang, “Age and growth estimates of the whitespotted bamboo shark, *Chiloscyllium plagiosum*, in the northern waters of Taiwan,” *Zool. Stud.*, vol. 46, no. 1, 2007.