

Potensi Rekayasa Kayu Pada Bangunan *Green Architecture*

I Putu Wikan Pithamaha¹, Cindy Avisha Khurniawan², I Made Pande Gosha Primayoga³, Nyoman Ratih Prabandari, I Gede Surya Darmawan⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Arsitektur, Universitas Warmadewa, Jl. Terompong No. 24, Denpasar, Indonesia
e-mail: wikanpithamaha03@gmail.com¹

How to cite (in APA style):

Pithamaha, I P.W., Khurniawan, C.A., Primayoga, I M.P.G., Prabandari, N.R., Darmawan, I G.S. (2021). Potensi Rekayasa Kayu Pada Bangunan Green Architecture. *Undagi: Jurnal Ilmiah Arsitektur Universitas Warmadewa*. V Special Issue Kampus Merdeka pp.71-78.

ABSTRACT

Environmental problems, notably global warming, have recently emerged as a source of concern. In the world of architecture, there is a phenomenon known as "sick building syndrome," which refers to health and discomfort issues caused by poor air quality and air pollution in an occupied building, which affects residential productivity. There is also a lack of natural lighting and poor air ventilation. In addition to the existence of global warming, the development or invention of renewable energy becomes the impetus for the development of green buildings. As more people become interested in green building, timber materials become a viable option for creating a long-lasting structure. Wood has long been regarded as a sustainable material and a renewable resource. Wood may be protected in the forest by collecting naturally growing wood resources and following harvesting standards. Eco - friendly construction materials are required to decrease energy consumption, emissions, and trash or garbage in order to maintain a healthy and comfortable environment on the planet.

Keywords: *Green Architecture; Wood; Engineered Wood*

ABSTRAK

Permasalahan lingkungan khususnya pemanasan global menjadi topik permasalahan yang mencuat akhir-akhir ini. Dalam dunia arsitektur muncul fenomena sick building syndrome yaitu permasalahan kesehatan dan ketidaknyamanan karena kualitas udara dan polusi udara dalam bangunan yang ditempati yang mempengaruhi produktivitas penghuni, adanya ventilasi udara yang buruk, dan pencahayaan alami kurang. Selain karna adanya pemanasan global, penciptaan atau inovasi energi yang terbarukan juga menjadi latar belakang timbulnya konsep green architecture. Meningkatnya peminat bangunan hijau ini menjadikan material kayu sebagai solusi dan juga menjadikannya struktur berkelanjutan. Kayu telah diakui sebagai material berkelanjutan dan dianggap menjadi sumber daya terbarukan. Material kayu yang tumbuh secara alami dan dengan adanya standar dalam memanen kayu secara berkelanjutan dapat melestarikan hutan. Bahan bangunan yang ramah lingkungan sangat dibutuhkan untuk mengurangi konsumsi energi, emisi maupun sampah atau limbah agar terciptanya bumi yang sehat dan nyaman.

Kata kunci: *Green Architecture; Kayu; Rekayasa Kayu*

PENDAHULUAN

Permasalahan lingkungan khususnya pemanasan global menjadi topik permasalahan yang mencuat akhir-akhir ini. Dalam dunia

arsitektur muncul fenomena sick building syndrome yaitu permasalahan kesehatan dan ketidaknyamanan karena kualitas udara dan polusi udara dalam bangunan yang ditempati yang mempengaruhi produktivitas penghuni, adanya ventilasi udara yang buruk, dan

pencahayaan alami kurang. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal, misalnya: emisi ozon mesin fotocopy, polusi dari perabot dan panel kayu, asap rokok, dsb.

Menurut World Health Organisation (WHO), 30% bangunan gedung di dunia mengalami masalah kualitas udara dalam ruangan. Untuk itu muncul adanya konsep green architecture yaitu pendekatan perencanaan arsitektur yang berusaha meminimalisasi berbagai pengaruh membahayakan pada kesehatan manusia dan lingkungan. Konsep green architecture ini memiliki beberapa manfaat diantaranya bangunan lebih tahan lama, hemat energi, perawatan bangunan lebih minimal, lebih nyaman ditinggali, serta lebih sehat bagi penghuni. Konsep green architecture memberi kontribusi pada masalah lingkungan khususnya pemanasan global. Apalagi bangunan adalah penghasil terbesar lebih dari 30% emisi global karbon dioksida sebagai salah satu penyebab pemanasan global.

Dalam ilmu arsitektur, pengetahuan akan material bangunan sangatlah penting. Pemilihan material yang tepat dapat meningkatkan kualitas lingkungan, mengurangi pemanasan global, dan memberikan kenyamanan paada penghuni bangunan itu sendiri. Umumnya material bangunan alam lebih banyak digunakan. Salah satu material alam yang sering digunakan yaitu kayu. Material kayu ini sudah tergolong dalam green materials. Selain itu material kayu juga dapat mengurangi tingkat panas yang disebabkan oleh cuaca di daerah tropis. Umumnya bangunan-bangunan modern telah banyak menggunakan kayu rekayasa sebagai material bangunannya, meski demikian masih ada bangunan yang menggunakan kayu solid. Rekayasa kayu ini menjadikan kayu lebih kuat dari sebelumnya. Penelitian ini dibuat bertujuan agar penulis dan pembaca dapat lebih memahami apa itu Green Architecture dan Rekayasa Kayu.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan untuk mengumpulkan data potensi rekayasa kayu pada bangunan green architecture adalah menggunakan Studi Literatur. Studi literatur

merupakan tahapan yang dilakukan dengan mengumpulkan data dan mencari beberapa sumber dan referensi terkait fasilitas dengan fungsi terkait melalui buku (e-books), makalah maupun situs dan jurnal online yang dapat diakses dan memiliki pengertian, dan aspek aspek yang terkait dengan potensi rekayasa kayu pada bangunan green architecture. Yang kemudian akan dikompilasi dalam bentuk uraian deskripsi, tabel dan foto. Sesuai dengan tingkatan, spesifikasi dan kegunaannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Green Architecture

Green Architecture merupakan sebuah konsep arsitektur yang memiliki upaya meminimalkan pengaruh buruk terhadap lingkungan alam maupun manusia dan menghasilkan tempat hidup yang lebih baik dan lebih sehat, yang dilakukan dengan cara memanfaatkan sumber energi dan sumber daya alam secara efisien dan optimal. Konsep green architecture ini memiliki beberapa manfaat diantaranya bangunan lebih tahan lama, hemat energi, perawatan bangunan lebih minimal, lebih nyaman ditinggali, serta lebih sehat bagi penghuni. Konsep green architecture memberi kontribusi pada masalah lingkungan khususnya pemanasan global.



Gambar 1

Pavillion Singapura di Expo Dubai 2020
(Sumber: Archdaily, 2020)

Bangunan merupakan penghasil terbesar lebih dari 30% emisi global karbon dioksida sebagai salah satu penyebab pemanasan global. Konsep 'green' juga dapat diaplikasikan pada pengurangan penggunaan energy (misalnya

energi listrik), low energy house dan zero energy building dengan memaksimalkan penutup bangunan (building envelope). Penggunaan energy terbarukan seperti energi matahari, air, biomass, dan pengolahan limbah menjadi energi juga patut diperhitungkan. Dari pengertian diatas, Green Architecture sangat berpengaruh penting terhadap kehidupan manusia, baik di masa lampau, sekarang terutama akan datang.

Salah satu penerapan dari Green Architecture ini yaitu penggunaan material kayu, karena kayu dapat meredam panas dengan kondisi cuaca daerah tropis. Kayu menghasilkan emisi gas rumah kaca yang lebih rendah, polusi udara dan air yang lebih sedikit dan penggunaan sumber daya ekologis yang lebih sedikit dari material bangunan lainnya.

Kayu merupakan bahan alam yang dapat digunakan sebagai material bangunan yang telah digunakan sejak jaman dahulu seperti contohnya pada bangunan tradisional yang ada di Indonesia ini. Bahan yang sangat serbaguna ini biasanya digunakan untuk membangun rumah seperti pada konstruksinya, selain itu juga digunakan sebagai tempat penampungan, perahu dan digunakan juga dalam industry furniture dan dekorasi rumah. Kekuatan kayu dalam menahan kuan mekanis dari luar terhadap kayu yang membuat material ini digunakan dari jaman dulu.

2. Kayu Rekayasa (Engineered Wood)

Perkembangan teknologi yang semakin meningkat, membuat manusia menjadi semakin tertantang untuk dapat mengembangkan hal – hal baru yang hasilnya akan mempunyai nilai lebih dari penemuan sebelumnya. Material komposit merupakan salah satu jenis perkembangan teknologi, yang dilakukan dengan cara menggabungkan dua atau lebih material yang berbeda dalam skala makroskopis. Rekayasa material komposit bertujuan untuk mendapatkan material baru yang mempunyai sifat lebih baik dari sifat sebelumnya. Adapun sifat-sifat yang dapat diperbaiki antara lain: kekuatan, kekakuan, berat jenis, fatigue life, ketahanan gesek, ketahanan korosi dan beberapa sifat lain yang lebih baik dari sifat sebelumnya (Jones, 1999).

Kayu olahan sering dikenal sebagai engineering wood yang merupakan upaya untuk memaksimalkan pemanfaatan kayu yang dibuat di pabrik, yang didesain dan dibentuk dengan tujuan tertentu agar mencapai sifat dan kekuatan structural yang diinginkan. Engineered wood atau kayu rekayasa sangat maju dan banyak digunakan di negara-negara seperti Kanada, Australia, New Zealand Amerika Serikat dan banyak negara di Eropa. Umumnya bangunan modern masa kini banyak menggunakan kayu rekayasa sebagai material dari bangunannya. Karena penggunaan kayu rekayasa ini memiliki desain, kekuatan structural, sifat ataupun bentuknya yang sesuai dengan kebutuhan dari pengguna kayu.

Kuzman & Groselj (2012) yang menganalisa berbagai macam bahan konstruksi bangunan bersama para ahli teknologi kayu, arsitektur dan konstruksi bangunan menyimpulkan bahwa konstruksi dari kayu olahan (engineered wood) diposisikan sebagai prioritas utama dari berbagai macam tipe konstruksi. Hasil analisa menunjukkan bahwa kapasitas menahan beban, ketahanan api, desain, energi terikat, biaya konstruksi, lama waktu konstruksi dan juga kualitas tempat tinggal dari bahan kayu lebih unggul dibandingkan dengan bahan yang lainnya.

Tabel 1. Perbandingan Kayu Solid dan Kayu Rekayasa

NO	Jenis Kayu	Kelebihan	Kekurangan
1	Kayu Solid	<ul style="list-style-type: none"> ○ Murah dan mudah dikerjakan ○ Mempunyai kekuatan yang tinggi dan bobot yang rendah ○ Mempunyai daya penahan terhadap aliran listrik (bersifat isolasi) ○ Bersifat elastis. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Terdapat banyak cacat pada kayu ○ Mudah terbakar ○ Mudah berubah bentuk ○ Terjadi lendutan yang cukup besar.
2	Rekayasa Kayu	<ul style="list-style-type: none"> ○ Tersedia beragam ukuran ○ Memiliki sifat yang lebih stabil 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Membutuhkan banyak energy primer dalam pembuatannya

	<ul style="list-style-type: none"> ○ Lebih efisien dan mudah dikerjakan ○ Mudah dikerjakan dengan menggunakan alat biasa dan keterampilan dasar 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Perekat yang digunakan dapat mengandung racun.
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------

Penggunaan kayu sebagai bahan bangunan tidak hanya memberikan keuntungan bagi pemilik bangunan akan tetapi juga bagi lingkungan.

3. Kelebihan dan Kekurangan Kayu

Kelebihan kayu sebagai bahan bangunan :

- Mudah dikerjakan, didesain dan tahan lama
Kayu telah dimanfaatkan untuk berbagai macam keperluan dalam konstruksi bangunan karena kayu mudah untuk dibentuk dan fleksibel, bahan konstruksi yang kuat secara struktural dan cocok untuk berbagai macam aplikasi seperti rangka, atap, lantai dan finishing (Joseph & TretsiakovaMcNally, 2010).
- Energi Efisiensi tinggi
Kayu sebagai bahan konstruksi utama mempunyai biaya energi yang lebih rendah selama masa pakai bangunan. Pengaturan suhu ruangan menentukan besarnya penggunaan energi sebuah bangunan. Memanfaatkan dengan tepat ventilasi udara pada atap dan lantai, pemanfaatan penempatan dinding dan jendela yang tepat akan memberikan ruang pertukaran udara yang alami dan menjadikan bangunan lebih nyaman untuk ditempati sepanjang tahun
- Potensi Pemanasan Global Rendah
Lippke & Edmonds (2006) berpendapat bahwa kayu menggunakan lebih sedikit bahan baku, bahan bakar fosil dan berkontribusi terhadap global warming melalui emisi gas rumah kaca jauh lebih sedikit. Penggunaan kayu sebagai bahan baku konstruksi pada bangunan membutuhkan energi lebih sedikit, menghasilkan emisi yang lebih rendah dan mengurangi jejak karbon tanpa

mengorbankan aspek kesehatan dan keamanan (Kuzman & Groselj, 2012)

- Material Terbarukan dan Dapat Dipakai Kembali
Kayu termasuk sumber daya alam yang dapat diperbaharui. Kayu yang digunakan untuk keperluan bahan bangunan harus dipanen dari hutan yang dikelola secara lestari. Pemanfaatan kayu yang jelas lacak balaknya akan mempertegas kelestarian bahan baku kayu yang digunakan.
- Energi Terkandung (Embodied Energy) Rendah
Energi terikat pada kayu lebih rendah dibandingkan dengan bahan bangunan yang lain. Lippke & Edmonds (2006) mengatakan bahwa kayu untuk dinding dan lantai lebih efisien dalam penggunaan bahan baku dibandingkan dengan baja dan beton. Bangunan dengan bahan baku kayu mempunyai kesetimbangan energi sebesar (-1.110) GJ yang menunjukkan bahwa lebih banyak energi dihasilkan dibandingkan yang dibutuhkan selama proses pembuatannya. Hal ini berbeda dengan bangunan dari beton yang membutuhkan energi 260 GJ (Gustavsson & Sathre, 2006).

Sedangkan kekurangan atau kelemahan material kayu diantaranya adalah:

- Tidak tahan api, sehingga material kayu mudah terbakar, terlebih lagi saat dalam kondisi kering.
- Kayu tidak dapat dimanfaatkan secara keseluruhan sehingga sisa penggunaan kayu hanya menjadi limbah.
- Untuk pekerjaan tertentu (yang besar atau lebar), kayu tidak bisa menutup secara keseluruhan karena terbatasnya diameter kayu. Untuk menyikapi hal tersebut maka dilakukanlah rekayasa kayu.
- Kayu mudah diserang oleh serangga pemakan kayu seperti rayap atau serangga lainnya, sehingga dalam penggunaannya harus mendapat penanganan khusus agar tidak mudah diserang rayap.
- Kayu mengandung air dan berpengaruh besar terhadap bentuk kayu. Kayu yang belum kering biasanya masih mengalami penyusutan atau perubahan bentuk, oleh

karena itu kayu harus dikeringkan sebelum digunakan.

- Kayu bersifat higroskopis, dan sensitif terhadap kelembaban

4. Material Rekayasa Kayu CLT

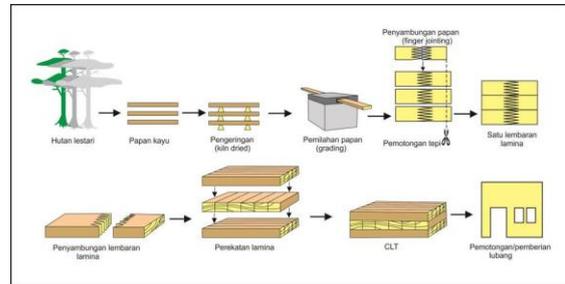
CLT merupakan material kayu berteknologi tinggi yang dapat digunakan sebagai pengganti struktur baja dan semen yang biasa digunakan pada bangunan gedung pada umumnya.



Gambar 2
Material CLT (Cross Laminated Timber)
(Sumber: Archello.com)

CLT ini dapat mencapai ketebalan setengah kaki. CLT dibuat dengan meletakkan kayu secara paralel satu dengan yang lain dan menyatukannya dengan perekat sehingga terbentuk suatu material yang mempunyai kekuatan seperti baja. Beberapa insinyur menyebutnya sebagai ‘plywood on steroid’. Bangunan tinggi yang terbuat CLT pertama kali dibangun pada tahun 2009 adalah Stadhaus di Prince George, British Columbia. Cross laminated timber secara teori mirip dengan produk kayu rekayasa lainnya seperti plywood dan glulam yang mempunyai ukuran besar. CLT merupakan bahan bangunan prafabrikasi, artinya CLT diproduksi sesuai dengan bentuk dan kebutuhan di lapangan. ANSI/APA PRG 320 (2012) mendefinisikan CLT sebagai bahan kayu rekayasa yang diprafabrikasi dan terbuat dari paling sedikit tiga lapisan kayu yang direkatkan secara saling silang dan membentuk bahan yang kuat untuk digunakan sebagai bahan atap, lantai dan dinding. Pembangunan dengan menggunakan CLT mempunyai beberapa kelebihan diantaranya: presisi tinggi, cepat dalam konstruksi karena semua bahan telah difabrikasi dan disusun di pabrik, daerah

konstruksi yang kering, dan material yang digunakan sedikit.



Gambar 3
Proses Produksi CLT (Cross Laminated Timber)
(Sumber: Jurnal Riset Industri Hasil Hutan, 2017)

Perbandingan harga CLT dengan kayu rekayasa lainnya menurut UNECE 2016, Perbandingan harga CLT cukup jauh dengan produk kayu rekayasa lainnya. Untuk plywood^a memiliki harga \$462,5/m³, Glulam^a \$474/m³, Particle board^a \$165,33/m³, sedangkan untuk CLT^b memiliki harga \$587,63/m³. Walaupun memiliki harga yang cukup mahal dibanding kayu rekayasa lainnya, tetapi kayu rekayasa jenis ini memiliki kualitas yang lebih baik di bandingkan dengan jenis kayu rekayasa lainnya.

Salah satu contoh bangunan yang menerapkan material kayu rekayasa yaitu ada pada bangunan apartemen sepuluh tingkat bernama Forté di Dockland, Melbourne Victoria, Australia (Risen, 2014).



Gambar 4
Apartemen Forte, Melbourne Victoria, Australia
(Sumber: Jurnal Riset Industri Hasil Hutan, 2017)

Apartemen yang dikembangkan oleh Lend Lease ini terbuat dari material kayu berteknologi

tinggi yang disebut cross laminated timber (CLT). Forte terdiri dari 759 panel CLT cemara Eropa (*picea abies*) dengan berat total 485 ton.

5. Perkembangan CLT di Indonesia

Pada mulanya CLT berkembang di Eropa dan dapat diterima pasar di dunia sejak pertama kali dikenalkan pada 20 tahun lalu. Perkembangan CLT di Indonesia masih tergolong baru. Woodlam Indonesia mengklaim sebagai produsen CLT pertama di Indonesia (Woodlam Indonesia, 2017). Woodlam memproduksi CLT dari hutan tanaman yang bersertifikasi, sehingga kelestariannya terjamin. Sebuah perusahaan lain bernama Indobamboo juga memproduksi cross laminated timber dengan berbagai variasi bahan core yang dikombinasi dengan venir bambu (Indobamboo, 2017). Indobamboo merupakan sebuah perusahaan yang fokus pada produk-produk inovasi dari bambu yang terletak di Bali, Indonesia. Penggunaan CLT sebagai bahan bangunan di Indonesia sendiri belum cukup populer. Penelitian dan pengembangan CLT perlu lebih banyak dilakukan, misalnya dalam pemanfaatan spesies lokal sebagai bahan baku serta sifat fisik dan mekaniknya; kesesuaian bahan dengan iklim Indonesia dengan tingkat kelembaban tinggi serta wilayah yang sangat rawan dengan gempa. Apabila belajar dari sejarah CLT di wilayah Eropa dan Amerika Serikat, kendala dalam adopsi CLT juga disebabkan oleh kurangnya informasi terkait teknis pemakaian CLT sehingga sosialisasi dan penyebaran informasi.

6. Karakteristik CLT

CLT memiliki keunggulan karena CLT merupakan material terbarukan. CLT mampu menyamai standar pada bangunan yang menggunakan beton atau batu bata. CLT mempunyai sifat struktural yang dapat disejajarkan dengan beton, CLT tidak membutuhkan perawatan khusus. Selain itu CLT juga mudah dikerjakan dan dipotong, serta mempunyai energi terikat yang rendah, cocok untuk daerah rawan gempa, menyediakan pertukaran panas yang bagus, mempunyai sifat meredam suara dan tahan api (Wood Solutions, 2012). CLT juga mempunyai sifat kedap suara, kemampuan menahan panas dan pertukaran udara yang cukup baik (Weissensteiner & Barbu, 2013). CLT juga mampu untuk

dikombinasikan dengan berbagai bahan bangunan lain seperti kaca, baja, dan aluminium untuk keperluan arsitektural maupun desain (Macleod, 2013).

7. Contoh Bangunan

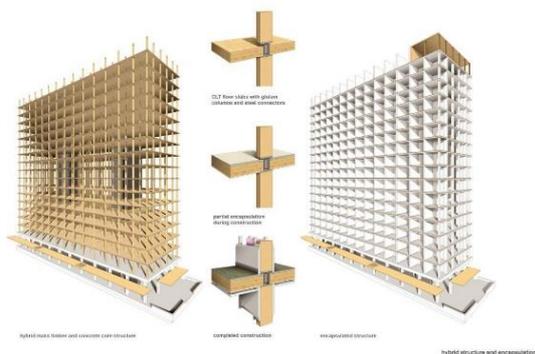
Brock Commons Tallwood House merupakan salah satu bangunan yang menerapkan penggunaan rekayasa pada bangunannya.



Gambar 5

Bangunan Brck Commons Tallwood House
(Sumber: Archdaily, 2017)

Bangunan kayu yang dikembangkan oleh University of Birtish Columbia ini bersifat institusional dan operasional bangunan kayu tersebut melibatkan Pusat Ilmu Kehutanan. Bangunan tersebut memiliki tinggi 53 meter yang terdiri dari 18 lantai dan diberi nama Brock Commons Tallwood House yang berada di Vancouver (University Of British Columbia). Bangunan yang dapat menampung 404 mahasiswa ini terdiri dari 101 unit kamar. Pada bangunan tersebut tersedia ruang belajar dan social, serta ruang kegiatan mahasiswa di lantai paling atas. Structural bangunan merupakan hibrida kayu secara massal. Pondasi, lantai dasar pelat lantai dua dan teras tangga terbuat dari beton. Dinding bangunan terbuat dari kayu glulam (GLT : Glued Laminated Timber), sedangkan bagan lantainya terbuat dari panel kayu lapis yang dilapisi secara menyilang (CLT : Cross Laminated Timber).



Gambar 6

Struktur Bangunan Brock Commons Tallwood House
(Sumber: Archdaily, 2017)

Struktur bangunan terdiri dari bahan bangunan prefabrikasi, yaitu panel rangka baja dengan lapisan kayu laminasi (University of British Columbia). Brock Commons Tallwood House adalah salah satu demonstrasi proyek yang didukung yang ditujukan untuk memajukan desain dan produksi produk kayu di Kanada dan menunjukkan bahwa kayu itu layak menjadi opsi structural untuk gedung gedung bertingkat tinggi. Konstruksi Brock Commons Tallwood House menunjukkan bahwa inovasi dari system structural hybrid kayu-massal layak secara ekonomi.

SIMPULAN

Green Architecture merupakan konsep arsitektur dalam upaya meminimalkan pengaruh buruk terhadap lingkungan alam maupun manusia dan menghasilkan tempat hidup yang lebih baik dan lebih sehat, yang dilakukan dengan cara memanfaatkan sumber energi dan sumber daya alam secara efisien dan optimal. Green Architecture itu mengacu pada struktur dan menggunakan proses yang bertanggung jawab terhadap lingkungan dan sumber daya yang efisien.

Karena cepatnya perkembangan teknologi manusia banyak menciptakan material-material baru yang disebut rekayasa material komposit. Material tersebut dibuat untuk mendapatkan material baru yang mempunyai sifat lebih baik

dari sifat sebelumnya. Salah satu jenis material komposit yaitu kayu olahan yang sering dikenal sebagai engineering wood. Hal tersebut dibuat dalam upaya memaksimalkan pemanfaatan kayu yang dibuat di pabrik, yang didesain dan dibentuk dengan tujuan tertentu agar mencapai sifat dan kekuatan structural yang diinginkan.

Rekayasa kayu ini banyak digunakan pada bangunan modern diberbagai negara seperti Kanada, Amerika Serikat, Australia, New Zealand. Kayu rekayasa banyak digunakan karena kayu ini memiliki desain, kekuatan structural, sifat ataupun bentuknya yang sesuai dengan kebutuhan dari pengguna kayu.

Penggunaan material kayu pada bangunan dapat memberikan hal-hal positif bagi pemilik dan lingkungan karena kayu memiliki sifat; mudah dikerjakan, tahan lama, energi efisiensi tinggi, potensi pemanasan global rendah, dan merupakan material terbarukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dewan redaksi mengucapkan banyak terimakasih kepada pihak yang telah membantu kami dalam penyusunan jurnal ini. Terimakasih kami ucapkan kepada :

1. KEMENDIKBUDRISTEK yang telah memberikan pendanaan terhadap program Kampus Merdeka.
2. Universitas Warmadewa yang telah memfasilitasi kami dengan baik.
3. Fakultas Teknik dan Perencanaan, khususnya program Studi Arsitektur.
4. Yth. Bapak I Nyoman Gede Maha Putra, S. T., M. Sc., Ph. D., selaku Lektor Fakultas Teknik dan Perencanaan, Universitas Warmadewa
5. Yth. Bapak A. A. Gede Raka Gunawarman, S. T., M. Sc. selaku Lektor Fakultas Teknik dan Perencanaan, Universitas Warmadewa
6. Yth. Bapak Ir. I Gede Surya Darmawan S.T., M. T., selaku dosen pengajar Kampus Merdeka
7. Yth. Bapak Km. Deddy Endra Prasandya, S. T., M. T. selaku dosen pembimbing dan pengajar Kampus Merdeka
8. Yth. Ibu Cokorda Arina selaku dosen pembimbing dari artikel
9. Pt. Sraya Bali Style selaku mitra dari Program Kampus Merdeka

DAFTAR PUSTAKA

- Ohannes Adhijoso Tjondro. (2014). Perkembangan dan Prospek Rekayasa Struktur Kayu di Indonesia.
- Ratri Yuli Lestari. (2016). Kayu sebagai Bahan Bangunan Gedung Bertingkat Tinggi yang Ramah Lingkungan. (Vol. 8, No. 2)
- James Rilatupa. (2019). Potensi Pemanfaatan Rekayasa Material Kayu Pada Bangunan Tinggi. (Vol. 1, No 1)
- Ferriawan Yudhanto. (2015). Pengaruh Perlakuan Alkali Pada Serat Agave dan Ketebalan Inti Terhadap Kekuatan Bending dan Impak Komposit Sandwich Serat Agave-Polyester dengan Inti Kayu Olahan (Engineering Wood).
- Soehartono, Bambang, Abduh, Moh. (2020). Bangunan Hemat Energi. eISSN 2527-6050
- Ariyuda, I Putu, Gede Maha Putra, I Nyoman, Meidayanti Mustika, Ni Wayan. (2021). Potensi Pengembangan Co-Housing Tipologi Hunian Masyarakat Milenial Dengan Strategi Pendekatan Arsitektur Tumbuh di Kota Denpasar. Undagi : *Jurnal Ilmiah Arsitektur Universitas Warmadewa*. 9 (1), pp. 76-84. <https://doi.org/10.22225/undagi.9.1.34> 92.76-84
- Sanjaya, I Putu Mahendra, Sugihantara, I Ketut, Dharmawan, I Gede Surya. (2021). Rancang Bangun Pusat Kuliner dan Pasar Ikan di Desa Ketewel, Kabupaten Gianyar. Undagi : *Jurnal Ilmiah Arsitektur Universitas Warmadewa*. 9 (1), pp. 58-65. <https://doi.org/10.22225/undagi.9.1.3512.58-65>
- Sudarwani, M. Maria. (2012). Penerapan Green Architecture dan Green Building Sebagai Upaya Pencapaian Sustainable Architecture. (Vol. 10, No. 24).