



EVALUASI KINERJA HIJAU *MATERIAL RESOURCES AND CYCLE (MRC)* PADA BANGUNAN KAYU MODULAR PRAFABRIKASI; STUDI KASUS BANGUNAN SEKOLAH ALAM BANDUNG

Permana⁽¹⁾, Dewi Larasati⁽¹⁾, Robby Dwiko Juliardi⁽¹⁾, Lily Tambunan⁽¹⁾, Fauzan Alfi Agirachman⁽¹⁾, DeJihan Sabrina⁽²⁾, Zahratul Wardah⁽²⁾, Adinda Salsabila⁽²⁾

Peneliti Kelompok Keahlian Teknologi Bangunan, Sekolah Arsitektur, Perencanaan, dan Pengembangan Kebijakan, Institut Teknologi Bandung ⁽²⁾ Mahasiswa, Program Studi Arsitektur – Sekolah Arsitektur, Perencanaan, dan Pengembangan Kebijakan, Institut Teknologi Bandung
E-mail: Penulis1@institusi.org, Penulis2@institusi.org

Informasi Naskah:

Diterima:
16 April 2023

Direvisi:
22 April 2023

Disetujui terbit:
25 Mei 2023

Diterbitkan:

Cetak:
29 Juni 2023

Online
29 Juni 2023

Abstract: Forest destruction in Indonesia reaches 3,800,000 ha per year, most of which are illegal logging. Construction contributes to the use of wood as a construction material, inefficiency in the use of wood as construction waste, especially in high-quality wood species with a long harvest life. Indonesia's total sawn timber production reaches 1.4 million m³ per year of strong wood types. Utilization of this wood can result in environmental damage. Therefore, efforts to use construction materials that are more environmentally friendly have been encouraged to develop. Including short-lived wood (five-year harvest period) or used wood materials (reuse/recycle). In order to increase the efficiency of material utilization and reduce waste, namely by using a modular prefabrication method. This paper will identify green performance on the "Material Resources and Cycle (MRC)" criteria. The object of study used in this evaluation is the modular wooden building of the Bandung Nature School classroom. The method used is field observation and performance assessment based on MRC criteria from the green-rating tool at the Green Building Council Indonesia (GBCI). The results showed that natural school buildings had a fairly good green performance in the MRC criteria. The results of this study are expected to become best practice in the use of sustainable low emission construction materials.

Keywords: Wooden construction, Modular, Material, Prefabricated, Resource, Recycle

Abstrak: Kerusakan hutan di Indonesia mencapai 3.800.000 ha per tahun yang sebagian besar adalah penebangan liar atau illegal logging. Konstruksi berkontribusi dalam penggunaan kayu sebagai salah satu material konstruksi, inefisiensi penggunaan material kayu sebagai limbah konstruksi khususnya pada jenis kayu kuliatas tinggi dengan umur panen yang lama. Produksi total kayu gergajian Indonesia mencapai 1.4 juta m³ per tahun pada tipe kayu kuat. Pemanfaatan kayu ini dapat berakibat pada kerusakan lingkungan. Oleh karena itu upaya pemanfaatan material konstruksi yang lebih ramah lingkungan mulai didorong pengembangannya. Termasuk kayu umur pendek (masa panen lima tahunan) atau material kayu bekas (*reuse/ recycle*). Dalam rangka peningkatan efisiensi pemanfaatan material dan pengurangan limbah yaitu dengan menggunakan metode prafabrikasi modular. Makalah ini akan mengidentifikasi kinerja hijau pada kriteria "Sumber dan Siklus Material" (*Material Resources and Cycle- MRC*). Obyek studi yang digunakan dalam evaluasi ini adalah bangunan kayu modular runag kelas Sekolah Alam Bandung. Metode yang digunakan adalah pengamatan lapangan dan penilaian kinerja berdasarkan kriteria MRC dari *green-rating tool* pada Green Building Council Indonesia (GBCI). Hasil penelitian menunjukkan bahwa bangunan sekolah alam memiliki kinerja hijau dalam kriteria MRC yang cukup baik. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi best practice dalam pemanfaatan material konstruksi rendah emisi berkelanjutan.

Kata Kunci: Konstruksi kayu, Modular, Material, Prafabrikasi, Resource, Recycle

PENDAHULUAN

Pembangunan suatu gedung memiliki dampak terhadap lingkungan karena prosesnya yang

bergantung pada sumber daya alam dan juga menghasilkan limbah yang dikembalikan lagi ke alam. Rosemary A. Colliver (2019) menunjukkan

bahwa negara maju seperti Amerika menghasilkan limbah konstruksi sebesar 31.5 juta ton per tahun. Sebagai negara yang sedang membangun, dimana konstruksi merupakan tulang punggung pembangunan, penggunaan material konstruksi dibutuhkan dalam jumlah besar. Pemanfaatan material ini berdampak pada lingkungan khususnya bila menggunakan material yang mengeluarkan emisi dalam jumlah besar atau menghasilkan limbah konstruksi yang besar.

Penggunaan material konstruksi yang dianggap dapat merusak lingkungan salah satunya adalah material kayu. Tingginya permintaan kayu untuk produksi konstruksi, kertas, dan barang lainnya menyebabkan deforestasi. Greenpeace sebagai salah satu LSM peduli lingkungan terbesar di dunia menyatakan bahwa kerusakan hutan di Indonesia mencapai 3.800.000 ha per tahun yang sebagian besar adalah penebangan liar atau illegal logging.

Selain itu, pada saat pasca konstruksi, terjadi penumpukan limbah konstruksi termasuk limbah kayu. Produksi total kayu gergajian Indonesia mencapai 2.6 juta m³ per tahun (Forestry Statistics of Indonesia 1997/1998). Dengan asumsi bahwa jumlah limbah yang terbentuk 54.24 persen dari produksi total maka dihasilkan limbah penggergajian sebanyak 1.4 juta m³ per tahun; angka ini cukup besar karena mencapai sekitar separuh dari produksi kayu gergajian. Berdasarkan data-data diatas dapat dilihat bahwa terdapat sebuah gap antara angka penebangan kayu yang perlu diseimbangkan dengan laju pertumbuhan pohon atau dalam kata lain perlu ditekan, dengan jumlah limbah konstruksi kayu yang terus diproduksi. Hal ini merupakan suatu ketimpangan antara hulu dan hilir dari siklus kayu di dunia konstruksi.

Di sisi lain, kayu sebetulnya salah satu material biomassa yang dapat menangkap karbon, khususnya pada kayu umur pendek atau kayu bekas dengan embodied energi yang rendah. Kayu dengan umur pendek memiliki kemampuan reproduksi dalam siklus yang pendek, atau sekitar 5 tahun. Pemanfaatan kayu umur pendek dengan metode prafabrikasi modular dianggap sebagai salah satu solusi penggunaan material berkelanjutan.

Yang dimaksud dengan sistem bangunan modular (SBM) adalah teknik konstruksi offsite, yang menggunakan unit prafabrikasi, diangkut, dan dirakit di lokasi (Rajanayagam et al., 2021). Terdapat tiga manfaat utama konstruksi modular: (1) kualitas lebih tinggi, (2) masa konstruksi lebih pendek, dan (3) metode bangunan ramah lingkungan (**Jang et al., 2022**). Sistem bangunan modular telah terbukti mengurangi limbah hingga 10–15%, dibandingkan dengan metode konstruksi konvensional.

Dibandingkan dengan bangunan tradisional, konstruksi prafabrikasi lebih “hijau” dalam proses

konstruksinya. (**Lv & Zhang, 2019**). Keunggulan prafabrikasi mencakup rencana proyek yang lebih singkat, penghematan biaya dalam proyek, produk yang lebih baik kualitas, dan pengurangan limbah. (**Zairul, 2021**). Hal ini mendukung ekonomi sirkular yang mengutamakan penghematan material dan pengurangan limbah. (**Minunno et al., 2018**) menyampaikan melalui prafabrikasi komponen bangunan juga dimungkinkan untuk mengatasi hambatan yang terkait dengan desain untuk pembongkaran, mendorong kemampuan beradaptasi, dan penggunaan kembali komponen.

Studi kasus bangunan serbaguna di sekolah alam Bandung menggunakan material kayu umur pendek dengan sistem modular dan metode membangun prafabrikasi. Makalah ini akan mengidentifikasi sejauh mana kinerja hijau dari pemanfaatan material kayu modular prafabrikasi ini. Dengan adanya hasil identifikasi ini diharapkan dapat diketahui best practice dalam penggunaan material konstruksi yang lebih berkelanjutan.

TINJUAN PUSTAKA

Gedung hijau dapat digabungkan dengan fitur keberlanjutan dalam sebuah desain dan konstruksi. Berdasarkan Green Building Workbook (An International guide for IDB practitioners (2012), terdapat empat tujuan utama pada pengembangan hijau yaitu untuk membuat bangunan yang sedikit menggunakan energi, tidak mahal untuk operasional, sekecil mungkin dampak dari sumber alami, dan membuat tempat bagi manusia untuk kerja dan tinggal dengan mendorong kesehatan dan produktivitas.

Bangunan memiliki beberapa syarat agar dapat dikatakan sebagai “Green Building”. Itu merupakan sebuah proses untuk menciptakan bangunan dan infrastruktur yang meminimalisir kegunaan sumbernya, mengurangi efek berbahaya pada lingkungan dan menciptakan lingkungan yang sehat bagi manusia.

Bangunan hijau diharapkan menunjukkan sebuah level tinggi dari lingkungan, ekonomi, dan kinerja rekayasa seperti berikut : (1) Efisiensi energi; (2) Kualitas udara dalam dan luar bangunan; (3) Efisiensi Sumber dan material; (4) Kesehatan penghuni dan produktivitasnya; (5) Kedekatan dengan transportasi umum; (6) Kualitas lingkungan berupa udara, air, tanah dan ekosistem. (Chatterjee, A.K., 2015)

Penggunaan material berkelanjutan merupakan salah satu upaya dalam membangun bangunan yang ramah lingkungan. Pemilihan material seperti menggunakan beton pracetak mengurangi produksi berlebihan pada pembangunan, salah satunya adalah penggunaan b-panel. B-panel atau panel beton pracetak prategang merupakan bahan

bangunan hemat energi dan ramah lingkungan yang inovatif, karena terpadu dari panel komposit beton reinforced-expanded polystyrene yang memiliki karakteristik insulasi thermal dan akustik serta ketahanan terhadap gempa, dan disebut komponen bangunan ramah lingkungan karena 100% recyclable dapat didaur ulang, jangka pemakaian lama, tidak beracun, dan tidak membusuk (Sylvie Wirawati, 2011). Penggunaan material pada atap seperti menggunakan roof garden juga merupakan salah satu upaya mencapai bangunan yang berkelanjutan. Penggunaan material atap roof garden dengan menggunakan bahan material Prefabricated Extensive Green Roof Tray System (PEG). PEG merupakan bahan material yang ramah lingkungan yang dibuat dengan menggunakan sistem modul sehingga metodenya adalah prefab dan materialnya dapat melindungi bangunan dari cahaya panas matahari.

Pembangunan berkelanjutan dengan menggunakan material daur ulang merupakan upaya dalam mencapai bangunan yang ramah lingkungan. Pembangunan tidak hanya dapat menggunakan material berkelanjutan/material ramah lingkungan, namun bisa juga menggunakan material yang telah digunakan pada bangunan sebelumnya (material daur ulang). Pembangunan Berkelanjutan yang Berwawasan Lingkungan (PBBL) didefinisikan sebagai pembangunan untuk memenuhi kebutuhan masa sekarang tanpa mengurangi kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhannya (Wulfram, Soemardi, Abduh, Sujarmanto, 2012). Di Asia, karakteristik limbah yang dihasilkan adalah berukuran besar dan berat, yaitu beton bertulang, aspal, kayu, metal, gipsum, dan penutup atap (Nitivattananon V. dan Borongan G., 2007). Umumnya pada pembangunan tahap konstruksi, material kayu, beton, bata merah, dan metal merupakan material yang paling umum ditemukan dan dijadikan material reuse. Reuse dapat dibedakan menjadi tiga: (a) building reuse, (b) component reuse, (c) material reuse (Saleh T.M., 2009). Reuse komponen bangunan digunakan untuk bagian interior non struktur, seperti dinding interior, pintu, lantai, plafon yang akan digunakan untuk hal yang sama atau untuk hal lain sampai habis umur pakai komponen tersebut (Wulfram, Soemardi, Abduh, Sujarmanto, 2012). Penggunaan material yang umumnya digunakan dan terdapat di pasaran merupakan PVC, material penutup atap (beton dan tanah liat), kayu, besi, penutup lantai (ubin).

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan kriteria greenrating tools dari GBCI (*Green Building Criteria Indonesia Existing Building Ver 1.1*) pada kategori *Material Resource and Cycle (MRC)*. Adapun hal-hal yang

diidentifikasi antara lain adalah: 1) Bagaimana Sekolah Alam Bandung memanfaatkan dan mengolah material kayu daur ulang dengan kualitas kayu rendah sebagai material utama bangunan, 2) Bagaimana hasil penilaian kuantitatif dan kualitatif keberlanjutan bangunan Sekolah Alam Bandung ditinjau dari kriteria MRC dalam GBCI, 3) Apa saja lesson learned yang dapat diidentifikasi dalam meningkatkan potensi penggunaan material kayu daur ulang pada bangunan sekolah berdasarkan penilaian dengan GBCI poin MRC dan pengaruhnya terhadap lingkungan tersebut.

Penelitian ini menggunakan jenis metode penelitian **kualitatif** dan **kuantitatif**. Penelitian kualitatif dilakukan dengan melakukan observasi pengambilan data lapangan pada Sekolah Alam Bandung, di Dago, Coblong, Kota Bandung, untuk mengetahui bagaimana limbah kayu dapat dimanfaatkan menjadi material dinding, dan informasi material lainnya. Sedangkan analisis dilakukan secara kuantitatif dengan menilai bangunan berdasarkan kriteria penilaian MRC green-rating tools GBCI. Tabel 1 berikut ini adalah kriteria MRC yang menjadi dasar penilaian kinerja hijau MRC.

Tabel 1. Tabel Perhitungan MRC

No.	MRC	Rumus	Nilai MRC
1	MRC P	Tidak menggunakan CFC (Chloro Fluoro Carbon) sebagai refrigerant dan halon sebagai bahan pemadam kebakaran.	P (Prasyarat)
2	MRC 1	% Material Reuse (Digunakan Kembali) = $\frac{\text{Harga total bahan daur ulang}}{\text{Harga total material}} \times 100\%$	10% = 1 20% = 2
3	MRC 2	Material Industri Hijau % Material Industri Hijau/ Harga total material) x 100%	1
4	MRC 2	Material Daur Ulang % Material Daur Ulang = $\frac{\text{Harga total Material yang didaur ulang}}{\text{Harga total material}} \times 100\%$	1
5	MRC 2	Renewable Material % Material Sumber Terbarukan= $\frac{\text{Harga total bahan dari sumber terbarukan}}{\text{Harga total material}} \times 100\%$	1
6	MRC 3	Tidak Menggunakan BPO / ODS	-
7	MRC 4	Kayu Bersertifikasi dari Peraturan Pemerintah % Kayu bersertifikasi= $\frac{\text{Harga Kayu yang bersertifikasi}}{\text{Harga total material}} \times 100\%$	1
8	MRC 4	Kayu Bersertifikasi dari Lembaga % Kayu Bersertifikasi = $\frac{\text{Harga total Kayu Bersertifikasi}}{\text{Harga total Kayu}} \times 100\%$	1
9	MRC 5	% Prefab Material = $\frac{\text{Harga total material prefab}}{\text{Harga total material}} \times 100\%$	3
10	MRC 6	% Regional Material = $\frac{\text{Harga total harga kayu regional}}{\text{Harga total material}} \times 100\%$	50% = 1 poin 80% = 2 poin

Objek studi

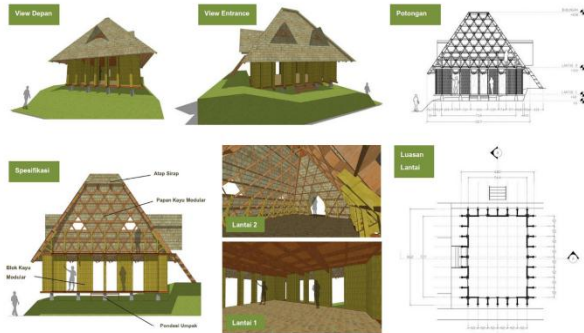
Obyek studi penelitian ini adalah Gedung Serba Guna Sekolah Alam Bandung, yang berlokasi di Bandung Utara. Gambar 1 berikut ini menunjukkan foto bangunan obyek studi yang dimaksud.



Gambar 1. Bangunan Gedung Serba Guna Sekolah Alam Bandung, berlokasi di Bandung Utara



Rancangan Bangunan



Gambar 2. Gambar rancangan Bangunan Gedung Serba Guna Sekolah Alam Bandung sebagai objek studi

No.	Profil Modul	Tipe Modul	Fungsi Modul pada Dinding	Skala Dimensi Profil (dari ketebalan papan)	Susunan Potongan Papan Kayu
1.	Blok S 30cm x 60cm				
2.	Blok S Tebal 30cm x 60cm				
3.	Blok + 30cm x 60cm				
4.	Blok L 30cm x 60cm				
5.	Blok T 30cm x 60cm				
6.	Blok Kosong Vertikal (ukuran tentatif)				
7.	Blok Kosong Horizontal (ukuran tentatif)				

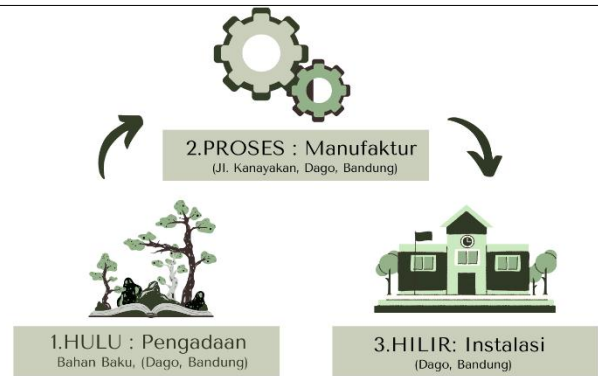
Gambar 3. Gambar modul komponen bangunan berbasis material kayu daur ulang pada Bangunan Gedung Serba Guna Sekolah Alam Bandung sebagai objek studi

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil wawancara dan studi literatur mengenai bangunan Sekolah Alam Bandung, tim peneliti mendapatkan hasil sebagai berikut :

Metode Pengolahan Material

Bangunan Sekolah Alam Bandung memiliki dua material kayu modular dalam komponen bangunannya yaitu, dinding dan atap. Adapun pengolahan material kayu pada kedua metode tersebut dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2. Proses dan Metode Pengolahan Kayu Modular

Adapun rincian metode pengolahan dinding adalah sebagai berikut:

- Tahap Hulu** : Arsitek langsung mendatangi lokasi sumber bahan baku yaitu kayu rimba di Tasikmalaya, Jawa Barat. Selain mendapatkan kayu yang diharapkan berupa kayu sisa yang memiliki panjang minimal 60 cm, bengkok-bengkok, serta tidak perlu kokoh. Dalam proses ini secara tidak langsung memberdayakan masyarakat di daerah setempat, karena dari bahan baku kayu sisa diproses menjadi keping-kepingan dengan tebal yang sama.
- Tahap Proses** : Proses manufaktur atau penggabungan keping-kepingan menjadi satu buah profil yang dapat disusun. Proses ini dilakukan di Tanjung Sari, Sumedang, Jawa Barat. Hal ini dilakukan untuk menghindari cacat produksi, waktu dan ukuran yang presisi, dan hasil yang sesuai harapan.
- Tahap Hilir** : Seluruh profil-profil yang terbentuk selanjutnya di instal di lokasi Sekolah Alam Bandung. Dalam tahap ini tidak memerlukan alat berat atau tenaga ahli, melainkan membutuhkan tangga sederhana saja dan tidak menggunakan paku, lem, dan perekatnya.

Rician metode Pengolahan Material Modular Atap, adalah sebagai berikut:

- Tahap Hulu** : Jenis kayu yang digunakan untuk atap adalah papan multiplek (tebal 18 ml). Kayu ini dipilih karena sifatnya yang ringan, kuat segala arah dengan sistem layering crossing, berasal dari kayu kualitas rendah dan di proses di pabrik.
- Tahap Proses** : Proses manufaktur dilakukan dengan mesin CNC (Computer Numerical Cutting) di Polman (Politeknik Manufaktur) di Jl. Kanayakan, Dago.
- Tahap Hilir** : Seluruh profil yang telah dibentuk, digabungkan atau diinstal di lokasi tertentu.

Penilaian Kuantitatif dan Kualitatif berdasarkan MRC (Material Resources and Cycle): Studi Kasus Sekolah Alam Bandung.

Dalam perhitungan kriteria MRC (Material Resources and Cycle) terdapat 1 kriteria persyaratan

dan 6 kriteria penilaian. Berikut pembahasan penilaian Sekolah Alam Bandung sesuai kriteria:

MRC P. Fundamental Refrigerant

Berdasarkan hasil wawancara bersama arsitek, bangunan terkait tidak menggunakan bahan refrigerant. Sehingga bangunan ini memenuhi syarat untuk melanjutkan perhitungan kriteria-kriterianya.

MRC 1. Penggunaan Gedung dan Material Bekas.

Berdasarkan hasil wawancara dan dokumen dari arsitek, diperoleh data-data material bekas yang digunakan pada bangunan yaitu pada tabel berikut:

Tabel 2. Data Harga Material Bekas/ Reuse pada Sekolah Alam Bandung

Komponen Bangunan	Banyaknya	Harga Satuan (Rp)	Harga Total
Kayu Borneo Lt. 1	36	152.500	5.947.500
Kayu Palupuh Lt. 1	228	66.000	2.320.000
Kayu Hinis Lt. 1	1264.2	35.000	2.640.000
Kayu Borneo Lt. 2	36	152.500	5.947.500
Kayu Palupuh Lt. 2	228	66.000	2.320.000
Kayu Hinis Lt. 2	1264.2	35.000	2.640.000
	total		21.815.000

MRC 2. Material Melalui Proses Ramah Lingkungan.

Material melalui proses ramah lingkungan ini terbagi menjadi tiga: (1) Material Industri Hijau; (2) Material Daur Ulang; (3) Material Diproses dengan Ramah Lingkungan.

(1) Material Industri Hijau.

Bangunan Sekolah Alam Bandung, menggunakan material industri hijau berupa kayu - kayu, baik kayu *reuse*, kayu modular, dan kayu lainnya. Adapun daftar material beserta harganya adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Data Harga Material Industri Hijau pada Sekolah Alam Bandung

Komponen Bangunan	Jml	Harga Satuan (Rp)	Harga Total
Kayu Borneo Lt. 1	36	152.500	5.947.500
Kayu Palupuh Lt. 1	228	66.000	2.320.000
Kayu Hinis Lt. 1	1264.2	35.000	2.640.000
Papan Modular	635	32.000	20.320.000
Blok Kayu Profil S30	378	25.000	9.450.000
Blok Kayu Profil S 60	1264.2	25.000	31.605.000
Blok Kayu Profil T60	100.8	25.000	2.520.000
Blok Kayu Profil R60	530.8	10.000	5.208.000
Skur Penopang Atap	31	40.000	1.240.000
Skur Penopang Lantai 2	10	45.000	450.000
Puncak Penyambung Atap	6.3	20.000	126.000
Kusen Jendela Buka	6	300.000	1.800.000
Pengunci Papan Modular	660	1.000	660.000
List Plank	38	45.000	1.710.000
Atap Sirap	70m ²	185.000	12.950.000
	total		107.854.000

Persentase Material Industri Hijau

$$(107.854.000/119.660.400) \times 100\% = 90,1337\%$$

Berdasarkan perhitungan persentase material industri hijau adalah 90,14% lebih besar dari pada 30%. Sehingga, kriteria MRC 2.1 ini dipenuhi dan memperoleh nilai 1.

(2) Material Daur Ulang.

Bangunan Sekolah Alam Bandung, menggunakan material kayu modular pada dua komponen besar, yaitu dinding dan struktur atap. Adapun daftar material beserta harganya adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Data Harga Material Daur Ulang pada Sekolah Alam Bandung

Komponen Bangunan	Banyaknya	Harga Satuan (Rp)	Harga Total
Blok Kayu Profil S30	378	25.000	9.450.000
Blok Kayu Profil S 60	1264.2	25.000	31.605.000
Blok Kayu Profil T60	100.8	25.000	2.520.000
Blok Kayu Profil R60	530.8	10.000	5.208.000
	total		48.498.000

Persentase Material Daur Ulang:

$$(48.498.000/119.660.400) \times 100\% = 40,59\%$$

Berdasarkan perhitungan persentase material daur ulang adalah 40,59% lebih besar dari pada 5%. Sehingga, kriteria MRC 2.2 ini dipenuhi dan memperoleh nilai 1.

(3) Material Diproses Ramah Lingkungan.

Bangunan Sekolah Alam Bandung, menggunakan material kayu ramah lingkungan, yaitu material kayu sisa/ kayu rimba/ kayu bakar dan kayu palupuh. Adapun daftar material beserta harganya adalah sebagai berikut :

Tabel 5. Data Harga Material Kayu Diproses Ramah Lingkungan pada Sekolah Alam Bandung.

Komponen Bangunan	Banyaknya	Harga Satuan (Rp)	Harga Total
Blok Kayu Profil S30	378	25.000	9.450.000
Blok Kayu Profil S 60	1264.2	25.000	31.605.000
Blok Kayu Profil T60	100.8	25.000	2.520.000
Blok Kayu Profil R60	530.8	10.000	5.208.000
Palupuh 5x7	40m ²	66.000	2.640.000
	total		51.423.000

Persentase Material Kayu Diproses Ramah Lingkungan:

$$(51.423.000/119.660.400) \times 100\% = 42,97\%$$

Berdasarkan perhitungan persentase material diproses ramah lingkungan adalah 42,97% lebih besar dari pada 2%. Sehingga, kriteria MRC 2.3 ini dipenuhi dan memperoleh nilai 1.

Secara keseluruhan, bangunan Sekolah Alam Bandung memenuhi seluruh kriteria MRC 2, yaitu material melalui proses ramah lingkungan dan memperoleh nilai 3.

MRC 3. Penggunaan Bahan Yang Tidak Mengandung BPO (*Non ODS Usage*).

Berdasarkan hasil wawancara, bangunan Sekolah Alam Bandung tidak menggunakan bahan yang mengandung BPO atau *ODS*. Sehingga, bangunan memperoleh nilai 2.

MRC 4. Kayu Bersertifikasi

Berdasarkan hasil wawancara, kayu yang digunakan pada bangunan Sekolah Alam Bandung merupakan kayu sisa/kayu bakar. Kayu-kayu tersebut tidak memiliki panjang seperti kayu yang dijual pada umumnya, melainkan maksimal panjangnya adalah 60 cm, namun tetap memiliki kualitas kuat dan keawetan yang sama dengan kayu-kayu konstruksi lainnya.

Kayu yang digunakan juga melalui proses yang informal, karena dimulai dari latar belakang yang informal pula pada saat proses desain sampai implementasi. Sehingga, bangunan Sekolah Alam Bandung ini tidak memiliki kayu bersertifikat, dan memperoleh nilai 0 pada kriteria ini.

MRC 5. Material Prefabrikasi

Berdasarkan wawancara dan dokumen dari arsitek, diperoleh dua jenis kayu yang difabrikasi, yaitu kayu modular atap dan kayu modular dinding. Adapun daftar material prefabrikasi beserta harganya adalah sebagai berikut :

Tabel 6. Data Harga Material Kayu Diproses Ramah Lingkungan pada Sekolah Alam Bandung.

Komponen Bangunan	Banyaknya	Harga Satuan (Rp)	Harga Total
Papan Modular	635	32.000	20.320.000
Blok Kayu Profil S30	378	25.000	9.450.000
Blok Kayu Profil S 60	1264.2	25.000	31.605.000
Blok Kayu Profil T60	100.8	25.000	2.520.000
Blok Kayu Profil R60	530.8	10.000	5.208.000
	total		69.103.000

Persentase Material Prefabrikasi:
 $(69.103.000/119.660.400) \times 100\% = 57,7\%$

Berdasarkan perhitungan persentase material daur ulang adalah 57,7%. Sehingga, kriteria MRC 5 ini dipenuhi dan memperoleh nilai 1.

MRC 6. Material Lokal

Berdasarkan wawancara dan dokumen dari arsitek, hampir seluruh kayu yang digunakan pada bangunan Sekolah Alam Bandung menggunakan material lokal yaitu material yang dapat diperoleh dalam radius 1000 km dari lokasi bangunan dibangun. Kayu modular dinding, berasal dari Tasikmalaya, lalu ke Tanjungsari, Sumedang, dan terakhir di Dago, Bandung. Sedangkan kayu modular atap dan kayu reuse untuk struktur, diperoleh di dago, Bandung.

Kayu-kayu tersebut juga berasal dari regional Indonesia. Adapun daftar material beserta harganya adalah sebagai berikut :

Tabel 7. Data Harga Material Kayu Diproses Ramah Lingkungan pada Sekolah Alam Bandung.

Komponen Bangunan	Banyaknya	Harga Satuan (Rp)	Harga Total
Kayu Borneo Lt. 1	36	152.500	5.947.500
Kayu Palupuh Lt. 1	228	66.000	2.320.000
Kayu Hinis Lt. 1	1264.2	35.000	2.640.000
Papan Modular	635	32.000	20.320.000
Blok Kayu Profil S30	378	25.000	9.450.000
Blok Kayu Profil S 60	1264.2	25.000	31.605.000
Blok Kayu Profil T60	100.8	25.000	2.520.000
Blok Kayu Profil R60	530.8	10.000	5.208.000
Skur Penopang Atap	31	40.000	1.240.000
Skur Penopang Lantai 2	10	45.000	450.000
Puncak Penyambung Atap	6.3	20.000	126.000
Kusen Jendela Buka	6	300.000	1.800.000
Pengunci Papan Modular	660	1.000	660.000
List Plank	38	45.000	1.710.000
Atap Sirap	70m2	185.000	12.950.000
Tangga	18m	55.000	990.000
Kaso	42	42.900	1.801.800
Reng	80	16.500	1.320.000
Triplek	42	50.600	2.074.000
	Total		118.260.400

Persentase Material Lokal dan Material Regional Indonesia :
 $(118.260.000/119.660.400) \times 100\% = 98,8\%$

Berdasarkan perhitungan persentase material daur ulang adalah 98,8%. Sehingga, kriteria MRC 6 ini dipenuhi dan memperoleh nilai 2.

Berdasarkan seluruh data, analisis dan pembahasan pada kriteria di atas, berikut hasil tabulasi dari keseluruhan penilaian kriteria MRC (Material Resources and Cycle).

Tabel 8. Hasil Tabulasi Perhitungan Kriteria MRC pada bangunan Sekolah Alam Bandung.

MRC	Jenis MRC	Hasil (Maks : 13)
P	Fundamental Refrigerant	Bangunan tidak menggunakan refrigerant.
1	Penggunaan Gedung dan Material Bekas	Material Reuse = 18,23% (1) Material Industri Hijau = 90,1% (1)
2	Material Melalui Proses Ramah Lingkungan	Material Daur Ulang = 40,6% (1) Material Proses Ramah Lingkungan = 42,97% (1)
3	Penggunaan Bahan yang Tidak Mengandung BPO	Bangunan tidak menggunakan material yang menyebabkan kerusakan ozon. (2)
4	Kayu Bersertifikat	Tidak menggunakan kayu bersertifikat (0)
5	Material Prefabrikasi	Material Prefabrikasi = 57,7% (3)
6	Material Lokal	Material Lokal (radius: 1000 km)= 98,8% (1) Material Regional Indonesia = 98,8% (1)
	Total	11 Poin

Berdasarkan tabel tabulasi di atas, bangunan Sekolah Alam Bandung telah memenuhi 1 kriteria prasyarat dan 5 kriteria perhitungannya. Bangunan ini meraih hasil 11 poin dari 13 poin maksimal.

Hal-Hal yang Dapat Ditingkatkan Terkait Material Kayu Olahan pada Sekolah Alam Bandung.

Berdasarkan hasil wawancara bersama arsitek, terdapat beberapa hal yang dapat ditingkatkan agar pengolahan material ini menjadi lebih efisien. Adapun hal-hal yang dapat ditingkatkan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Kayu modular dapat diindustrialisasi dan dipasarkan kepada masyarakat luas, sehingga penggunaan kayu modular dapat menjadi hal yang lumrah penggunaannya.
2. Kayu modular dapat didapatkan dari area lebih dekat dari tempat pembangunan sehingga tidak menggunakan energi yang berlebihan.

Jenis kayu yang digunakan berupa kayu rimba atau kayu rawa, dapat diperoleh dari sumber yang lebih dekat. Sehingga pemilihan tempat sumber bahan baku yang lebih dekat dapat mengefisienkan dari segi transportasi

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil data dan analisis yang dilakukan bersama, terdapat beberapa hal yang dapat disimpulkan, yaitu sebagai berikut :

1. Bangunan sekolah memiliki 2 metode pengolahan material kayu modular, yaitu pengolahan kayu modular dinding dan atap. Proses dan metode kayu modular berasal dari **hulu** (Pengadaan bahan baku), **proses** (manufaktur profil), dan **hilir**, (Instalasi di lokasi).
2. Bangunan Sekolah Alam Bandung memenuhi kriteria MRC (Material Resources and Cycle) sebesar 9/ 12 atau mencapai 75%.
3. Kayu modular dapat ditingkatkan berdasarkan penggunaannya pada masyarakat, sehingga industrialisasi kayu modular dapat dikembangkan.

Berdasarkan hasil data dan analisis yang dilakukan bersama, terdapat beberapa saran, yaitu sebagai berikut :

1. Saran untuk penelitian yaitu dilakukan melalui studi kasus dan observasi ke lapangan langsung sehingga data penelitian didapatkan lebih spesifik.

2. Saran untuk bangunan yaitu penggunaan kayu yang belum disertifikasi dapat disertifikasi agar mendapat nilai MRC yang lebih tinggi
3. Saran untuk arsitek untuk lebih dapat mengeksplorasi penggunaan material reuse dan ramah lingkungan seperti halnya yang dilakukan di sekolah alam bangun

DAFTAR PUSTAKA

- Purwanto, D. 2009. Analisa Jenis Limbah Kayu Pada Industri Pengolahan Kayu di Kalimantan Selatan. Banjar Baru.
- Pemerintah Kota Bandung. XXXX. Website Dapodik Bandung. Diakses pada tanggal 12 Oktober 2021 pukul 17.15 WIB pada link berikut <http://simdik.bandung.go.id/npsn/69967172>
- Pemerintah Kota Bandung. XXXX. Website Dapodik Bandung. Diakses pada tanggal 12 Oktober 2021 pukul 17.30 WIB pada link berikut <http://simdik.bandung.go.id/npsn/20269424>
- Audina, S. 2018. Mengenal Sekolah Alam Bandung. Bandung. Diakses pada 12 Oktober 2021. <http://pps.uny.ac.id/id/berita/mengenal-sekolah-alam-bandung.html>
- Anonim . 2012. Green Buildings Workbook, A guide for IDB practitioners. KNL (Support from Carlos Gerardo Molina)
- Chatterjee, A.K. 2009. Sustainable Construction and Green Buildings On The Foundation of Building Ecology. Indian Concrete Journal.
- Jang, H., Ahn, Y., & Roh, S. (2022). Comparison of the Embodied Carbon Emissions and Direct Construction Costs for Modular and Conventional Residential Buildings in South Korea. Buildings, 12(1), 51. <https://doi.org/10.3390/buildings12010051>
- Lv, Z., & Zhang, D. (2019). Analysis of the life cycle stage of prefabricated buildings. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 330(2), 022075. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/330/2/022075>
- Wulfram I. Ervianto, dkk. 2012. Jurnal Teknik Sipil. Yogyakarta. Universitas Atma Jaya Yogyakarta
- Sylvie Wirawati. 2011. Penggunaan Teknologi bahan Inovatif Pada Pembangunan berkelanjutan. Jakarta. Universitas Tarumanegara
- Zairul, M. (2021). The recent trends on prefabricated buildings with circular economy (CE) approach. Cleaner Engineering and Technology, 4, 100239. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100239>.