

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Yang Relevan

2.1.1 Penggunaan *Cross laminated bamboo* (CLB)

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Putri, Kinasti and Rokhman, 2025) Institut Teknologi PLN, Jakarta, Indonesia yang berjudul “Analisis Perbandingan Karakteristik Bambu Laminasi dan *Cross laminated bamboo* (CLB) Sebagai Material Dinding Non Struktural” membandingkan sifat fisik dan mekanik panel bambu laminasi dan CLB. Pengujian sifat fisik meliputi kadar air, kerapatan, dan penyusutan volume, sedangkan pengujian mekanik mencakup kuat tekan sejajar dan tegak lurus serat. Hasil menunjukkan bahwa CLB memiliki kadar air rata-rata 12,57% (lebih rendah dibanding bambu laminasi 13,17%), kerapatan 0,71 g/cm³ (lebih tinggi dari laminasi 0,69 g/cm³), dan penyusutan volume 6,83% (lebih rendah dari laminasi 18,22%), menandakan stabilitas dimensi yang lebih baik. Pada pengujian mekanik, bambu laminasi unggul pada kuat tekan sejajar serat 56,79 MPa dibanding CLB 49,02 MPa, namun CLB memiliki kuat tekan tegak lurus serat lebih tinggi 11,78 MPa dibanding laminasi 6,90 MPa, sehingga struktur silang CLB meningkatkan kekuatan dua arah dan menjadikannya lebih stabil serta efisien untuk aplikasi dinding non-struktural.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Agustina *et al.*, 2015) Institut Pertanian Bogor, Jawa Barat, Indonesia yang berjudul “Karakteristik *Cross laminated bamboo* Sebagai Bahan Komposit Struktural” mendapatkan hasil bahwa hasil sifat mekanik *Cross laminated bamboo* (CLB) menunjukkan bahwa nilai Nilai MOE CLB berkisar 8.363–53.760 kg/cm² masih di bawah standar JAS 1152:2007 minimum 75.000 kg/cm², sedangkan nilai MOR berkisar 105,14–244,36 kg/cm² juga belum memenuhi standar minimum 300 kg/cm². Nilai tekan sejajar serat mencapai 168–434 kg/cm² dan menjadi hasil paling unggul, sementara keteguhan rekat hanya 6,23–32,29 kg/cm². Secara umum, CLB bambu betung memiliki potensi sebagai material struktural, tetapi masih perlu peningkatan pada kualitas perekatan dan proses produksi.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Christoforo *et al.*, 2026) Federal University of São Carlos, São Carlos, Brazil yang berjudul “*The Cross laminated bamboo* (CLB): *A Comprehensive Review of Research and Development*” menunjukkan bahwa *Cross*

laminated bamboo (CLB) memiliki potensi besar sebagai material struktural karena beberapa data menunjukkan kinerja mekaniknya tinggi, seperti kekuatan lentur CLB mencapai 75,77–79,78 MPa, MOE lentur 8,31–10,04 GPa, kuat tekan sekitar 54,34 MPa, kuat tarik 63,48–71,78 MPa, dan kuat rolling shear hingga 10,60 MPa. Dibandingkan beberapa CLT kayu, kekuatan lentur, tekan, dan tarik CLB dilaporkan dapat lebih tinggi, meskipun hasilnya dipengaruhi oleh jenis bambu, konfigurasi lapisan, perekat, dan metode pengujian. CLB juga berpotensi digunakan untuk lantai, dinding, balok, panel modular, serta rocking wall tahan gempa, tetapi masih memerlukan standar khusus, uji skala penuh, dan kajian lanjutan tentang durabilitas serta produksi industri.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Lv, Wang and Liu, 2019) Southeast University, Nanjing, China yang berjudul “Study on Thermal Insulation Performance of *Cross laminated bamboo* Wall” mengkaji kinerja insulasi termal dinding *Cross laminated bamboo* (CLB) dan dinding komposit EPS-CLB. Hasilnya menunjukkan bahwa dinding *Cross laminated bamboo* (CLB) memiliki kinerja insulasi termal yang cukup baik, dengan konduktivitas termal *bamboo* scrimber sebesar 0,263 W/(m·K), sedangkan EPS lebih rendah yaitu 0,04 W/(m·K). Koefisien perpindahan panas CLB menurun seiring bertambahnya ketebalan dinding, sementara konfigurasi lapisan tidak terlalu berpengaruh. Penambahan EPS 30 mm mampu menurunkan perpindahan panas sekitar 48–57%, sehingga dinding EPS-CLB lebih efektif sebagai material bangunan hemat energi.

2. 1. 2 Penggunaan Bata Merah

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Karanikoloudis and Serra, 2023) University of Minho, *Guimaraes, Portugal* yang berjudul “*Diagonal compression testing of masonry under fatigue loading and high static loads*” membahas pengaruh beban fatigue akibat getaran berulang pada dinding bata bersejarah. Pengujian dilakukan dengan metode diagonal compression fatigue test pada panel bata bermortar kapur. Hasil menunjukkan bahwa tegangan statis 0,6–0,9 ft dan getaran lebih dari 8 mm/s pada frekuensi 50–100 Hz dapat menyebabkan retak. Kegagalan geser lokal terjadi pada sekitar 10^5 – 10^6 siklus atau setara 7–9 bulan paparan. Karena itu, diperlukan batas getaran yang lebih ketat untuk melindungi bangunan bata bersejarah.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Hani, Rini and Nursyamsi, 2025) Universitas Pembinaan Masyarakat Indonesia, Medan, Indonesia yang berjudul “Studi Eksperimental Hubungan Kuat Tekan Bata Satuan dan Dinding Pasangan Bata” mengkaji hubungan antara kuat tekan bata satuan dan kuat tekan dinding pasangan bata menggunakan bata merah lokal. Hasil pengujian menunjukkan kuat tekan bata satuan cukup bervariasi, dengan nilai minimum 75,73 kg/cm², maksimum 260,45 kg/cm², dan rata-rata 134,70 kg/cm². Pada pengujian dinding pasangan bata skala penuh, retak mulai terjadi pada kuat tekan maksimum 182,78 kg/cm² dengan deformasi rata-rata 1,57 cm. Pola keruntuhan didominasi oleh retak vertikal dan retak sepanjang sambungan spesi, yang menunjukkan bahwa kekuatan dinding tidak hanya ditentukan oleh kuat tekan bata, tetapi juga oleh interaksi antara bata dan mortar. Secara umum, penelitian ini menegaskan bahwa kinerja tekan dinding pasangan bata perlu diuji sebagai sistem komposit, bukan hanya berdasarkan kuat tekan bata satuan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Sulistio, 2020) Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta, yang berjudul “Perbandingan Kuat Lentur Dinding bata Merah Dengan Inovasi Dinding bata Ringan” Penelitian ini membandingkan kuat lentur dinding bata merah dengan dinding bata ringan, serta menguji pengaruh penambahan kawat galvanis pada siar mendatar dinding bata ringan. Benda uji dibagi menjadi lima variasi, yaitu dinding bata merah tanpa perkuatan, bata ringan tanpa perkuatan, bata ringan dengan 1 kawat, 3 kawat, dan 5 kawat. Hasil pengujian menunjukkan kuat lentur DBM 0,408 MPa, DBRTP 0,420 MPa, DBR1K 0,424 MPa, DBR3K 0,546 MPa, dan DBR5K 0,432 MPa. Variasi terbaik adalah dinding bata ringan dengan 3 kawat, karena menghasilkan kuat lentur paling tinggi. Secara umum, penambahan kawat galvanis dapat meningkatkan kemampuan dinding bata ringan dan membantu mengurangi keruntuhan mendadak akibat beban lentur.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 *Cross laminated bamboo (CLB)*

Menurut Lv, Wang dan Liu, (2019) Bambu adalah salah satu sumber daya hutan yang signifikan, dengan lebih dari 75 gen dan 1250 spesies. selanjutnya kuantitas bambu yang ada di Asia Selatan dan Asia Tenggara kira-kira 80% dari keseluruhan bambu yang ada di dunia. Bambu merupakan sumber daya yang dapat diperbarui dengan sejumlah

keunggulan, seperti kekuatan yang besar, laju pertumbuhan yang cepat, dan hasil yang melimpah, selain itu penggunaannya sebagai bahan bangunan dapat mendukung perlindungan lingkungan. Bambu alami memang bisa dipakai langsung sebagai bagian bangunan tradisional, akan tetapi karena perbedaan dalam ukuran geometrik dan karakteristik mekaniknya, bambu alami tidak mampu memenuhi standar sifat fisik dan mekanik yang diperlukan untuk konstruksi modern.

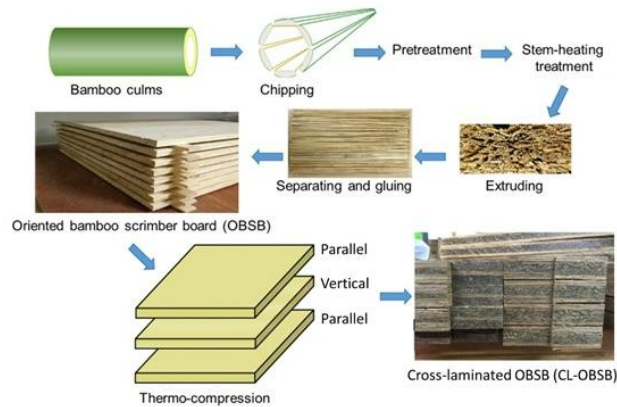
Selanjutnya Lv, Wang dan Liu, (2019) menambahkan bahwa rekayasa bambu modern menawarkan solusi yang efisien untuk mengatasi isu tersebut serta meningkatkan penerapan bambu dalam konstruksi. Rekayasa bambu berkembang melalui berbagai metode berdasarkan jenis bahan baku, teknologi pengolahan, serta pola penggabungannya. Salah satu bentuk pengembangan dari rekayasa bambu tersebut adalah bambu laminasi yang dibuat melalui teknik perekatan sehingga menghasilkan material dengan karakteristik mekanik yang lebih baik dibandingkan bambu alami.

Cross laminated bamboo merupakan produk rekayasa yang dibuat dari bilah-bilah bambu yang direkat secara bersilangan. Susunan tersebut memungkinkan beban terdistribusi lebih merata ke berbagai arah. Menurut Rifqi *et al.*, (2022) Bambu Laminasi merupakan bahan bangunan yang dibuat dengan teknik perekatan beberapa bagian bambu menjadi satu kesatuan, sehingga menghasilkan material dengan karakteristik kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan bambu alami. Dalam pengembangannya, bambu laminasi digunakan untuk mengatasi keterbatasan bambu alami yang umumnya berbentuk silinder berongga, memiliki dimensi yang tidak seragam, dan kurang fleksibel apabila digunakan secara langsung sebagai elemen konstruksi. Melalui proses laminasi, bambu dapat dibentuk menjadi elemen yang lebih stabil, seragam, dan sesuai dengan kebutuhan konstruksi, sehingga pemanfaatannya sebagai material bangunan menjadi lebih optimal. Dengan demikian, bambu laminasi dapat dipahami sebagai bentuk rekayasa material bambu yang bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik serta memperluas penggunaannya dalam bidang konstruksi.

2. 2. 2 Konsep Laminasi pada Bambu

Cross laminated bamboo (CLB) merupakan material rekayasa berbasis bambu yang dikembangkan melalui sistem laminasi, yaitu penyusunan beberapa lapisan bambu dengan arah serat saling tegak lurus antar lapisan dan direkatkan menggunakan perekat

struktural melalui proses pengepresan. Sistem ini dikembangkan untuk meningkatkan performa mekanik bambu sekaligus mengatasi kelemahan bambu alami, seperti sifat anisotropik, ketidakstabilan dimensi, serta keterbatasan ukuran elemen struktural.



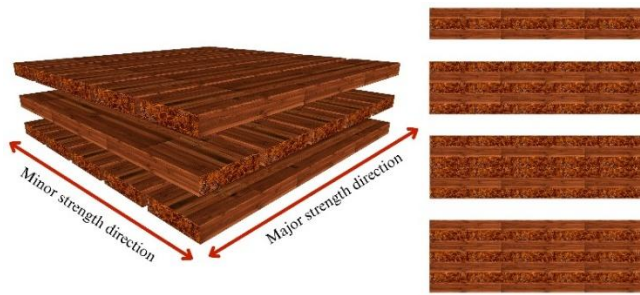
Gambar 2. 1 Proses Laminasi *Cross laminated bamboo*

Sumber: (Chung and Wang, 2023)

Pengepresan selama fabrikasi menyebabkan struktur serat menjadi lebih rapat sehingga meningkatkan performa mekanik material. Berdasarkan penelitian Christoforo *et al.*, (2026) panel *Cross laminated bamboo* berbahan *bamboo* scrimber memiliki kepadatan sekitar 1,15–1,20 gr/cm³ dengan kekuatan lentur arah utama mencapai 75,77–79,78 MPa dan modulus elastisitas sebesar 8,31–10,04 GPa. Nilai tersebut menunjukkan bahwa bambu laminasi memiliki potensi tinggi sebagai material struktural modern yang kompetitif terhadap material laminasi berbasis kayu.

Sistem Susunan Cross

Sistem susunan *Cross laminated bamboo* (CLB) merupakan konfigurasi penyusunan lapisan bambu secara silang dengan orientasi serat saling tegak lurus antar lapisan. Berdasarkan pola penyusunannya, kombinasi material bambu dibedakan menjadi dua jenis, yaitu susunan searah serat (parallel laminated) dan susunan tidak searah serat atau silang (cross laminated). Sistem cross laminated dikembangkan untuk meningkatkan distribusi tegangan, kekakuan panel, serta kestabilan dimensi material. (Lv, Wang and Liu, 2019)



Gambar 2. 2 Sususnan Silang *Cross laminated bamboo*

Sumber: (Christoforo *et al.*, 2026)

Pada sistem CLB, lapisan longitudinal disusun sejajar terhadap arah pembebanan utama untuk memaksimalkan kapasitas tarik dan lentur, sedangkan lapisan transversal dipasang tegak lurus sebagai elemen penstabil yang berfungsi meningkatkan kapasitas geser, memperbaiki distribusi tegangan, dan mengurangi deformasi akibat perubahan dimensi material. Susunan silang tersebut menghasilkan sistem kerja dua arah sehingga panel mampu menahan pembebanan secara lebih merata dibandingkan bambu laminasi satu arah.

Secara struktural, mekanisme kerja CLB terjadi melalui interaksi antar lapisan bambu dan ikatan perekat yang mentransfer tegangan antar lamina. Lapisan longitudinal berperan dominan dalam menahan tegangan tarik dan lentur, sedangkan lapisan transversal bekerja dalam meningkatkan stabilitas lateral panel. Sistem laminasi silang menyebabkan distribusi tegangan menjadi lebih homogen sehingga meningkatkan kekakuan, kapasitas lentur, serta ketahanan terhadap deformasi.

2. 2. 3 Material Penyusun *Cross laminated bamboo*

A. Bambu Petung

Bambu yang digunakan adalah bambu betung (*Dendrocalamus asper*) berumur 3–4 tahun yang diperoleh dari daerah Pangandaran, Jawa Barat. Bambu dipotong menjadi bilah berukuran 115 cm × 2 cm dengan ketebalan 1,00 cm. Bambu berfungsi sebagai elemen struktural penahan beban. Jenis bambu yang digunakan sangat mempengaruhi performa mekanik panel CLB, sehingga diperlukan bambu dengan karakteristik kuat, padat, dan memiliki dimensi yang cukup besar.

Salah satu jenis bambu yang banyak digunakan sebagai material *engineered bamboo* adalah bambu petung karena memiliki diameter besar, daging atau dinding batang tebal dan jarak ruas yang panjang. Bambu petung (*Dendrocalamus asper*) dipilih karena memiliki sifat mekanik yang baik. Menurut Widyaksana, Effendi and Naresworo, (2021) melalui pengujian berdasarkan ISO 22157:2019, memperoleh kuat geser sejajar serat sebesar 5,38–14,01 MPa, MOR lentur tegak lurus serat sebesar 7,95–13,68 MPa, dan MOE lentur tegak lurus serat sebesar 1.798,35 MPa. Hasil tersebut didukung oleh Naresworo, et al. (2022) yang menunjukkan bahwa bambu petung memiliki kuat tekan sejajar serat rata-rata sebesar 53,0 MPa dan kuat tarik sejajar serat rata-rata sebesar 109 MPa, menunjukkan bahwa bambu petung memiliki kemampuan yang baik dalam menahan beban tekan maupun tarik, sehingga bambu petung layak sebagai bahan penyusun *Cross Laminated Bamboo* (CLB).

Menurut Lv, Wang, dan Liu (2019), bambu merupakan material yang memiliki rasio kuat terhadap berat yang tinggi sehingga berpotensi dikembangkan sebagai material struktural modern melalui teknologi *engineered bamboo*. Penggunaan bambu pada CLB bertujuan meningkatkan efisiensi material sekaligus menghasilkan panel struktural yang lebih stabil, homogen, dan memiliki performa mekanik yang baik.



Gambar 2. 3 Bambu Petung

B. Bahan Perekat

Bahan perekat merupakan komponen penting dalam pembuatan *Cross laminated bamboo* (CLB) karena berfungsi mengikat antar lapisan bambu sehingga membentuk satu kesatuan panel struktural. Kualitas perekat sangat mempengaruhi kekuatan ikatan (*bonding strength*), distribusi tegangan antar lapisan, serta ketahanan panel terhadap deformasi dan delaminasi.

Jenis perekat yang umum digunakan pada *engineered bamboo* dan CLB adalah perekat *Polyurethane* (PU). Perekat PU banyak digunakan karena memiliki daya rekat yang baik, tahan terhadap kelembaban, serta mampu menghasilkan ikatan yang kuat pada material berbasis serat seperti bambu. Selain perekat *Polyurethane* (PU), beberapa jenis bahan perekat lain yang umum digunakan pada *engineered bamboo* dan *Cross laminated bamboo* (CLB) antara lain:

Tabel 2. 1 Jenis Perekat pada *Cross laminated bamboo*

Jenis Perekat	Karakteristik	Penggunaan pada CLB	Referensi
<i>Polyurethane</i> (PU)	Daya rekat tinggi, elastis, tahan kelembaban	Banyak digunakan pada CLB karena menghasilkan ikatan antar lapisan yang kuat dan elastis	Christoforo et al., 2026; Desi Putri et al., 2025; Lv, Q. Wang & W., 2019
<i>Phenol Resorcinol Formaldehyde</i> (PRF)	Tahan air dan cuaca, ikatan sangat tinggi	Digunakan pada panel CLB struktural dan aplikasi eksterior	Christoforo et al., 2026; Yuli Lestari, 2022; Lv, Q. Wang & W., 2019
<i>Melamine Urea Formaldehyde</i> (MUF)	Lebih tahan air dibanding UF, kekakuan ikat lebih baik	Digunakan pada panel CLB semi-struktural	Christoforo et al., 2026; Agustina, 2015
<i>Epoxy</i>	Kekuatan ikatan tinggi, tahan terhadap bahan kimia	Digunakan pada sambungan atau kebutuhan struktural khusus	Christoforo et al., 2026; Rifqi M., 2021

Pada material CLB, perekat berfungsi untuk mengikat antar lapisan bambu sehingga panel dapat bekerja sebagai satu kesatuan struktural. Selain itu, perekat juga berperan dalam mentransfer tegangan antar lamina, meningkatkan kestabilan dimensi panel, serta mengurangi risiko delaminasi akibat perubahan kadar air dan pembebanan. Namun, dalam *engineered bamboo* modern, perekat *Polyurethane* (PU) dan *Phenol Resorcinol Formaldehyde* (PRF) merupakan jenis perekat yang paling sering digunakan karena memiliki ketahanan dan performa mekanik yang baik untuk aplikasi struktural.



Gambar 2. 4 Lem Perekat *Polyurethane* (PU)

C. *Boraks boric acid*

Bambu merupakan material organik yang rentan terhadap serangan organisme perusak, seperti jamur, rayap, kumbang, dan bubuk kayu. Kondisi tersebut dapat menurunkan durabilitas bambu sebagai material konstruksi. Bambu Petung yang tidak diberikan pengawetan memiliki umur layanan yang relatif pendek, sehingga diperlukan perlakuan pengawetan untuk meningkatkan daya tahan material terhadap kerusakan (Desi Putri *et al.*, 2025)

Salah satu metode pengawetan yang digunakan pada bambu Petung adalah menggunakan larutan *Borax* dan *Boric Acid*. Dalam penelitian Putri, 2023, proses pengawetan dilakukan dengan metode gravitasi mengacu pada SNI 8909:2020 menggunakan larutan Borax dan Boric Acid dengan konsentrasi 5%. Pengawetan tersebut bertujuan untuk meningkatkan durabilitas bambu sehingga lebih sesuai digunakan sebagai material konstruksi, termasuk sebagai bahan dasar pembuatan bambu laminasi untuk dinding non-struktural.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses pengawetan memberikan pengaruh terhadap karakteristik fisik dan mekanik bambu Petung. Bambu yang diawetkan mengalami peningkatan kerapatan serta kuat geser dibandingkan bambu tanpa pengawetan. Kuat geser meningkat sebesar 25,19% pada daerah nodia dan 28,21% pada daerah internodia. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengawetan tidak hanya berperan dalam meningkatkan daya tahan bambu, tetapi juga dapat memberikan peningkatan pada karakteristik mekaniknya (Desi Putri *et al.*, 2025)

2. 2. 4 Sifat Fisik *Cross laminated bamboo*

Sifat fisik *Cross laminated bamboo* (CLB) menjadi dasar untuk memahami kinerja material ini sebagai panel komposit struktural. Parameter fisik memengaruhi stabilitas dimensi, distribusi beban, dan interaksi antar lapisan dalam panel, sehingga evaluasi terhadap karakteristik fisik CLB diperlukan sebelum mengkaji sifat mekaniknya. Subbab ini akan membahas karakteristik fisik CLB, termasuk berat jenis, kadar air, susut, dan kerapatan, yang menjadi indikator penting dalam penentuan kualitas dan efisiensi material. Adapun sifat fisik *Cross laminated bamboo* adalah sebagai berikut:

A. Kadar Air *Cross laminated bamboo*

Kadar air bambu merupakan indikator banyaknya air dalam sepotong bambu yang dinyatakan sebagai persentase dari berat kering tanurnya. Kadar air bambu bervariasi dalam suatu batang dipengaruhi oleh umur, musim pemanenan bambu dan jenis bambu (Wulandari, 2019). Rumus Kadar air menurut ISO 23478 2022 adalah:

$$w = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100 \quad (2. 1)$$

Keterangan:

w = kadar air (%)

m_1 = massa spesimen sebelum dikeringkan (gram)

m_0 = massa spesimen setelah dikeringkan di oven sampai (*oven-dry*) (gram)

Kadar air bambu perlu dijaga sesuai dengan acuan ISO 22157-1 2004, yaitu pada kondisi kering dengan kadar air maksimal 12%, karena hal ini berkaitan erat dengan kekuatan, kestabilan dimensi, dan kualitas perekatan panel Cross Laminated Bamboo (CLB). Kadar air yang terlalu tinggi menyebabkan bilah bambu berada dalam kondisi lembab, sehingga menciptakan lingkungan yang kondusif bagi pertumbuhan jamur, bakteri, dan mikroorganisme perusak seperti kumbang bubuk dan rayap yang dapat menyebabkan degradasi serat bambu secara bertahap dan melemahkan kapasitas struktural panel CLB secara keseluruhan.

B. Daya serap air *Cross laminated bamboo*

Pemeriksaan daya serap air pada panel *Cross Laminated Bamboo* (CLB) bertujuan untuk mengetahui kemampuan material dalam menyerap air melalui pori-pori dan celah

antar lapisan bambu. Parameter ini penting untuk dievaluasi mengingat CLB berpotensi diaplikasikan sebagai elemen dinding pengisi yang terpapar kelembaban lingkungan secara langsung maupun tidak langsung. Rumus daya serap air menurut SNI 15 2094 2000 adalah:

$$WA = \frac{W_{setelah} - W_{sebelum}}{W_{sebelum}} \times 100 \quad (2.2)$$

Keterangan:

WA = Daya serap air (%)

$W_{setelah}$ = Massa bata setelah direndam dalam air selama 24 jam (gr)

$W_{sebelum}$ = Massa bata sebelum direndam dalam kondisi kering (gr)

C. Susut Volume *Cross laminated bamboo*

Susut volume (*shrinkage in volume*) merupakan perubahan dimensi spesimen CLB saat air dalam material hilang selama pengeringan, dan menjadi salah satu sifat fisik penting yang memengaruhi stabilitas dimensi dan risiko delaminasi pada panel. Sesuai dengan ISO 22157-1 (2004), susut volume dihitung dengan membandingkan volume spesimen saat basah dengan volume spesimen setelah dikeringkan di oven (*oven-dry*). Rumus susut volume menurut ISO 22157-1 (2004) adalah:

$$\text{Susut Volume} = \frac{I - F}{I} \times 100 \quad (2.3)$$

Keterangan:

Susut volume = susut volume (%)

I (*Initial reading*) = volume spesimen sebelum pengeringan (*green volume*)

F (*Final reading*) = volume spesimen setelah dikeringkan oven (*oven-dry volume*)

Penelitian oleh Christoforo *et al.*, (2026) melaporkan bahwa susut volume panel *Cross laminated bamboo* (CLB) berbahan bambu betung dengan laminasi silang berkisar antara 2,5 – 4,1 %, di mana susut yang lebih rendah terjadi pada panel dengan lapisan lebih tebal dan orientasi 0°/90° terhadap arah beban utama. Hal ini sejalan dengan temuan Agustina *et al.* (2015) yang melaporkan susut volume CLB sekitar 3 – 5 %. Data ini

menunjukkan bahwa pengendalian ketebalan bilah dan orientasi lapisan sangat penting untuk menjaga kestabilan dimensi CLB dan mengurangi risiko delaminasi.

2. 2. 5 Dinding bata Merah

Menurut SNI 15-2094-2000, bata merah dibuat dari tanah dengan atau tanpa campuran bahan-bahan lain, dibakar cukup tinggi, hingga tidak dapat hancur lagi bila direndam dalam air. Adapun karakteristik bata merah menurut SNI-15-2094- 2000 adalah sebagai berikut.

2. 2. 6 Material Penyusun Bata Merah

A. Bata Merah

Menurut SNI 15-2094-2000 bata merah merupakan material pasangan dinding yang dibuat dari tanah liat melalui proses pencetakan dan pembakaran hingga membentuk material padat dan keras. Material ini digunakan secara luas pada konstruksi bangunan karena mudah diproduksi, memiliki kestabilan bentuk yang baik, serta mampu diaplikasikan pada berbagai jenis bangunan.

Komponen utama penyusun bata merah adalah tanah liat yang mengandung senyawa silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), kapur, oksida besi, dan sejumlah mineral lainnya. Kandungan silika dan alumina berperan dalam membentuk struktur bata setelah proses pembakaran, sedangkan oksida besi memberikan warna merah pada permukaan bata. Selain tanah liat, beberapa produsen menambahkan material campuran seperti pasir halus atau abu sekam untuk mengontrol penyusutan dan memperbaiki kualitas pembakaran.

Karakteristik material penyusun bata merah berpengaruh langsung terhadap perilaku mekanik pasangan bata. Variasi kualitas tanah liat, metode pencetakan, proses pemadatan, serta suhu pembakaran dapat menyebabkan perbedaan kuat tekan, daya serap air, modulus elastisitas, dan kuat geser bata merah. Penelitian mengenai karakteristik dinding pasangan bata menunjukkan bahwa kualitas bata merah lokal memiliki variasi yang cukup besar akibat perbedaan bahan baku dan proses produksi tradisional. (Rindana and Teguh, 2017)



Gambar 2. 5 Bata Merah

B. Agregat Halus (Pasir)

Menurut (SNI 03-6820-2002) agregat halus yaitu agregat dengan butir maksimum 4,76 mm berasal dari alam atau hasil alam, sedangkan agregat halus olahan yang dihasilkan dari pemecahan dan pemisahan butiran dengan cara penyaringan atau cara lainnya dari batuan. Agregat halus sebagai bahan campuran penyusun beton tidak boleh mengandung lumpur melebihi dari 5% serta tidak mengandung zat organik yang merusak komponen beton.

Persyaratan agregat halus menurut (SNI 03-6820-2002), yaitu sebagai berikut :

1. Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras.
2. Butir-butir halus “bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh” cuaca.
Sifat agregat halus dapat di uji dengan larutan jenuh garam. Jika dipakai natrium sulfat maksimum bagian yang hancur adalah 10% berat.
3. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (terhadap berat kering), jika kadar lumpur melampaui 5% maka pasir harus dicuci.

Gradasi agregat halus adalah distribusi ukuran butiran-butiran agregat. Apabila butiran agregat memiliki ukuran yang seragam maka volume pori beton besar. Apabila ukuran butiran-butiran agregat bervariasi maka volume pori akan kecil, ini disebabkan oleh butiran-butiran yang kecil akan mengisi ruang antar butiran-butiran agregat yang besar sehingga pori-pori akan sedikit.



Gambar 2. 6 Pasir

C. Semen *Portland*

Semen *portland* adalah semen hidrolis dibuat dari *klinker* yang dihaluskan dengan bahan penyusun seperti silikat-silikat kalsium yang mempunyai sifat hidrolis dan dicampur dengan bahan tambahan satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat ($\text{CaSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$) dan bisa ditambahkan dengan senyawa lainnya seperti *mineralin component* (SNI-2049-2015). Semen berfungsi sebagai bahan perekat butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang padat, selain itu juga semen dapat mengisi rongga-rongga dalam butiran agregat.

Semen berdasarkan senyawa atau zat penyusunnya : batu kapur sebagai bahan utama pembuatan semen, merupakan bahan batuan alam yang didalamnya terdapat senyawa Calcium Oksida (CaO), dan lempung/tanah liat merupakan bahan alam yang didalamnya terdapat senyawa: Aluminium Oksida (Al_2O_3), Silika Oksida (SiO_2), Besi Oksida (Fe_2O_3) dan Magnesium Oksida (MgO) atau dengan material pengganti lainnya yang menggunakan output padatan berbentuk *bulk* (bubuk), untuk membuat semen, bahan-bahan penyusun semen tadi dibakar hingga meleleh, kemudian sebagiannya untuk membuat klinker (*clinker*), yang kemudian digiling dengan dicampurkan *gypsum* pada takaran yang sesuai.

Berdasarkan persyaratan kimia penyusun semen *portland* harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

Tabel 2. 2 Bahan Penyusun Semen Portland

No.	Uraian	Jenis semen portland				
		I	II	III	IV	V
1	SiO_2 , minimum	-	20,0 ^{b.c)}	-	-	-
2	Al_2O_3 , maksimum	-	6,0	-	-	-

3	Fe ₂ O ₃ , maksimum	-	6,0 ^{b,c)}	-	6,5	-
4	MgO, maksimum	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
5	SO ₃ , maksimum					
	Jika C ₃ A < 8,0	3,0	3,0 ^{d)}	3,54,5	2,3 ^{d)}	2,3 ^{d)}
	Jika C ₃ A > 8,0	3,5				
6	Hilang pijar, maksimum	5,0	3,0	3,0	2,5	3,0
7	Bagian tak larut, maksimum	3,0	1,5	1,5	1,5	1,5
8	C ₃ S, maksimum	-	-	-	35 ^{b)}	-
9	C ₂ S, minimum	-	-	-	40 ^{b)}	-
10	C ₃ A, maksimum	-	8,0	15	7 ^{b)}	5 ^{b)}
11	C ₄ AF + 2C ₃ A					
	atau C ₄ AF + C ₂ F, maksimum	-	-	-	-	25 ^{c)}

Sumber: (SNI-2049-2015)



Gambar 2. 7 Semen

D. Air

Air merupakan salah satu komponen penting dalam campuran mortar dan beton karena berperan dalam proses hidrasi semen, pembentukan pasta semen, serta mempengaruhi workability campuran. Pada material berbasis semen, air tidak hanya berfungsi sebagai bahan pencampur, tetapi juga sebagai media reaksi kimia antara semen dan air yang menghasilkan senyawa pengikat pada mortar maupun beton.

Proses hidrasi terjadi ketika senyawa utama dalam semen bereaksi dengan air dan membentuk produk hidrasi seperti *calcium silicate hydrate* (C-S-H) dan *calcium hydroxide* (Ca(OH)₂). Senyawa C-S-H merupakan hasil hidrasi utama yang berperan besar dalam memberikan kekuatan dan kekakuan pada mortar maupun beton. Semakin

optimal proses hidrasi yang terjadi, maka ikatan antar partikel material akan semakin baik sehingga meningkatkan kualitas mekanik campuran.

Pada pasangan bata, air juga berperan dalam menjaga kualitas ikatan antara mortar dan unit bata. Penyerapan air yang terlalu cepat oleh bata dapat mengurangi kadar air pada mortar sehingga proses hidrasi semen menjadi tidak optimal. Kondisi tersebut dapat menurunkan kualitas lekatan mortar dan mempengaruhi kekuatan pasangan dinding secara keseluruhan. Oleh karena itu, pengendalian penggunaan air menjadi faktor penting dalam menghasilkan mortar dan pasangan bata dengan performa yang baik.

2. 2. 7 Sifat Fisik Bata Merah

A. Dimensi dan Toleransi Bata Merah

Batu bata umumnya berbentuk prisma segi empat panjang, mempunyai rusuk-rusuk yang tajam dan siku, bidang sisinya harus datar, tidak menunjukkan retak-retak dan perubahan bentuk yang berlebihan, tidak mudah hancur atau patah, seragam berbunyi nyaring bila dipukul. Dimensi dan toleransi bata merah dapat dikelompokkan menjadi beberapa modul, seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 3 Ukuran Bata Merah menurut SNI 15-2094-2000

Modul	Ukuran		
	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)
M-5a	190±4	90	65±2
M-5b	190±4	100±3	65±2
M-6a	230±5	110±4	52±3
M-6b	230±5	110±6	55±3
M-6c	230±5	110±6	70±3
M-6d	230±5	110±6	80±3

Sumber: SNI 15-2094-2000

B. Berat Bata Merah

Berat bata merah merupakan salah satu sifat fisik penting yang memengaruhi kestabilan dan kinerja mekanik dinding pasangan. Menurut SNI 15-2094-2000 – Bata Merah Pejal untuk Pasangan Dinding, berat bata berhubungan dengan densitas material, kualitas pembakaran, dan kepadatan tanah liat yang digunakan. Pengukuran berat dilakukan pada bata kering (*oven-dry*) atau bata siap pasang, dan digunakan sebagai acuan untuk menghitung jumlah bata per m² dinding serta beban mati dinding.

Pengaruh Berat Bata:

- a. Bata yang terlalu ringan cenderung memiliki kekuatan tekan rendah, sehingga tidak memenuhi syarat dinding struktural.
- b. Bata yang terlalu berat akan menambah beban mati dinding dan meningkatkan kebutuhan mortar serta struktur penopang.
- c. Berat bata yang konsisten penting untuk memastikan ketebalan dan keseragaman dinding, serta meminimalkan retak akibat perbedaan massa antar bata.

SNI 15-2094-2000 menetapkan batas-batas toleransi untuk bata merah, sehingga setiap bata yang diproduksi harus memenuhi standar berat minimum agar kinerjanya sesuai dengan persyaratan kuat tekan dan daya tahan. Dengan demikian, pengendalian berat bata menjadi salah satu langkah krusial dalam produksi dan penerapan bata merah untuk dinding bangunan.

C. Daya Serap Air pada Bata Merah

Daya serap air bata merah merupakan kemampuan material bata dalam menyerap air melalui pori-pori yang terdapat pada struktur material. Nilai daya serap air menjadi salah satu parameter penting dalam menentukan kualitas bata merah karena berkaitan dengan porositas, kepadatan material, durabilitas, serta kekuatan pasangan dinding. Bata merah dengan daya serap air yang terlalu tinggi cenderung memiliki struktur yang lebih berpori sehingga dapat menurunkan kuat tekan dan ketahanan material terhadap pengaruh lingkungan. Rumus Daya Serap Air Bata Merah menurut SNI 15-2094-2000 adalah:

$$WA = \frac{W_{\text{setelah}} - W_{\text{sebelum}}}{W_{\text{sebelum}}} \times 100 \quad (2.4)$$

Keterangan:

WA = Daya serap air (%)

W_{setelah} = Massa bata setelah direndam dalam air selama 24 jam (gr)

W_{sebelum} = Massa bata sebelum direndam dalam kondisi kering (gr)

Menurut Badan Standardisasi Nasional melalui SNI 15-2094-2000, bata merah yang baik harus memiliki tingkat penyerapan air yang tidak terlalu tinggi agar kualitas dan ketahanan material tetap terjaga. Tingginya daya serap air dapat menyebabkan bata

mudah lembab, memicu retak pada dinding, serta menurunkan kualitas ikatan antara bata dan mortar.

Penelitian pada pasangan bata menunjukkan bahwa sifat material penyusun, termasuk porositas dan daya serap air bata, berpengaruh terhadap perilaku mekanik dinding pasangan bata. Bata dengan porositas tinggi cenderung menghasilkan kualitas ikatan mortar yang kurang baik karena air pada mortar lebih cepat terserap ke dalam bata sehingga proses hidrasi semen menjadi tidak optimal. (Hani, Rini and Nursyamsi, 2025)