

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas landasan teori dan penelitian terdahulu yang mendukung penelitian. Seperti konsep papan serat, plafon beserta fungsinya, serta material *Glassfiber Reinforced Cement* (GRC) sebagai bahan plafon. Selain itu, dibahas pula karakteristik bahan penyusun seperti semen dan *fiberglass*, serta pemanfaatan serat tebu dan cangkang telur sebagai bahan alternatif ramah lingkungan. Dalam penelitian ini mencakup pengujian sifat material berupa uji kuat lentur, penyerapan air, penyerapan panas dan ketahanan terhadap api untuk mengetahui kinerja plafon GRC yang dihasilkan. Pada bagian akhir disajikan kajian literatur untuk mengidentifikasi perkembangan penelitian sebagai dasar acuan penelitian ini.

2.1 Papan Serat

Papan serat (*fiberboard*) merupakan material komposit yang terbuat dari serat kayu atau serat alami lainnya yang diproses secara mekanis maupun kimia, kemudian dipadatkan dengan tekanan dan suhu tinggi dengan atau tanpa bahan perekat. Material ini memiliki struktur yang homogen, permukaan halus, serta sifat mekanik yang relatif baik sehingga banyak digunakan pada aplikasi interior seperti plafon, panel dinding, dan furnitur (Kusmartono et al., 2021; Rahmawati et al., 2020).



Gambar 2.1 Papan serat
Sumber: xingang.com

Klasifikasi papan serat umumnya didasarkan pada nilai kerapatan (*density*) yang berpengaruh langsung terhadap sifat fisik dan mekanik material. Berdasarkan kerapatannya papan serat dikategorikan menjadi 3 jenis, sesuai dengan SNI 01-4449-2006 yaitu:

1. Papan serat kerapatan tinggi (PSKT) dengan tingkat kerapatan $> 0,8 \text{ g/cm}^3$.
2. Papan serat kerapatan rendah (PSKR) dengan tingkat kerapatan $< 0,4 \text{ g/cm}^3$.
3. Papan serat kerapatan sedang (PSKS) dengan tingkat kerapatan berkisar dari $0,4 \text{ g/cm}^3 - 0,8 \text{ g/cm}^3$.

Seiring perkembangan teknologi material, papan serat juga dikembangkan dengan memanfaatkan limbah organik seperti serat tebu sebagai bahan baku alternatif. Selain itu, penambahan bahan *filler* seperti cangkang telur berpotensi meningkatkan kerapatan dan sifat mekanik papan serat, sehingga dapat disesuaikan dengan klasifikasi kerapatan sesuai standar yang berlaku (Kusmartono et al., 2021; Kumar et al., 2020). Pada penelitian ini akan merancang papan serat dengan kerapatan tinggi (PSKT) yang merujuk pada SNI 01-4449-2006. Adapun pengujian yang dilakukan yaitu uji kuat lentur, uji penyerapan air, uji penyerapan panas, ketahanan terhadap api dan kerapatan.

2.2 Plafon

Plafon merupakan sebuah komponen yang penting di dalam bangunan yang memiliki fungsi ganda yakni sebagai penutup atap dan elemen yang berkontribusi terhadap kualitas akustik dan termal di sebuah ruangan. Selain itu, desain plafon yang tepat dan baik juga dapat berpengaruh untuk meningkatkan kenyamanan penghuni yang ada didalamnya dan menciptakan suasana yang diinginkan dalam suatu ruangan (Mulyadi, 2018). Secara umum fungsi plafon adalah:

1. Digunakan sebagai pelindung ruangan untuk mencegah adanya rembesan air atap, serta sebagai peredam suara saat hujan.
2. Menjaga stabilitas suhu ruangan, plafon dapat meningkatkan kenyamanan termal dan akustik di dalam ruangan.

3. Menutupi elemen struktur seperti rangka, instalasi listrik, dan utilitas lainnya sehingga ruangan menjadi lebih rapih dan estetis.

Panel plafon terbuat dari bermacam-macam material, mulai dari material konvensional seperti kayu dan gypsum hingga material komposit seperti *Glassfiber Reinforced Cement* (GRC). Pemilihan material plafon sangat dipengaruhi oleh sifat mekanik, ketahanan terhadap lingkungan, kemudahan pemasangan, dan aspek keberlanjutan (Pacheco Torgal et al., 2021). Pengujian menjadi aspek penting dalam pembuatan plafon GRC. Pengujian dilakukan untuk memastikan plafon yang dibuat sesuai dengan standar dan sesuai dengan fungsinya. Pada penelitian ini dijalankan sejumlah pengujian seperti uji kuat lentur, uji penyerapan air, uji penyerapan panas, ketahanan terhadap api dan kerapatan.



Gambar 2.2 Plafon
Sumber: sunhause

2.2.1 Uji Kuat Lentur

Pada SNI 01-4449-2006 kuat lentur plafon dapat diketahui dengan penerapan persamaan rumus (1):

$$KLMP = \frac{3BS}{2LT^2} \dots \dots \dots rumus(1)$$

Keterangan:

KLMP = Keteguhan lentur modulus patah (kgf/cm²)

S = Jarak sangga (cm)

B = Beban maksimum (kgf)

L = Lebar benda uji (cm)

T = Tebal contoh uji papan serat (cm)

2.2.2 Uji Penyerapan Air

Persentase pada pengujian ini dapat dikalkulasikan dengan membandingkan nilai massa basah dan massa kering. Berdasarkan SNI 01-4449-2006 uji penyerapan air dapat dihitung menggunakan rumus (2):

$$\text{Daya serap} = \frac{mb - mk}{mk} \times 100\% \dots \dots \dots \text{rumus(2)}$$

Keterangan:

mb = massa basah benda uji (gr)

mk = massa kering benda uji (gr)

2.2.3 Uji Penyerapan Panas

Penyerapan panas pada penelitian ini akan diuji menggunakan metode oven, dengan menghitung panas yang diserap dengan rumus(3):

$$Q = m \cdot c \cdot (T2 - T1) \dots \dots \dots \text{rumus(3)}$$

Keterangan:

Q = panas yang diserap (Joule)

m = massa panel (kg)

c = kalor jenis material (J/kg°C)

T1 = suhu awal (°C)

T2 = suhu akhir setelah oven (°C)

$$\hat{Q} = \frac{Q}{t}$$

Keterangan:

$\hat{Q}$ = Laju penyerapan panas (J/s)

t = waktu pengujian (21.600 s)

Material GRC termasuk dalam kategori komposit berbasis semen yang memiliki nilai kalor jenis (c) berkisar antara 800-1000 J/kg°C. Pada penelitian ini digunakan nilai kalor jenis sebesar 900J/kg°C.

2.2.4 Uji Ketahanan Terhadap Api

Pengujian tahan api dilakukan untuk mengetahui kemampuan papan plafon GRC dalam menahan ketahanan api dan suhu tinggi. Pengujian ini bertujuan untuk mengamati perubahan fisik material setelah pembakaran, seperti retak, perubahan warna, deformasi, serta kemampuan material dalam menghambat penjaran api. Pengelompokan data kualitatif berupa kerusakan visual (deformasi dan keretakan) selama pengujian ketahanan api berlangsung, penelitian ini menerapkan metode skoring dengan rentang nilai 1 sampai 4. Tingkatan skor ini disusun dengan mengadopsi dan memodifikasi batasan fungsional dari SNI 1741:2008 (Cara uji ketahanan api komponen struktur bangunan), terkhusus pada aspek penilaian integritas dan kriteria insulasi. Adapun pengkalsifikasian kerusakan menggunakan skor sebagai berikut:

1. Skor 1 (Kerusakan ringan) : Material hanya mengalami degradasi warna/termal tanpa ada cacat fisik.
2. Skor 2 (Kerusakan sedang) : Inisiasi kegagalan fisik berupa retak rambut atau lendutan awal.
3. Skor 3 (Kerusakan berat) : Munculnya retakan struktural yang dalam, terjadi pengelupasan lapisan permukaan skala besar (*spalling*), atau material mulai rapuh dan terkikis parah akibat panas kompor.
4. Skor 4 (Kegagalan total) : Benda uji kehilangan integritas strukturnya secara penuh (api menembus celah atau material runtuh/hancur)

2.2.5 Uji Kerapatan

Pada penelitian ini akan membuat papan serat dengan kerapatan tinggi (PSKT). Berdasarkan SNI 01-4449-2006 (Papan Serat) yang menjadi acuan dasar standarisasi papan serat kerapatan tinggi (PSKT) memiliki kerapatan $>0,84 \text{ gr/cm}^3$.

Benda uji yang dibuat dalam pengujian kerapatan berukuran 10 x 10 cm. Peralatan yang dipakai berupa timbangan dan jangka sorong. Adapun tata cara pengujian ialah:

1. Sampel uji diukur panjangnya pada kedua sisi lebar 25mm dari tepi.
2. Ukur lebar sampel uji pada kedua sisi panjang 25mm dari tepi, lalu ambil nilai rata-rata.
3. Ukur tebal sampel uji 25mm dari sudut, selanjutnya ambil nilai rata-rata.
4. Sampel uji ditimbang pada ketelitian 0,1 gram.
5. Setelah data didapat, lakukan perhitungan dengan rumus kerapatan (g/cm^3) =

$$\frac{\text{Berat}}{\text{Volume Benda Uji}}$$

2.3 *Glassfiber Reinforced Cement (GRC)*

GRC adalah salah satu contoh material yang berasal dari beberapa campuran bahan diantaranya adalah semen portland, pasir, air, dan serat kaca. *Glassfiber Reinforced Cement (GRC)* merupakan material yang cukup sering digunakan dalam bidang konstruksi di masa modern saat ini. Material ini terbentuk dari gabungan antara semen Portland, pasir silika halus, air, dan serat kaca yang tahan alkali sebagai penguat utama. GRC sendiri pertama kali dikembangkan pada akhir tahun 1960-an di Inggris untuk menjawab kebutuhan akan material bangunan yang ringan namun dengan kekuatan struktural yang baik ketika digunakan (Indraswara & Firmandhani, 2019). Seiring berjalannya waktu penggunaan dari GRC sendiri semakin meluas dan sudah banyak digunakan dimana-mana terutama dalam elemen non-struktural seperti beberapa contohnya yaitu, panel dinding dan plafon karena memiliki sifat yang fleksibel ketika digunakan dan estetik.



Gambar 2.3 *Glassfiber reinforced Cement (GRC)*

Sumber: grcboard.com

Secara komposisi, GRC umumnya terdiri dari beberapa bahan diantaranya adalah semen sebagai pengikat utama, pasir silika yang berguna sebagai agregat halus dalam material, air digunakan sebagai pelarutnya, dan tambahan serat kaca yang bertugas memberikan penguatan internal dalam kekuatan lentur. Serat kaca yang digunakan sebagai bahan material harus memiliki sifat tahan terhadap alkali, karena semen sendiri memiliki sifat yang basa dapat merusak serat kaca biasa jika digunakan dalam kurun waktu yang lama.

Serat kaca yang terkandung di GRC biasanya berkisar 3-5% dari berat total campuran, yang signifikan menambah ketahanan retak dan memperpanjang usia pakai material (Yuliana et al., 2020). Selain itu, karakter yang dimiliki oleh GRC sendiri sangat menonjol dibandingkan dengan beton konvensional. GRC mempunyai ketangguhan terhadap beban lentur serta mampu menahan gaya-gaya dinamis akibat dari getaran atau beban angin. Berat jenis dari GRC sendiri berkisar antara 1800 sampai dengan 2000 kg/m³ menjadikannya lebih ringan dibandingkan beton biasa yang umumnya memiliki berat jenis sekitar 2400 kg/m³, hal tersebut menjadikannya sangat ideal digunakan pada bangunan yang tidak menanggung beban struktural langsung, seperti plafon dan dinding partisi (Kusuma & Fitri, 2018). Budiarto (2020) mendefinisikan Plafon GRC atau sebagai salah satu sejenis beton yang diperkuat dengan adanya bahan tambahan yaitu serat kaca, dengan menawarkan daya tahan yang tinggi dan juga kemampuan untuk menahan beban yang sangat dengan baik. Plafon GRC dapat digunakan dalam berbagai bentuk dan juga desain, menjadikannya sebagai salah satu pilihan yang ideal untuk digunakan pada proyek yang memerlukan estetika serta kekuatan.

Menurut (Amiruddin, 2020) plafon GRC bukan hanya memiliki kelebihan kuat dan tahan lama terhadap lingkungan apabila nantinya digunakan, tetapi juga memiliki kemampuan lain yaitu adalah sebagai isolasi yang baik, sehingga dapat digunakan dalam berbagai kondisi lingkungan. Plafon GRC juga menjadi salah satu

solusi modern terbaik untuk plafon yang memerlukan performa tinggi. Berikut **Tabel 2.1** sifat fisis dan mekanik mengacu pada SNI 01-4449-2006 :

Tabel 2.1 Sifat Fisis dan Mekanik Papan Plafon PSKT

Sifat Fisis dan sifat Mekanik	Berdasarkan SNI 01-4449-2006
Densitas	$> 0,84 \text{ g/cm}^3$
Penyerapan Air	$< 35 \%$
Kuat Lentur	$\geq 35 \text{ kgf/cm}^2$

Sumber : SNI 01-4449-2006

GRC juga memiliki keunggulan tersendiri pada ketahanannya terhadap api, serangan dari cuaca yang ekstrem , serta tahan terhadap jamur dan kelembaban, yang menjadikannya cocok ketika diterapkan di wilayah tropis seperti Indonesia.

Dari sisi termalnya, GRC memiliki nilai konduktivitas panas yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan beton biasa, yang membuatnya berfungsi sebagai insulator termal yang cukup baik. Hal ini memberikan kontribusi yang signifikan terhadap sebuah efisiensi energi didalam sebuah bangunan, terutama juga untuk mengurangi beban pendingin pada ruangan di siang hari (Rahman et al., 2022). Meskipun banyak keunggulan yang dimiliki oleh GRC, material ini juga menjadi salah satu material yang memiliki tantangan pada proses produksinya. Proses pencetakan dan pencampurannya sendiri harus memiliki keahlian khusus agar serat kaca yang dimilikinya bisa merata dalam campuran, Selain itu, serat kaca alkali memiliki harga yang relatif tinggi, sehingga biaya untuk produksinya lebih mahal dibandingkan materi plafon konvensional lainnya (Anwar et al., 2020). Dengan harganya yang tinggi pun sebanding dengan daya tahan untuk jangka panjang yang dimilikinya. Namun demikian, biaya ini sebanding dengan daya tahan, keindahan, dan efisiensi jangka panjang yang ditawarkan oleh GRC.

2.3.1 *Fiberglass* (Serat Kaca)

Fiberglass merupakan produk hasil olahan dari peleburan kaca berbasis silika yang ditarik menjadi bertekstur serat, tipis, dan kuat. Komponen utama *fiberglass* adalah

silika (SiO_2) sebagai komponen utama, disertai oksida lain seperti kalsium oksida (CaO), aluminium oksida (Al_2O_3), dan magnesium oksida (MgO) yang berfungsi memberikan sifat mekanik yang baik, seperti kuat tarik tinggi, ringan, serta ketahanan terhadap korosi (Fiore et al., 2021).



Gambar 2.4 *Fiberglass*
 Sumber: *topolocfrit.com*

Dalam aplikasi pada material berbasis semen, jenis *fiberglass* yang digunakan adalah *alkali-resistant glass fiber (AR-glass)*. Serat ini mengandung zirkonium oksida (ZrO_2) yang berfungsi meningkatkan ketahanan terhadap lingkungan basa dari matriks semen. Kandungan ZrO_2 yang tinggi terbukti mampu mengurangi degradasi serat sehingga meningkatkan durabilitas komposit (Zhang et al., 2022).

Penambahan *fiberglass* ke dalam matriks semen menghasilkan material komposit dengan peningkatan sifat mekanik, khususnya kuat tarik dan kuat lentur. Selain itu, serat kaca berperan dalam menghambat propagasi retak (*crack propagation*) sehingga meningkatkan ketahanan retak dan daktilitas material (Dong et al., 2020). Distribusi dan orientasi serat yang merata dalam campuran juga sangat mempengaruhi performa mekanik akhir dari komposit tersebut (Fiore et al., 2021). Dengan demikian, *fiberglass* berfungsi sebagai tulangan mikro yang efektif dalam meningkatkan kinerja material berbasis semen, khususnya pada aplikasi plafon GRC yang membutuhkan kekuatan dan ketahanan terhadap retak.

2.3.2 Semen

Semen merupakan serbuk halus perekat agregat yang dapat mengisi pori pori sehingga memiliki beban massa. Semen portland berasal dari campuran batu kapur dan tanah liat pada suhu tinggi hingga membentuk klinker dari kalsium silikat yang

bersifat hidrolitik (mudah mengeras saat bersentuhan dengan air) dengan sedikit tambahan gypsum. Selain itu, didalam semen Portland juga terkandung CaO (kalsium oksida) sebagai komponen utama yang mencapai sekitar 60–67%, SiO_2 (silika) sekitar 17–25%, serta Al_2O_3 (alumina) dan Fe_2O_3 (besi oksida) dengan masing-masing dalam kisaran 3–8% (Wibowo, 2019). Berdasarkan SNI 15-2049-2004 semen portland dibagi menjadi 5 jenis :

1. Tipe I : Semen portland yang biasa digunakan dalam konstruksi tanpa memerlukan persyaratan khusus.
2. Tipe II : Semen portland digunakan untuk konstruksi yang memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Tipe III : Semen portland digunakan memiliki kekuatan awal yang tinggi sehingga cepat mengeras.
4. Tipe IV : Semen portland yang penggunaannya memerlukan panas hidrasi rendah.
5. Tipe V : Semen portland yang penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat, karena biasa digunakan untuk bangunan di area pantai.

Pada penelitian ini, jenis semen portland yang digunakan adalah tipe I. Karena semen portland biasa digunakan dalam konstruksi tanpa persyaratan khusus.

2.4 Serat Tebu

Serat tebu atau bagasse adalah bentuk residu terserat yang dapat dihasilkan dari proses pengujian tebu dalam suatu industri gula, kandungan-kandungan yang dimiliki oleh serat tebu cukup banyak diantaranya adalah selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Serat tebu sangat bermanfaat terutama di bidang industri banyak hal dapat menggunakan serat tebu sebagai bahan pendukung , mulai dari pembuatan bahan bangunan hingga sebagai bahan baku untuk energi yang terbarukan, semua itu menggunakan serat tebu (Santoso, 2020). Menurut (Nurhayati, 2018) serat tebu juga memiliki kandungan dari selulosa yang cukup tinggi dan dapat berguna apabila dimanfaatkan yakni sebagai bahan dasar dalam produk biodegradable serta digunakan pada pengaplikasian yang ramah lingkungan lainnya.



Gambar 2.5 Serat Tebu
Sumber: castfoundation.id

Menurut Putra et al. (2021) kandungan selulosa yang terdapat didalam serat tebu sangat bermanfaat untuk meningkatkan daya tahan material terhadap beban tarik serta lentur sehingga serat tebu berguna apabila dimanfaatkan dapat membuat produk komposit yang berbahan serat tebu menjadi lebih kokoh dan juga tahan lebih lama. Menurut (Santoso, 2021) serat tebu juga mengandung lignin yang cukup tinggi dan apabila dimanfaatkan sebagai bahan tambahan campuran pembuatan plafon GRC kandungan tersebut sangatlah bermanfaat karena dapat memberikan ketahanan terhadap kelembaban dan mampu menjaga stabilitas plafon GRC pada lingkungan yang lembab ataupun basah.

Menurut penelitian Wulandari (2018) apabila serat tebu dimanfaatkan pada bahan campuran pembuatan plafon GRC dan menambahkannya sebanyak 5-10% kedalam bahan campuran plafon GRC akan dapat berguna untuk menambahkan kekuatan lenturnya hingga mencapai 20% dibandingkan dengan plafon GRC konvensional atau standar tanpa penguat serat alami. Hal ini disebabkan karena kemampuan dari serat tebu untuk mendistribusikan secara merata keseluruhan bagian material yang dihasilkan. Dengan menambahkan serat tebu pada bahan campuran di plafon GRC akan dapat membuat plafon GRC semakin diperkuat dengan adanya kandungan serat tebu didalamnya, dan kuat tariknya 15-25% lebih tinggi daripada plafon GRC konvensional atau standar. Hal ini menunjukkan bahwa serat tebu yang

digunakan sebagai bahan campuran material dapat meningkatkan daya tahan plafon terhadap retak akibat dari beban tarik (Sudarmoko, 2019)

2.5 Cangkang Telur

Menurut Nurhayati (2020) Cangkang Telur merupakan salah satu bagian dari telur yang berupa lapisan pelindung terluar yang mengandung kalsium karbonat (CaCO_3) adalah sebagai salah satu komponen utama yang ada di dalam Cangkang Telur tersebut, kalsium karbonat yang terkandung di dalam cangkang telur tersebut berbentuk kristal kalsit, yang terdistribusi dengan merata keseluruh bagian dan membentuk suatu lapisan pelindung yang keras serta tahan terhadap segala jenis benturan ataupun tekanan, kemudian ada juga beberapa jumlah kecil dari protein. Menurut Hidayat (2019) protein yang terkandung di dalam cangkang telur tersebut juga berfungsi sebagai pelindung mikro terhadap beberapa kerusakan mekanis yang terjadi. Kemudian ada juga kandungan kecil mineral lain yang juga terkandung di dalam Cangkang Telur tersebut.

Tabel 2.2 Kandungan Cangkang Telur

No	Komponen	Kandungan (%)
1.	Kalsium karbonat (CaCO_3)	94-97 %
2.	Magnesium karbonat (MgCO_3)	0,5 -1 %
3.	Kalsium fosfat	0,5 -1 %
4.	Bahan organik (protein)	3- 4 %
5.	Unsur jejak (Zn, Fe, Mn, Cu)	< 1 %
6.	Air (kelembaban)	< 1 %

sumber : Gautron et al.,(2021).

Selain kandungannya, ada juga jenis-jenis dari cangkang telur itu sendiri yang umum digunakan dalam material yakni meliputi cangkang telur ayam ras (ayam negeri), ayam kampung, dan dalam beberapa studi juga mencakup telur bebek dan telur puyuh. Cangkang telur ayam ras memiliki karakteristik permukaan yang lebih halus, serta lebih mudah untuk diperoleh dalam jumlah besar karena sudah banyak terdapat peternakan intensif. Kandungan kalsium karbonat yang dimiliki dari cangkang telur ini juga tinggi, mencapai sekitar 94–97%, dan massa jenis yang dimilikinya adalah berkisar antara $2,71 \text{ g/cm}^3$, menjadikannya cangkang telur ini

menjadi salah satu bahan yang ideal untuk digunakan dalam sebuah material tambahan (Ismail et al., 2020). Sedangkan untuk jenis cangkang telur ayam kampung sendiri biasanya memiliki ketebalan kulit yang sedikit lebih besar dibanding ayam ras dan warnanya juga lebih gelap, dengan memiliki struktur mikroskopis yang lebih padat sehingga memiliki keunggulan dapat memberikan ketahanan mekanik yang lebih tinggi, namun kekurangannya terdapat pada ketersediaannya lebih terbatas dan lumayan sulit untuk dicari karena tidak diproduksi secara masif (Lubis et al., 2018).



Gambar 2.6 Cangkang Telur
Sumber: rri.id

Cangkang telur bebek memiliki ukuran yang jauh lebih besar dan permukaannya yang cenderung relatif lebih kasar dibandingkan dengan ayam ras maupun ayam kampung. Kandungan CaCO_3 atau kalsium karbonat yang dimiliki dalam cangkang telur bebek sedikit lebih rendah, yakni berkisar antara 88–92%, namun keunggulannya terletak pada ketebalan kulit yang dimilikinya dan juga cangkang telur bebek ini memiliki kekuatan tekan awal yang lebih tinggi dibandingkan yang lainnya (Nugraha & Sari, 2021). Adapun cangkang telur puyuh, meskipun bentuk fisiknya lebih kecil dibandingkan dengan jenis cangkang telur yang lain, namun cangkang telur ini memiliki keunikan pada kandungan CaCO_3 atau kalsium karbonatnya yang tinggi mencapai 95–96%, serta mengandung kandungan lain seperti magnesium karbonat, protein membran, dan silika (SiO_2) dalam jumlah yang mikro (Hendrawan & Putri, 2020).

Menurut (Haryanto, 2020) yang menyatakan bahwa bagian cangkang telur sangat bermanfaat dalam bidang pembangunan karena cangkang telur sendiri dapat berguna sebagai bahan tambahan material didalam campuran pembuatan suatu

beton karena terdapat kandungan yang dapat mampu meningkatkan ketahanan terhadap suatu keretakan dan juga dapat memperbaiki sifat-sifat mekanik dari material tersebut tanpa harus meningkatkannya dengan biaya produksi tambahan yang signifikan. Selain itu kandungan pada Cangkang telur yakni kalsium karbonat juga dapat digunakan dalam bahan tambahan pada pembuatan papan bangunan yaitu fiberboard atau papan komposit.

Magnesium yang terkandung di dalam cangkang telur dapat berguna sebagai bahan penguat dalam campuran komposit untuk pembuatan dinding yang dapat menghasilkan dinding yang ringan namun memiliki kuat yang sangat kokoh. Sehingga hal tersebut dapat mengurangi struktur dari bangunan. Selain itu magnesium yang terkandung di dalam cangkang telur juga dapat berfungsi sebagai bahan tradisional dalam pembuatan papan gypsum dengan memberikan alternatif yang lebih efisien dalam produksi material (Nurhayati, 2020)

Pada Cangkang Telur juga mengandung Fosfor yang dapat digunakan sebagai salah satu bahan aditif dalam proses pembuatan beton yang ramah lingkungan serta dapat meningkatkan ketahanan kimia dan mekanis dari suatu material yang digunakan tersebut. Fosfor berguna untuk meningkatkan interaksi yang terjadi antar partikel dalam campuran pembuatan beton dan bisa mengurangi kebutuhan air yang digunakan pada saat proses pencampuran (Hidayat, 2019).

Kandungan pada Cangkang telur berupa protein dapat berguna sebagai pengganti dari perekat sintetis yang biasanya digunakan dalam produk kayu atau papan partikel untuk saling merekatkan secara sintetis. Hal tersebut akan membantu mengurangi senyawa organik yang dapat berbahaya terhadap Kesehatan manusia dan lingkungannya (Santoso, 2021).

2.6 Analisis Perbandingan Biaya Produksi Material GRC

Analisis biaya dalam penelitian ini difokuskan pada biaya bahan (*material cost*) tanpa memperhitungkan tenaga kerja, alat, dan biaya operasional lainnya.

Pendekatan ini digunakan untuk melihat secara langsung pengaruh perubahan komposisi bahan terhadap total biaya material.

Pada *Glassfiber Reinforced Cement* (GRC), biaya material utama terdiri dari semen, pasir silika, dan serat kaca. GRC konvensional menggunakan komposisi standar, sedangkan GRC campuran memanfaatkan bahan substitusi (serat tebu dan cangkang telur) untuk mengurangi penggunaan material utama yang lebih mahal. Perhitungan biaya material dilakukan dengan cara:

- a. Biaya produksi total dihitung menggunakan rumus (5)

$$C_{total} = \sum(Q_i \times H_i) \dots \dots \dots rumus(5)$$

Keterangan:

C_{total} = total biaya material (Rp)

Q_i = jumlah masing-masing bahan

H_i = harga satuan bahan

- b. Biaya per panel dapat dihitung menggunakan rumus(6)

$$C_u = \frac{C}{n} \dots \dots \dots rumus(6)$$

Keterangan:

C_u = biaya per panel

n = jumlah panel yang dihasilkan

- c. Selisih biaya (efisiensi) dihitung menggunakan persamaan rumus(7)

$$\Delta C = C_{Konvensional} - C_{Inovasi} \dots \dots \dots rumus(7)$$

Jika $C > 0$ inovasi lebih murah

Jika $C < 0$ inovasi lebih mahal

- d. Persentase penghematan biaya

$$Efisiensi(\%) = \frac{C_{Konvensional} - C_{Inovasi}}{C_{Konvensional}} \times 100\% \dots \dots \dots rumus(8)$$

Analisis biaya produksi dilakukan dengan menghitung total biaya material pada masing-masing variasi campuran. Hasil perhitungan GRC konvensional dan GRC inovasi memberikan perbedaan biaya sebesar C, dengan tingkat efisiensi X%. Dengan demikian, selisih biaya antara GRC konvensional dan GRC campuran dapat dianalisis secara langsung berdasarkan perubahan komposisi bahan.

2.7 Penelitian Terdahulu

Dalam sebuah penelitian pasti memerlukan acuan dan perbandingan dari penelitian yang sudah ada. Maka, pada penelitian ini perlu dilakukan perbandingan dari beberapa penelitian terdahulu sebagai acuan dengan metode eksperimen, yang dijelaskan pada tabel berikut :

Tabel 2.3 *Literatur Review* Penggunaan Serat Tebu

No	Sumber	Persentase	Parameter yang diuji	Optimum
1.	Nor Azlina Ramlee, at al (2021)	Penelitian ini meninjau terkait potensi serat kelapa dan ampas tebu untuk isolasi termal.	Isolasi termal, penyerapan suara, dan sifat fisik, mekanik dari serat kelapa dan ampas tebu	Telah ditemukan bahwa penambahan serat SCB untuk membentuk material serat padat memengaruhi konduktivitas termalnya, k, sehingga peningkatan kandungan serat secara efektif menurunkan konduktivitas termal
2.	Shahrzad Mehrzad et al., (2022)	Penelitian ini menguji beberapa serat, dimana Serat limbah ampas tebu sebagai material baru untuk isolasi termal dan peredam suara pada bangunan berkelanjutan	Isolasi termal dan peredam suara	Serat tebu, sebagai bahan konstruksi berkelanjutan, menawarkan kinerja termal dan akustik yang kompetitif dibandingkan dengan bahan serupa yang berasal dari sumber daya alam tak terbarukan maupun bahan alami lainnya.
3.	Andriansyah dan Kurnia, (2023)	Penelitian ini menggunakan serat tebu berukuran 5-8 cm dengan ketebalan tidak lebih dari 0,5 cm. Variasi campuran serat tebu yang digunakan adalah 1%, : 2% : 3% dari berat semen.	Sifat mekanis (Kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur)	Pada pengujian sifat mekanis pada beton, mendapatkan persentase optimum penggunaan serat tebu 1%.
4.	Sayid muhammad et al., (2023)	Variasi campuran batang tebu : abu sekam padi : resin polyester yaitu dengan perbandingan Variasi A 20% : 20% : 60% Variasi B 25% : 25% : 50% Variasi C 30% : 30% : 40%	Konduktivitas termal, dan penyerapan suara	Konduktivitas termal dan penyerapan suara paling optimum didapatkan dari variasi A dengan 20% batang tebu, 20% abu sekam padi, dan 60% resin polyester

No	Sumber	Persentase	Parameter yang diuji	Optimum
5.	Basuki et al., (2024)	Bahan penyusun genteng beton yang berupa pasir, kapur mill, semen, air dan ampas tebu dengan variasi campuran yaitu : Asli 1 : 2 : 4 A 1 : 2 : 4 + 1% B 1 : 2 : 4 + 2 % C 1 : 2 : 4 + 3% D 1 : 2 : 4 + 4% E 1 : 2 : 4 + 5%	Kuat lentur dan daya serap air genteng beton	Hasil kuat lentur optimum didapat dari variasi asli 1 : 2 : 4 tanpa campuran serat tebu dengan hasil kuat lentur 1530 Newton. Pada pengujian daya serap air variasi A 1 : 2 : 4 + 1% dengan hasil 7,02%
6.	Martha Manganta et al., (2024)	Variasi ampas tebu 0% ; 5% ; 10% ; 15% ; 20%	Kuat tekan	Kuat tekan optimum diperoleh dari variasi ampas tebu 5%
7.	Rahmadi (2024)	campuran: 60% <i>fiberglass</i> , 30% bambu, 10% serat tebu	kuat lentur, densitas, biaya produksi	Komposisi optimum 10% serat tebu menghasilkan kuat lentur 38,787 kgf/cm ² dan biaya lebih murah dibandingkan GRC konvensional
8.	ScienceDirect (2024)	Serat tebu 20-30% dan <i>fiberglass</i> 10-25%	Uji kuat tarik, fatigue, dan siklus kelelahan	Kuat tarik optimum berada pada kombinasi hibrid (20-30% tebu + <i>fiberglass</i>), menunjukkan serat tebu efektif sebagai pengganti parsial.
9.	Sutrisno (2025)	0-10% substitusi serat tebu pada <i>fiberglass</i>	Uji kuat tarik, regangan, dan modulus elastisitas	Kuat tarik tertinggi pada 0% serat tebu +10% <i>fiberglass</i> . Substitusi serat tebu murni menurunkan kekuatan, tetapi kombinasi hibrid masih potensial.
10.	Athilah & Widjanarko (2025)	Substitusi serat tebu 5%; 10%; 15%; 20%	Kuat impact, energi serap	Optimum pada 15% serat tebu dengan <i>impact strength</i> tertinggi (0,085J/mm ²)

Setelah melakukan studi pustaka dapat disimpulkan bahwa untuk membuat plafon yang memenuhi standar SNI membutuhkan serat untuk menutup pori pada permukaan agar meminimalisir penyerapan. Pemanfaatan serat tebu sebagai substitusi *fiberglass* dalam pembuatan plafon GRC dapat mempengaruhi karakteristik pada plafon. Kandungan silika dalam serat tebu yang memiliki sifat

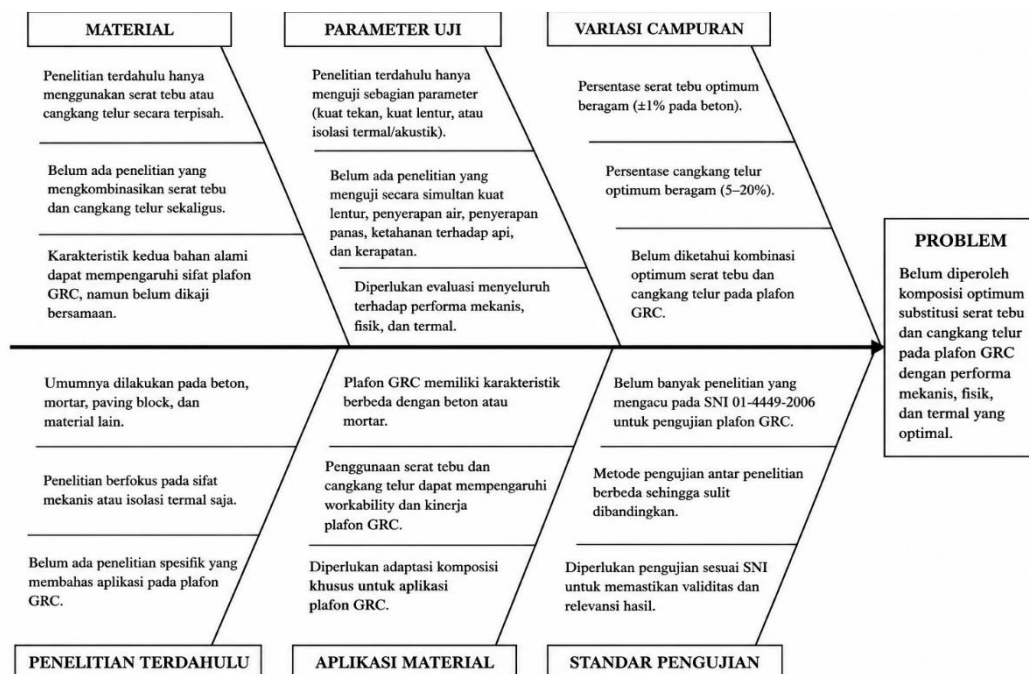
isolator yang berarti buruk dalam menghantarkan panas, berpotensi dapat menurunkan konduktivitas termal pada plafon. Selain itu, penggunaan serat tebu dapat mempengaruhi kuat lentur pada material komposit plafon, bergantung pada komposisi yang digunakan. Struktur serat tebu yang berpori dapat meningkatkan kemampuan penyerapan air. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan melakukan penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan proporsi serat tebu sebagai substitusi *fiberglass* yang dapat mempengaruhi kuat lentur, konduktivitas termal, dan penyerapan air, agar dapat menghasilkan material plafon GRC yang inovatif dan berkelanjutan.

Tabel 2.4 *Literatur Review Penggunaan Cangkang Telur*

No	Sumber	Persentase	Parameter yang diuji	Optimum
1.	Miharti Isria dan Dodit Ardiatama, (2020)	Komposisi campuran cangkang telur yang digunakan sebesar 0% ; 10% ; 15% ; 20%	Kuat tekan dan kuat lentur pada paving block	Nilai optimum kuat tekan dan kuat lentur diperoleh dari komposisi campuran 20% cangkang telur
2.	Gorge W.Y. Tumbel et al, (2020)	Variasi serbuk cangkang telur yang digunakan sebagai substitusi semen yaitu 0% ; 2,5% ; 5% ; 7,5% ; dan 10%	Kuat tekan dan Kuat tarik lentur	Kuat tekan optimum didapatkan pada persentase 5% dan kuat tarik lentur optimum terdapat pada persentase serbuk cangkang telur
3.	Ray Sahendra, (2020)	Komposisi campuran serbuk cangkang telur sebagai pengganti parsial semen yang digunakan sebesar 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10%	Kuat tekan	Dari penelitian ini didapatkan nilai kuat tekan optimum pada komposisi serbuk cangkang telur 6%
4.	Priskah Familia et al, (2021)	Variasi serbuk cangkang telur sebagai substitusi semen yang digunakan adalah sebesar 0% ; 2,5% ; 5% ; 7,5% ; dan 10%	Kuat tekan dan kuat tarik langsung beton	Hasil penelitian substitusi parsial semen menggunakan cangkang telur pada pembuatan beton ini memperoleh nilai optimum pada kuat tekan dan kuat tarik pada variasi 2,5%.
5.	R.F.Pohan dan M.R.Rambe, (2022)	Bubuk cangkang telur sebagai substitusi sebagian semen dibuat dengan persentase komposisi 0% ; 2,5% ; 5% ; 7,5% ; 10%.	Kuat tekan beton	Campuran beton dengan campuran cangkang telur mencapai kuat tekan optimal pada variasi 2,5% cangkang telur
6.	Angga Adiaks et al, (2023)	Variasi substitusi semen menggunakan cangkang telur yang digunakan adalah 0% ; 5% ; 10% ; dan 15%	Kuat tekan dan nilai daya serap	Kuat tekan optimum diperoleh pada variasi cangkang telur 5% dan untuk daya serap optimum berbanding terbalik

No	Sumber	Persentase	Parameter yang diuji	Optimum
7.	Mushtaq et al. (2025)	Bubuk cangkang telur 5%; 10%; 15%	Kuat tekan, <i>workability</i>	dengan kuat tekan yaitu pada variasi 15% Optimum pada 10% substitusi cangkang telur.

Berdasarkan studi pustaka dari beberapa penelitian terdahulu, persentase optimal substitusi parsial semen dari serbuk cangkang telur untuk aplikasi konstruksi umumnya berkisar pada angka yang relatif kecil. Pada **Tabel 2.4** menunjukkan bahwa penambahan serbuk cangkang telur hingga batas tertentu dapat mempengaruhi kuat lentur, kuat tekan, dan permeabilitas pada beton, namun peningkatan persentase substitusi di atas ambang batas tertentu justru dapat memberikan dampak negatif. Oleh karena itu, persentase optimal menjadi krusial untuk memastikan bahwa produk GRC yang dihasilkan tetap memenuhi standar kualitas yang dipersyaratkan.



Gambar 2.7 Fishbone diagram

Berdasarkan kajian literatur, serat tebu berpotensi meningkatkan kuat lentur, sedangkan cangkang telur mampu meningkatkan kuat tekan sebagai substitusi semen. Namun, hasil penelitian menunjukkan variasi persentase optimum yang

belum konsisten serta masih terbatas pada beton konvensional. Pada **Gambar 2.7** penelitian umumnya hanya mengkaji satu jenis material secara terpisah dan belum banyak diterapkan pada plafon GRC. Pengujian yang dilakukan juga masih parsial dan belum mencakup aspek penting seperti kuat lentur, penyerapan air, penyerapan panas dan ketahanan terhadap api secara bersamaan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang mengkaji kombinasi serat tebu dan cangkang telur pada plafon GRC secara komprehensif untuk memperoleh komposisi optimum yang efektif dan aplikatif.