



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

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. Yahya dkk. (2025) menjelaskan bahwa papan komposit terdiri dari serat sebagai penguat, resin sebagai matriks pengikat, dan katalis, dengan serat alami seperti serat kayu dan tandan kosong kelapa sawit menghasilkan struktur yang relatif padat dan homogen, sehingga umum diaplikasikan pada furnitur, panel dinding, dan pintu geser.



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 filler cangkang telur berpotensi meningkatkan kerapatan dan sifat mekanik papan komposit. Namun, jumlah *filler* perlu dioptimalkan agar kenaikan kerapatan tidak melampaui klasifikasi yang ditetapkan dalam standar produk papan (Bani dkk., 2025; Thairq dkk., 2026). 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. Pengaturan tinggi, warna, dan pencahayaan pada plafon dapat memengaruhi persepsi ruang serta membantu menciptakan suasana interior yang lebih nyaman sesuai kebutuhan pengguna (Al-zamil, 2017). 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 estetik.

Panel plafon dapat dibuat dari kayu lapis, gypsum atau *plaster of Paris*, PVC, hingga material komposit seperti GRC. Pemilihannya perlu mempertimbangkan kekuatan mekanik, daya tahan, kemudahan pemasangan, dampak lingkungan, dan potensi daur ulang material (Anwar & Ardhiati, 2023; Darbarsing dkk., 2025; Williams dkk., 2025). 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):

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

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):

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

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 penyaluran 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 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 $10 \times 10 \text{ cm}$. 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 merupakan material komposit yang tersusun dari semen, agregat, air, dan serat kaca yang tersebar secara acak di dalam matriks beton, elemen GRC mulai digunakan dalam sektor konstruksi sejak akhir tahun 1960-an dan tetap banyak digunakan hingga saat ini (Baybure, 2024). 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.

Kandungan serat kaca dalam campuran GRC umumnya bervariasi antara 0,8% hingga 2% dari berat total campuran, di mana persentase ini berpengaruh signifikan terhadap nilai kekuatan lentur serta ketahanan material terhadap retak. Penambahan serat kaca yang melebihi batas optimal justru dapat menurunkan kepadatan campuran GRC sehingga kemampuan material dalam mendistribusikan gaya lentur menjadi berkurang (April dkk., 2024). GRC memiliki keunggulan karakteristik dibandingkan beton konvensional, terutama dalam hal ketangguhan menahan beban lentur serta kapasitas peredaman energi terhadap gaya dinamis akibat getaran (Baybure, 2024). Penambahan serat kaca pada matriks GRC secara signifikan meningkatkan energi patah (*fracture energy*) dan daya serap energi tarikan, sehingga material ini lebih tahan terhadap beban kejut dibandingkan beton tanpa serat. Dari segi berat, GRC memiliki densitas berkisar 1800-2000 kg/m³, jauh lebih ringan dibandingkan beton konvensional yang umumnya mencapai 2400 kg/m³, sehingga ideal digunakan pada elemen non-struktural seperti plafon dan partisi dinding (Baybure, 2024).

Plafon GRC merupakan salah satu produk beton yang diperkuat dengan serat kaca, sehingga memiliki daya tahan tinggi serta kemampuan menopang beban yang baik dibandingkan material plafon konvensional (April dkk., 2024). Material ini dapat dicetak dalam berbagai bentuk dan desain, sehingga menjadikannya pilihan yang ideal untuk proyek konstruksi yang mengutamakan nilai estetika sekaligus kekuatan struktural (April dkk., 2024).

Menurut Sihotang dkk. (2021), plafon GRC tidak hanya unggul dalam hal kekuatan dan ketahanan terhadap kondisi cuaca maupun suhu ekstrem karena mengandung serat alkali resisten, tetapi juga berfungsi sebagai peredam suara yang baik sehingga sesuai diterapkan pada berbagai kondisi lingkungan bangunan. 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 g/cm ³
Penyerapan Air	< 35 %
Kuat Lentur	≥ 35 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, Panel GRC pada dinding luar bangunan mampu menurunkan perpindahan panas hingga 60,47 persen dibandingkan material konvensional, sehingga menghasilkan penghematan konsumsi energi bangunan sampai 10,42 persen, terutama untuk kebutuhan pendinginan ruangan (Moraekip, 2023). Di balik berbagai kelebihanannya, GRC juga memiliki kekurangan, yaitu material ini mudah retak pada saat proses pengomponan sehingga membutuhkan ketelitian khusus dalam pengerjaannya, serta harga GRC relatif lebih mahal dibandingkan dengan material beton konvensional lainnya (Sihotang dkk., 2021). Namun demikian, biaya yang cukup tinggi ini sebanding dengan daya tahan, keindahan, dan efisiensi jangka panjang yang ditawarkan oleh GRC.

2.3.1 Fiberglass (Serat Kaca)

Fiberglass merupakan hasil olahan dari peleburan kaca yang ditarik menjadi serat halus, tipis, dan kuat, dengan komposisi kimia yang sebagian besar terdiri dari silikon dioksida (SiO_2), sementara sisanya berupa oksida-oksida lain seperti aluminium (Al), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan natrium (Na) yang berperan penting dalam menentukan sifat mekanik serta karakteristik komposit yang dihasilkan (Fadilah, 2020).



Gambar 2.4 Fiberglass

Sumber: topolocfrt.com

Dalam aplikasi pada material berbasis semen, digunakan jenis serat kaca tahan alkali (AR-glass) karena serat kaca konvensional sulit digunakan bersama beton yang bersifat basa. Seiring waktu, degradasi pada serat kaca tetap dapat terjadi akibat pertumbuhan cacat mikro di permukaan serat, sehingga penambahan material pozzolan dan nanomaterial terbukti efektif memperlambat proses degradasi tersebut dan meningkatkan durabilitas komposit GRC secara keseluruhan (Baybure, 2024).

Penambahan fiberglass ke dalam campuran beton berpotensi meningkatkan nilai kuat tarik belah dan kuat tarik lentur beton, dengan hasil optimum diperoleh pada variasi serat sebesar 0,19 persen untuk kuat tarik belah dan 0,28 persen untuk kuat tarik lentur. Selain meningkatkan sifat mekanik tersebut, penambahan serat kaca ini juga terbukti mengurangi jumlah retak pada beton dibandingkan beton tanpa campuran fiberglass, sehingga berkontribusi pada peningkatan daktilitas material (Suci dkk., 2024). Menurut April dkk. (2024), perbandingan komposisi antara serat kaca dan campuran semen sangat berpengaruh terhadap performa mekanik akhir GRC, di mana pada komposisi serat sebesar 0,8 persen diperoleh nilai kuat lentur tertinggi sebesar 56,84 kgf/cm². Hal ini menunjukkan bahwa serat kaca berfungsi sebagai tulangan mikro yang efektif dalam meningkatkan kekuatan dan ketahanan material berbasis semen terhadap retak, sehingga sangat relevan untuk aplikasi plafon GRC yang menuntut performa tinggi.

2.3.2 Semen

Semen merupakan bahan berbentuk serbuk halus yang berfungsi sebagai perekat agregat sehingga mampu mengisi pori-pori material dan menahan beban massa struktur bangunan (Irawan, 2017). Semen Portland dihasilkan melalui pembakaran batu kapur dan tanah liat pada suhu tinggi hingga terbentuk klinker berbahan dasar kalsium silikat yang bersifat hidrolis, yakni dapat mengeras saat bereaksi dengan air, dengan tambahan sedikit gipsum (Nasrullah, 2020). Komposisi kimia utama semen Portland terdiri dari kalsium oksida (CaO) dengan kadar rata-rata sekitar 58-59%, silikon dioksida (SiO₂) sekitar 22-23%, aluminium oksida (Al₂O₃) sekitar

7%, dan besi (III) oksida (Fe_2O_3) sekitar 3,5-4% (Irawan, 2017). 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 ampas tebu adalah residu berserat hasil samping dari proses pengolahan tebu di industri gula. Serat tebu tersusun atas komponen lignoselulosa berupa, selulosa, hemiselulosa, dan lignin, dengan proporsi yang dapat berubah setelah melalui proses perlakuan kimia tertentu (Andrianto dkk., 2024). Serat tebu berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan penguat pada pembuatan papan komposit karena ketersediaannya yang melimpah dan harganya yang murah, sehingga mendukung penggunaannya sebagai bahan bangunan alternatif (Fatmayati dkk., 2021). Menurut Kustiyah dkk. (2023), serat tebu merupakan limbah agroindustri yang memiliki kandungan selulosa relatif tinggi, yaitu sekitar 45,96 persen, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan bioplastik atau produk biodegradable lainnya. Pemanfaatan limbah serat tebu ini juga menjadi solusi untuk permasalahan lingkungan sekaligus menghasilkan aplikasi yang lebih ramah lingkungan.



Gambar 2.5 Serat Tebu
Sumber: castfoundation.id

Kandungan selulosa yang terdapat pada serat tebu berperan penting dalam meningkatkan daya tahan material terhadap beban tarik dan lentur, sehingga penambahan serat tebu pada matriks polyester menghasilkan komposit yang lebih kokoh dan tahan lama (Hermawan dkk., 2024). Serat tebu mengandung selulosa sebesar 26-43% dan lignin sebesar 13-22%, kandungan tersebut membuat serat tebu memiliki karakteristik yang mirip dengan serat kaca sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan pengganti fiberglass pada pembuatan plafon GRC. Kandungan lignin dan selulosa pada serat tebu memberikan sifat tidak mudah ditembus air, yang menjadi salah satu syarat penting bagi material plafon agar tetap stabil pada kondisi lingkungan yang lembab atau basah (Rahmadi & Adil, 2024).

Menurut Jeny Alifianti (2019), penambahan serat tebu ke dalam campuran plafon GRC berpotensi dapat meningkatkan nilai kuat lentur material tersebut, dengan hasil optimum diperoleh pada komposisi serat sebesar 30% dan usia benda uji 28 hari yang mencapai nilai kuat lentur 11,86 Mpa. Kemampuan serat tebu untuk terdistribusi secara merata pada material campuran menjadikannya berpotensi sebagai substitusi serat fiberglass, sehingga plafon GRC yang dihasilkan tetap memiliki kekuatan mekanik yang memadai sekaligus lebih ekonomis (Rahmadi & Adil, 2024).

2.5 Cangkang Telur

Cangkang telur merupakan lapisan pelindung terluar dari telur yang tersusun terutama dari kalsium karbonat (CaCO_3) dalam bentuk kristal kalsit, serta mengandung protein dan matriks organik dalam jumlah yang lebih kecil. Kalsium

karbonat menyusun sekitar 94-96% dari komposisi cangkang telur, sementara sisanya terdiri dari kalsium fosfat, magnesium karbonat, dan material organik lainnya (Fitriani dkk., 2024). Selain itu, cangkang telur juga mengandung sejumlah kecil mineral lain seperti magnesium, fosfor, dan silika yang turut berperan dalam membentuk struktur dan karakteristik cangkang secara keseluruhan (Setiyawan dkk., 2022).

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 dkk., (2021).

Selain kandungannya, ada juga jenis - jenis limbah cangkang telur yang dapat dipertimbangkan sebagai sumber bahan dalam pengembangan material meliputi cangkang telur ayam ras, ayam kampung, itik atau bebek, serta puyuh. Pengelompokan ini penting karena tiap jenis memiliki karakteristik fisik dan komposisi yang dapat berbeda (Dewi dkk., 2023). Cangkang telur ayam ras berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan tambahan karena tersedia dari limbah peternakan ayam petelur dan konsumsi rumah tangga. Hasil penetapan secara kompleksometri menunjukkan bahwa serbuk cangkang telur ayam ras mengandung kalsium karbonat sebesar 90%, sehingga berpotensi digunakan sebagai sumber kalsium dalam pengembangan material.

Pemanfaatan tersebut juga telah diterapkan sebagai prekursor CaO untuk sintesis hidroksiapatit, yaitu material biokeramik berbasis kalsium fosfat. Densitas cangkang telur perlu dinyatakan secara hati-hati pada rentang 2,50–2,65 g/cm³; adapun nilai 2,71 g/cm³ merupakan densitas fase kalsit dari CaCO_3 (Khoerunisa dkk., 2024). Cangkang telur ayam kampung menunjukkan karakter yang berbeda dari cangkang telur ayam ras, sehingga penggunaannya sebagai bahan tambahan perlu didasarkan pada hasil pengukuran setiap bahan. Pada pengamatan telur komersial di Kota Padang, kerabang telur ayam kampung berwarna putih dan

bertekstur halus, sedangkan kerabang ayam ras berwarna cokelat dengan permukaan sedikit kasar. Ketebalan rata-rata kerabang ayam kampung sebesar 0,90 mm, sedikit lebih rendah daripada ayam ras yang mencapai 0,95 mm. Pada pengamatan mikroskopis, membran kerabang telur ayam kampung memperlihatkan struktur serat yang saling bertautan serta mengandung mineral, terutama (Ca) sebesar 14,30% (Wahyuningsih dkk., 2024).



Gambar 2.6 Cangkang Telur
Sumber: rri.id

Cangkang telur bebek mempunyai ukuran telur dan ketebalan kerabang yang relatif lebih tinggi dibandingkan telur ayam ras maupun ayam kampung pada studi pembandingan. Bobot rata-rata telur bebek mencapai 73,91 g dengan ketebalan kerabang 1,01 mm, sedangkan telur ayam ras memiliki bobot 68,07 g dan ketebalan kerabang 0,95 mm, sementara telur ayam kampung memiliki bobot 45,48 g dengan ketebalan kerabang 0,90 mm. Cangkang telur bebek Alabio dilaporkan mengandung CaCO_3 sekitar 96% dan memiliki morfologi serbuk berupa butiran bulat hingga tidak beraturan dengan susunan yang renggang. Secara mekanik, cangkang telur bebek memiliki kekuatan pecah dan ketangguhan yang lebih tinggi dibandingkan cangkang telur ayam (Fitriani dkk., 2024). Cangkang telur puyuh merupakan biomaterial mineral yang didominasi oleh kristal kalsium karbonat. Hasil kajian menunjukkan bahwa penyusun cangkang telur mencakup CaCO_3 sebesar 98,41%, MgCO_3 sebesar 0,84%, serta $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ sebesar 0,75%. Dominasi CaCO_3 tersebut menunjukkan bahwa limbah cangkang telur puyuh berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber material berbasis kalsium, sedangkan keberadaan MgCO_3 dan kalsium fosfat menegaskan bahwa cangkang tidak hanya tersusun oleh

satu mineral tunggal (Kendal dkk., 2017). Cangkang telur ayam ras dipilih sebagai bahan baku penelitian, meskipun kandungan CaCO_3 -nya tidak selalu paling tinggi dibandingkan cangkang telur unggas lain, kadarnya tetap sangat tinggi dan memadai sebagai sumber kalsium. Selain itu, limbah cangkang telur ayam ras lebih mudah diperoleh secara kontinu dalam jumlah besar dari rumah tangga maupun industri pangan, memiliki ukuran cangkang yang menghasilkan massa bahan lebih banyak per butir dibandingkan telur puyuh, serta lebih efisien dari segi biaya, waktu pengumpulan, dan preparasi bahan.

Menurut Klau dkk. (2021), cangkang telur dapat dimanfaatkan sebagai bahan substitusi sebagian semen pada campuran beton karena kandungan kalsium karbonatnya memiliki kemiripan dengan salah satu komponen mineral pada semen portland. Namun, penggunaan serbuk cangkang telur perlu dibatasi pada proporsi yang sesuai, sebab peningkatan kadar substitusi cenderung menurunkan kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton. Oleh karena itu, cangkang telur lebih tepat digunakan sebagai bahan substitusi parsial dalam kadar terbatas, bukan sebagai pengganti semen dalam jumlah besar.

Cangkang telur ayam berpotensi dimanfaatkan sebagai partikel penguat pada material karena mengandung mineral dominan berupa kalsium karbonat sekitar 95%, disertai magnesium oksida sebesar 0,83% dan mineral lain dalam jumlah lebih kecil. Dalam komposit bermatriks polyester, penambahan serbuk cangkang telur berpotensi meningkatkan ketahanan terhadap beban tumbukan, terutama apabila ukuran partikelnya lebih halus dan jumlah pengisinya ditingkatkan secara terkendali (Iskandar & Wahyudi, 2023)

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 dkk., (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 dkk., (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 dkk., (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 dkk., (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% fiberglass, 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 fiberglass 10-25%	Uji kuat tarik, fatigue, dan siklus kelelahan	Kuat tarik optimum berada pada kombinasi hibrid (20-30% tebu + fiberglasss), menunjukkan serat tebu efektif sebagai pengganti parsial.
9.	Sutrisno (2025)	0-10% substitusi serat tebu pada fiberglass	Uji kuat tarik, regangan, dan modulus elastisitas	Kuat tarik tertinggi pada 0% serat tebu +10% fiberglass. 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. Serat tebu memiliki potensi sebagai material isolasi termal karena menunjukkan nilai konduktivitas termal yang rendah. Pada material

berbasis serat tebu, nilai konduktivitas termal dilaporkan berada pada kisaran 0,046–0,049 W/m·K. Penambahan serat tebu pada komposit berbasis semen atau geopolymer juga dapat menurunkan konduktivitas termal, sehingga berpotensi diaplikasikan pada papan atau plafon sebagai material peredam perpindahan panas (Athilah & Widjanarko, 2025). Selain itu, penggunaan serat tebu dapat mempengaruhi kuat lentur pada material komposit plafon, bergantung pada komposisi yang digunakan. Struktur serat tebu yang berpori berpotensi 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 dkk, (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 dkk, (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 meperoleh nilai optimum pada kuat tekan dan kuat tarik pada varisasi 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% ;	Kuat tekan beton	Campuran beton dengan campuran cangkang telur mencapai kuat tekan optimal pada variasi 2,5% cangkang telur

No	Sumber	Persentase	Parameter yang diuji	Optimum
6.	Angga Adiaks dkk, (2023)	5% ; 7,5% ; 10%. 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 dengan kuat tekan yaitu pada variasi 15%
7.	Mushtaq dkk. (2025)	Bubuk cangkang telur 5%; 10%; 15%	Kuat tekan, <i>workability</i>	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.

Berdasarkan kajian literatur, serat tebu berpotensi meningkatkan kuat lentur, sedangkan cangkang telur berpotensi mampu meningkatkan kuat tekan sebagai substitusi semen. Namun, hasil penelitian menunjukkan variasi persentase optimum yang belum konsisten serta masih terbatas pada beton konvensional. Selain itu, 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.