

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton merupakan material untuk konstruksi yang mendominasi. Bahan pembuatan beton mudah ditemui, memiliki harga yang murah, bersifat praktis dalam pengerjaan, dan ketahanan yang besar (Fatriady et al., 2022). Beton adalah campuran yang terdiri dari semen portland atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa penambahan bahan lain, yang menghasilkan massa yang padat (Farhan & Muhammad, 2023). Dikatakan sebagai beton normal jika memiliki berat isi antara (2200 - 2500) kg/m³ dengan menggunakan agregat alam yang telah dipecah (SNI-03-2834-2002).

Beton sebagai material konstruksi terus mengalami perkembangan seiring dengan kebutuhan akan material yang lebih efisien dan memiliki performa yang lebih baik. Pengembangan tersebut tidak hanya difokuskan pada peningkatan kekuatan tekan, tetapi juga pada peningkatan sifat mekanik lainnya seperti kuat tarik, kuat lentur, serta durabilitas material. Salah satu upaya pengembangan beton dilakukan melalui modifikasi komposisi campuran dan penambahan material penguat maupun bahan tambah untuk memperbaiki karakteristik beton sesuai kebutuhan konstruksi modern (Nurhadi & Ahmad, 2025).

Salah satu bentuk pengembangan material berbasis semen adalah penggunaan campuran mortar yang diperkuat serat, yang kemudian dikenal sebagai GRC. Material ini merupakan inovasi dari beton konvensional dengan mengurangi penggunaan agregat kasar dan memanfaatkan serat kaca sebagai bahan penguat untuk meningkatkan ketahanan terhadap gaya tarik dan lentur. Pengembangan ini menunjukkan bahwa material berbasis semen tidak hanya berorientasi pada kekuatan tekan, tetapi juga pada efisiensi berat, fleksibilitas bentuk, dan peningkatan performa mekanik secara menyeluruh (Setiawan et al., 2025).

2.2 Glassfiber Reinforced Concrete (GRC)

Glassfiber Reinforced Concrete (GRC) adalah material komposit yang terdiri dari campuran semen portland dan pasir mortar yang diperkuat dengan serat kaca. Selain bahan utama tersebut, GRC juga dapat ditambahkan bahan pengisi atau campuran lain sesuai kebutuhan untuk meningkatkan karakteristik material (Alifianti et al., 2019). Berdasarkan informasi dari *National Precast Concrete Association Australia* (2006), GRC merupakan material yang terdiri dari semen dan diperkuat dengan serat kaca. Sementara itu, menurut *British Standard Institution*, GRC didefinisikan sebagai campuran pasta semen dan pasir yang dilengkapi dengan penguatan serat kaca.

GRC terbentuk dari kombinasi dua material dengan sifat yang berbeda, yaitu campuran semen - pasir yang memiliki kekuatan tekan tinggi tetapi lemah terhadap lentur, serta serat kaca yang memiliki kemampuan menahan gaya lentur dengan baik. Perpaduan kedua material tersebut menghasilkan material komposit yang mampu meningkatkan sifat mekanik, terutama dalam menahan beban tekan, lentur, dan geser, sehingga lebih unggul dibandingkan mortar biasa (Ati et al., 2025).

Dalam studi ini, pemanfaatan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran GRC dilakukan untuk mengevaluasi dampaknya terhadap sifat fisik dan mekanik material. Diharapkan bahwa substitusi *fly ash* dapat meningkatkan kepadatan matriks, mengurangi daya serap air dan porositas, serta memperbaiki ikatan antar material melalui reaksi pozzolanik yang berlangsung selama proses hidrasi (Simajuntak dkk, 2025). Selain itu, kombinasi *fly ash* dengan variasi kadar serat kaca diharapkan dapat meningkatkan kuat lentur, sehingga diperoleh komposisi campuran optimum yang menghasilkan performa terbaik dari segi kualitas fisik, kekuatan mekanik, dan efisiensi penggunaan bahan.

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan GRC pada penelitian ini terdiri dari beberapa material utama yang berfungsi sebagai penyusun campuran dan pendukung dalam meningkatkan karakteristik mekanik material :

a. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam pembuatan GRC adalah pasir halus yang memenuhi standar SNI 03-6820-2002, yang merupakan spesifikasi untuk agregat

halus dalam mortar. Ukuran butiran yang lolos saringan no. 16 tidak boleh melebihi 1,18 mm, dan harus bebas dari kotoran serta zat organik, dengan batas kandungan lumpur dan tanah liat kurang dari 1%. Hal ini bertujuan untuk menciptakan campuran yang seragam dan berkualitas tinggi.

b. Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Semen Portland, yang berperan sebagai bahan pengikat utama dalam campuran GRC. Semen tersebut mengacu pada SNI 15-0302-2014, sehingga memenuhi standar kualitas yang diperlukan sebagai bahan pengikat dalam pembuatan material berbasis semen.

c. *Fly ash*

Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash* tipe F, yaitu material pozzolanik murni yang digunakan sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran GRC (Setiawati et al., 2019). *Fly ash* tipe F memiliki butiran halus dengan maksimal 34% tertahan pada ayakan No. 325, sehingga dapat meningkatkan kepadatan campuran dan memperbaiki ikatan antar material yang mengacu pada SNI 2460:2014. Dalam penelitian ini, *fly ash* digunakan dalam proporsi 5% dan 10% dari berat semen untuk menganalisis pengaruhnya terhadap kekuatan lentur dan daya serap air GRC.

d. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi standar kualitas air sesuai dengan SNI 7974:2013, yaitu harus bersih dan bebas dari zat organik, minyak, asam, alkali, serta garam yang dapat memengaruhi proses hidrasi semen dan kualitas akhir GRC.

e. Serat Kaca (*AR-Glass*)

Serat kaca yang digunakan dalam penelitian ini mengandung zirkonia (ZrO_2) minimal 16% yang berfungsi sebagai bahan penguat pada campuran GRC untuk meningkatkan sifat mekanik, terutama kuat lentur. Penggunaan serat kaca mengacu pada standar ASTM C1666 dengan jenis *chopped strand* yang dipotong dengan panjang serat 12 mm agar diperoleh distribusi serat yang merata dalam campuran.

2.2.1 Syarat dan Mutu GRC

Dalam pembuatan GRC, diperlukan pemenuhan syarat mutu material penyusun agar diperoleh hasil campuran yang baik dan sesuai dengan standar yang berlaku. Adapun syarat material penyusun GRC dalam penelitian ini meliputi:

1. Agregat halus yang digunakan harus memenuhi persyaratan SNI 03-6820-2002 yang sesuai dengan spesifikasi agregat halus untuk mortar, dengan ukuran butir maksimum 1,18 mm, bersih dari kotoran, lumpur, dan bahan organik, serta memiliki gradasi yang baik agar menghasilkan campuran yang homogen.
2. Semen yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi sebagai bahan pengikat utama pada campuran GRC. Semen yang dipakai harus sesuai dengan persyaratan yang berlaku mutu sesuai SNI 15-0302-2014 tentang Semen Portland agar mampu menghasilkan daya ikat yang baik pada campuran. Penggunaan semen yang memenuhi standar bertujuan untuk memperoleh kekuatan, kepadatan, dan kualitas GRC yang optimal, sehingga material yang dihasilkan memiliki performa mekanik yang baik serta tahan terhadap retak dan kerusakan (Mewengkang & Abraham, 2025).
3. *Fly ash* yang digunakan sebagai pengganti sebagian semen harus memenuhi kriteria yang ditetapkan dalam SNI 2460:2014. Pada penelitian ini digunakan *fly ash* tipe F yang bersifat pozzolanik murni dan memiliki butiran halus untuk membantu meningkatkan kepadatan serta kualitas campuran GRC (Prasetya & Doni, 2024).
4. Faktor air semen (FAS) adalah rasio antara berat air dan berat semen yang digunakan dalam suatu campuran. Nilai FAS harus diperhatikan untuk mendapatkan *workability* yang baik dan mutu GRC yang optimal (Syarif et al., 2025). Pada penelitian ini digunakan nilai FAS sebesar 0,30 sesuai rekomendasi standar GRC.
5. Air yang digunakan dalam campuran GRC harus memenuhi persyaratan kualitas air sesuai standar SNI 2847:2019, yaitu bersih dan bebas dari minyak, asam, alkali, garam, serta bahan organik yang dapat mengganggu proses hidrasi semen.

6. Serat kaca yang digunakan sebagai bahan penguat mengacu pada standar ASTM C1666 dengan jenis *Alkali Resistant Glass Fiber (AR-Glass)*. Serat kaca yang digunakan berbentuk *chopped strands* dengan panjang 12 mm agar distribusi serat dalam campuran lebih merata (Supriatna & Indra, 2020).
7. *Superplasticizer* yang digunakan sebagai bahan tambah kimia mengacu pada ASTM C494. Penggunaan *superplasticizer* bertujuan untuk meningkatkan *workability* campuran tanpa menambah kadar air secara berlebihan sehingga campuran GRC mudah dicetak, dan memiliki mutu yang baik (Faqihuddin et al., 2021).

2.2.2 Pengujian GRC

Pengujian GRC diperlukan untuk memastikan bahwa material yang dihasilkan memenuhi standar kualitas baik dari segi sifat fisik maupun mekanik (Teguh et al., 2021). Pengujian dilakukan berdasarkan standar ASTM, SNI, dan GRCA yang meliputi pengujian kuat lentur dan daya serap air (absorpsi dan porositas).

1. Pengujian Kuat lentur

Pengujian kuat lentur pada *Glassfiber Reinforced Concrete (GRC)* mengacu pada standar ASTM C947, sedangkan pembuatan benda uji mengacu pada ASTM C1228. Benda uji berbentuk balok dengan ukuran 500 × 50 × 15 mm. Proses pemadatan dilakukan menggunakan getaran atau *rolling*, kemudian benda uji ditutup plastik film agar kelembapan tetap terjaga.

Pengujian dilakukan menggunakan metode *Four Point Bending*, yaitu benda uji diletakkan di atas dua tumpuan dan diberikan dua titik pembebanan. Data yang diperoleh berupa dan *Modulus of Rupture (MOR)* sebagai beban maksimum sebelum patah. Nilai kuat lentur dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$F_y = \frac{P_y \times L}{bd^2} \quad (1)$$

Keterangan :

F_y = kuat lentur (MPa)

P_y = beban (N)

L = jarak tumpuan (mm)

b = lebar benda uji (mm)

d = tebal benda uji (mm)

Berdasarkan standar *International Glassfibre Reinforced Concrete Association* (GRCA) mengelompokkan mutu GRC ke dalam beberapa kelas, antara lain :

- a. Kelas 8 : LOP minimal 5 MPa; MOR minimal 8 MPa
- b. Kelas 10 : LOP minimal 6 MPa; MOR minimal 10 MPa
- c. Kelas 18 : LOP minimal 7 MPa; MOR minimal 18 MPa

Pada penelitian ini yang digunakan adalah GRC Kelas 10 mengikuti nilai minimal kuat lentur standar GRCA dan pada standar SNI 8299-2017 dengan persyaratan fisik kuat lentur rata-rata minimum 100 kg/cm^2 (9,8 MPa). Berikut merupakan tabel pengujian kuat lentur GRC pada penelitian ini :

Tabel 2.1 Parameter Pengujian Kuat Lentur GRC

No	Parameter	Keterangan
1	Jenis Pengujian	Kuat Lentur GRC
2	Standar Pengujian	ASTM C947
3	Standar Pembuatan Sampel	ASTM C1228
4	Metode Pengujian	<i>Four Point Bending</i>
5	Bentuk Benda Uji	Balok pipih
6	Panjang benda uji (P)	50 cm
7	Lebar benda uji (L)	5 cm
8	Tebal benda uji (T)	1,5 cm
9	Jumlah minimum sampel	3 sampel
10	Metode pemadatan	Getar / <i>rolling</i>
11	Perawatan awal	Direndam air
12	Data yang diperoleh	MOR
13	MOR (<i>Modulus of Rupture</i>)	Beban maksimum sebelum patah
14	Persyaratan MOR minimum	10 MPa (GRCA)
15	Persyaratan kuat lentur SNI	$\geq 100 \text{ kg/cm}^2$ (9,8 MPa)

Sumber : ASTM C947

2. Pengujian Daya Serap Air (ASTM C642)

Pengujian daya serap air dan porositas pada GRC dilakukan berdasarkan standar ASTM C642 yang mengatur metode pengujian sifat fisik material berupa absorpsi dan porositas. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan material dalam menyerap air serta tingkat rongga yang terdapat di dalam campuran GRC. Adapun pengujian meliputi daya serap air dan porositas sebagai berikut :

a. Pengujian Daya Serap Air

Pengujian daya serap air pada GRC dilakukan sesuai dengan standar ASTM C642 untuk mengevaluasi kemampuan material dalam menyerap air. Nilai absorpsi menunjukkan banyaknya air yang diserap oleh benda uji melalui rongga - rongga di dalam material. Semakin kecil nilai absorpsi, maka material memiliki kepadatan yang lebih baik dan pori-pori yang lebih sedikit (Hermansah dan Herli, 2024). Berdasarkan standar ASTM C642, nilai daya serap yang baik berada pada kisaran maksimum 8–11%. Dalam pengujian ini digunakan beberapa parameter massa, yaitu :

- a. Massa kering oven : mengoven benda uji pada suhu 100-110°C
- b. Massa jenuh : perendaman minimal 48 jam pada suhu ruang
- c. Massa jenuh rebus : merebus benda uji selama 5 jam
- d. Massa semu air : penimbangan benda uji di dalam air

Pengujian dilakukan menggunakan benda uji berbentuk kubus ukuran 50 x 50 x 50 mm dengan jumlah 2 sampel. Rumus perhitungan absorpsi air adalah sebagai berikut:

$$\text{Daya Serap Air (\%)} = \left[\frac{C-A}{A} \right] \times 100 \quad (2)$$

A = berat benda uji kering oven (gram)

B = berat benda uji setelah direbus (gram)

b. Pengujian Porositas

Pengujian porositas pada GRC dilakukan berdasarkan standar ASTM C642 untuk mengetahui persentase rongga atau pori dalam material. Nilai porositas memengaruhi kepadatan dan durabilitas GRC, dimana semakin kecil nilai porositas maka kualitas material semakin baik. Pengujian

menggunakan benda uji kubus ukuran $50 \times 50 \times 50$ mm dengan 4 sampel, serta parameter massa berupa massa kering oven, massa jenuh rendam, massa jenuh rebus, dan massa semu dalam air. Berdasarkan ASTM C642, nilai porositas maksimum yang diperbolehkan adalah 20%. Rumus perhitungan porositas adalah sebagai berikut:

$$\text{Porositas (\%)} = \left[\frac{C-A}{C-D} \right] \times 100 \quad (3)$$

A = berat benda uji kering oven (gram)

C = berat benda uji setelah direbus (gram)

D = berat benda uji semu saat terendam air

2.3 Agregat Halus

Agregat halus adalah salah satu material penting dalam proses pembuatan GRC yang berperan sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar. Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini merujuk pada SNI 03-6820-2002 mengenai spesifikasi agregat halus untuk mortar.

Agregat halus yang digunakan berupa pasir halus dengan ukuran butiran yang lolos saringan No. 16 (1,18 mm) sehingga sesuai untuk campuran mortar GRC. Selain itu, pasir yang digunakan harus bersih dan tidak mengandung lumpur maupun tanah liat dengan kadar maksimum kurang dari 1%, karena kandungan lumpur yang berlebihan dapat mengurangi daya ikat semen dan menurunkan mutu campuran GRC (Istiqomah, 2025). Berikut merupakan tabel persyaratan agregat halus yang akan digunakan pada penelitian :

Tabel 2.2 Persyaratan Agregat Halus

No	Persyaratan	Ketentuan
1	Jenis agregat	Pasir alam atau pasir olahan
2	Ukuran maksimum butiran	4,75 mm
3	Ukuran butiran yang digunakan pada mortar halus	Lolos saringan No. 16 (1,18 mm)
4	Kandungan lumpur dan tanah liat	Maksimal <1%
5	Kondisi agregat	Bersih dari kotoran dan bahan organik
6	Gradasi agregat	Memiliki gradasi yang baik dan seragam
7	Fungsi dalam campuran	Sebagai bahan pengisi dan pembentuk mortar

Sumber : SNI 03-6820-2002

2.4 Semen

Bahan pengikat yang digunakan dalam pembuatan GRC pada penelitian ini adalah semen Portland yang mengacu pada SNI 15-0302-2014. Semen berfungsi sebagai bahan perekat utama yang mengikat agregat halus, *fly ash*, air, dan serat kaca sehingga membentuk material komposit yang padat dan kuat. Pada penelitian ini digunakan tipe 1P karena memiliki kandungan pozzolan yang sesuai untuk campuran GRC dengan tambahan *fly ash*.

Proses pencampuran dilakukan secara kering terlebih dahulu antara semen dan *fly ash* untuk menghasilkan campuran yang homogen sebelum ditambahkan agregat halus, air, dan serat kaca hingga membentuk adukan plastis (Pangestu & Fahrul Adi, 2021). Semen yang digunakan juga harus memenuhi persyaratan waktu ikat (*setting time*), yaitu waktu ikat awal tidak kurang dari 45 menit dan waktu ikat akhir tidak lebih dari 7 jam, sehingga proses pengerjaan dan pembentukan benda uji dapat dilakukan dengan baik. Berikut merupakan tabel persyaratan semen pada campuran GRC :

Tabel 2.3 Persyaratan Semen pada Campuran GRC

Parameter	Persyaratan
Standar	SNI 15-0302-2014
Jenis semen	Semen Portland Pozzolan
Metode pencampuran	Pencampuran kering (semen + <i>fly ash</i>)
Kondisi adukan	Adukan plastis
Waktu ikat awal	≥ 45 menit
Waktu ikat akhir	≤ 7 jam

Sumber : SNI 15-0302-2014

2.5 *Fly ash*

Fly ash adalah material sisa yang dihasilkan dari pembakaran batu bara di pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang berbentuk partikel halus dan memiliki sifat pozzolanik. *Fly ash* mengandung senyawa utama seperti silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan oksida besi (Fe_2O_3) yang dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida yang dihasilkan dari hidrasi semen untuk membentuk senyawa pengikat tambahan (Rahayu et al, 2025). Oleh karena itu, *fly ash* banyak dimanfaatkan sebagai bahan substitusi sebagian semen pada campuran beton maupun mortar untuk

meningkatkan *workability*, memperbaiki kepadatan material, serta mengurangi penggunaan semen sehingga lebih ekonomis dan ramah lingkungan (Hidayat & Fuad, 2026).

Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada SNI 2460:2014 tentang spesifikasi abu terbang batubara untuk campuran beton. Berdasarkan klasifikasinya, *fly ash* dibedakan menjadi beberapa tipe, antara lain :

1. Tipe F : pozzalik murni
2. Tipe C : kandungan kalsium tinggi
3. Tipe N : pozzolan alami

Pada penelitian ini digunakan *fly ash* tipe F karena memiliki sifat pozzolanik yang lebih stabil dan efektif sebagai bahan substitusi sebagian pada campuran GRC. Secara fisik, *fly ash* memiliki butiran yang sangat halus dengan persyaratan maksimal 34% tertahan pada ayakan No. 325, sehingga dapat membantu mengisi rongga-rongga mikro dalam campuran dan meningkatkan kepadatan material. Penggunaan *fly ash* dalam penelitian ini direncanakan sebesar 5% dan 10% dari total berat semen untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat fisik dan mekanik GRC.

2.6 Air

Air adalah salah satu bahan yang sangat penting dalam GRC karena berperan dalam proses hidrasi semen dan memengaruhi kualitas keseluruhan campuran. Air yang digunakan dalam penelitian ini merujuk pada SNI 7974:2013 mengenai air pencampur untuk beton dan mortar. Penggunaan air yang memenuhi standar bertujuan untuk menghasilkan proses pengerasan semen yang optimal sehingga diperoleh campuran GRC dengan mutu yang baik.

Dalam penelitian ini, air bersih yang digunakan berasal dari PDAM karena dianggap memenuhi standar kualitas air untuk campuran material berbasis semen. Air yang digunakan harus bebas dari kandungan minyak, gula, asam, garam, serta zat organik lainnya yang dapat mengganggu proses hidrasi semen dan menurunkan kualitas serta kekuatan GRC yang dihasilkan. Mengacu pada standar SNI 03-6817-2002 air minum yang layak dikonsumsi secara umum dikategorikan memenuhi syarat sebagai air pencampur beton tanpa memerlukan pengujian kualifikasi ulang

di laboratorium. Dalam studi teknologi beton dan mortar oleh De & Das (2019) serta Fauzi & Lestari (2020), penggunaan air laboratorium yang bersih dan terbebas dari minyak, asam, atau bahan organik berlebih tidak melalui tahapan uji kimia air terpisah karena secara otomatis mengacu pada pemenuhan syarat kelayakan air PDAM.

2.7 Serat Kaca

Serat kaca merupakan serat sintetis yang terbuat dari kaca cair yang diproses menjadi filamen-filamen halus dan digunakan sebagai bahan penguat pada material komposit (Ismail et al, 2023). Serat kaca memiliki sifat ringan, kuat, tahan korosi, dan mampu meningkatkan sifat mekanik material, terutama pada kuat tarik dan kuat lentur. Oleh karena itu, serat kaca banyak dimanfaatkan sebagai bahan penguat pada material konstruksi, termasuk pada GRC (Kurniati & Dwi, 2024).

Serat kaca (*AR-Glass*) yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada standar ASTM C1666 sebagai bahan penguat pada campuran GRC. Serat kaca jenis *Alkali Resistant Glass (AR-Glass)* dipilih karena memiliki ketahanan yang baik terhadap lingkungan alkalis dari semen dengan kandungan zirkonia (ZrO_2) minimal 16%, sehingga lebih tahan terhadap degradasi dibandingkan serat kaca biasa. Pengujian karakterisasi mekanis material serat secara mikro tidak dilakukan tersendiri karena kinerja mekanis serat *AR-Glass* dinilai secara langsung pada produk akhir melalui uji kuat lentur panel GRC, hal ini sejalan dengan metodologi penelitian GRC oleh Tiwari et al. (2018) dan Lisa et al. (2024), di mana material *fiberglass* standar pabrikan langsung digunakan dalam *Job Mix Design* tanpa uji sifat tarik tunggal serat secara terpisah. Adapun bentuk serat yang umum digunakan antara lain :

1. *Chopped Strands* : dipotong, ukuran terdiri dari 6 mm, 12 mm, dan 25 mm
2. *Roving* : *spray up*
3. *Mesh* : perkuatan lokal / tambal

Namun pada penelitian ini digunakan jenis *chopped strands* dengan panjang serat 12 mm karena dianggap ideal untuk menghasilkan distribusi serat yang merata dalam campuran GRC.

Penggunaan *AR-Glass* dihitung berdasarkan persentase terhadap total berat material penyusun adukan. Serat kaca ini memiliki kuat tarik berkisar antara 1000–1700 MPa, sehingga mampu meningkatkan kuat lentur dan ketahanan retak pada GRC. Selain itu, untuk mengetahui ketahanan dan kondisi mikrostruktur material, dapat dilakukan pengujian akselerasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) guna mengamati ikatan antara pasta semen dan serat kaca pada campuran GRC (Fatmawati et al, 2023).

2.8 *Superplasticizer*

Superplasticizer merupakan bahan tambahan kimia (*chemical admixture*) yang digunakan untuk meningkatkan *workability* atau tingkat kemudahan pengerjaan campuran GRC tanpa menambah jumlah air secara berlebihan. Penggunaan *superplasticizer* bertujuan untuk menghasilkan campuran yang lebih plastis, homogen, dan mudah dicetak, sehingga distribusi material penyusun seperti semen, *fly ash*, agregat halus, dan serat kaca dapat tercampur dengan lebih merata (Fendria & Riki, 2021).

Pada penelitian ini, *superplasticizer* digunakan sebagai bahan tambahan untuk membantu proses pencampuran dan meningkatkan kualitas adukan GRC. Penggunaan *superplasticizer* mengacu pada standar GRCA tentang bahan tambah kimia untuk beton, khususnya tipe *water reducing admixture*. Dengan penggunaan *superplasticizer*, diharapkan campuran GRC memiliki *workability* yang baik tanpa menyebabkan segregasi maupun penurunan kekuatan material. Dosis penggunaan *superplasticizer* jenis bubuk pada penelitian ini ditetapkan sebesar 0,3% dari total berat bahan pengikat (binder). Penentuan persentase ini mengacu pada standar ASTM C494 Type F (*High-Range Water-Reducing Admixture*) serta kisaran dosis yang direkomendasikan pada *Technical Data Sheet* pabrikan. Pemilihan angka 0,3% dikonfirmasi melalui tahapan uji coba campuran awal (*trial mix*) untuk mendapatkan keenceran (*workability*) adukan yang ideal pada Faktor Air Semen (FAS) 0,30 tanpa menimbulkan pemisahan air (*bleeding*) atau penundaan waktu pengikatan (*setting time*) berlebih.

2.9 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan untuk mengkaji pengaruh penggunaan bahan tambah dan substitusi pada campuran beton maupun GRC. Penelitian tersebut menjadi acuan dan dasar pertimbangan dalam penentuan variasi *job mix design* pada penelitian ini, yaitu substitusi fly ash 5% dan 10% serta penambahan serat *AR-Glass* 1% dan 2%. Pemilihan rentang 5%–10% fly ash bertujuan untuk mengoptimalkan reaksi pozzolanik pembentukan gel C-S-H sekunder dan memadatkan matriks mikroskopis mortar tanpa memperlambat waktu pengikatan awal semen murni. Sementara itu, variasi serat 1%–2% dipilih karena merupakan rentang optimum pada metode premix GRC kadar di bawah 1% kurang signifikan dalam meningkatkan kuat lentur (*bridging effect*), sedangkan kadar di atas 2% berpotensi menurunkan kelecakan (*workability*) dan memicu penggumpalan serat (*balling effect*). Kombinasi ini diterapkan untuk menemukan titik keseimbangan terbaik antara efisiensi biaya material dan pemenuhan standar mutu mekanis GRC. Adapun ringkasan dari literatur penelitian terdahulu disajikan dalam tabel 2.4 sebagai berikut :

Tabel 2.4 Research Gap

No	Peneliti (Tahun)	Judul	Tujuan	Metode	Bahan Tambah	Output	Hasil	Gap Penelitian
1	Lisa, et al (2024)	<i>Glass Reinforced Concrete (GRC)</i>	Mempelajari pengaruh variabel komposisi campuran GRC, termasuk perbandingan serat kaca dengan bahan pengikat beton, terhadap kekuatan lentur	Pengujian kuat lentur	<i>Fly ash</i> , pasir limbah <i>sansblasting</i> , dan <i>fiberglass</i>	GRC	1. Peningkatan kadar fiberglass hingga 2% menghasilkan nilai kuat lentur rata-rata sebesar 23,01 kgf/cm², sedangkan penambahan fiberglass sebesar 1% mampu meningkatkan kuat lentur hingga 49,77 kgf/cm². Meskipun demikian, nilai kuat lentur tertinggi sebesar 56,84 kgf/cm² diperoleh pada penggunaan fiberglass dengan kadar 0,8%. 2. Pengaruh substitusi fly ash terhadap kekuatan lentur GRC pada umur 28 hari menunjukkan nilai kekuatan lentur rata-rata sebesar 41,43 kgf/cm²; penggunaan semen sebesar 20% dengan fly ash dapat meningkatkan nilai kekuatan lentur menjadi 56,84 kgf/cm².	1. Penelitian ini tidak menggunakan semen PPC dan pasir muntalan, serta <i>superplasticizer</i> yang digunakan dalam bentuk cairan. 2. Penelitian belum membahas pengaruh variasi kadar <i>fly ash</i> dan serat kaca terhadap sifat fisik GRC seperti absorpsi dan porositas berdasarkan standar ASTM C642 dan ASTM C947

2	Somsubhra De & Dr. Sudhir Kumar Das (2019)	<i>High Volume Fly ash-Based Glass Fibre Reinforced Concrete</i>	Mengetahui pengaruh penggunaan <i>fly ash</i> volume tinggi dan <i>glass fibre</i> terhadap mutu beton	Pengujian <i>mix design</i> , kuat tekan, kuat lentur, pematatan, dan <i>curing</i> beton dengan variasi <i>fly ash</i> dan <i>glass fibre</i>	<i>Fly ash</i> dan <i>Glass Fibre</i>	<i>Glass Fibre Reinforced Concrete</i> (GFRC) dengan pengurangan penggunaan semen	Penggunaan <i>fly ash</i> mampu mengurangi penggunaan semen dan meningkatkan kepadatan serta durabilitas material	1. Penelitian ini tidak membahas GRC tetapi beton bertulang serat kaca. 2. Penelitian belum membahas pengaruh variasi kadar <i>fly ash</i> dan serat kaca terhadap sifat fisik GRC seperti absorpsi dan porositas serta belum menentukan variasi optimum campuran berdasarkan standar ASTM C642 dan ASTM C947. 3. Penelitian tidak menggunakan serat kaca ukuran 12 mm, melainkan 36 mm.
3	Marguan Fauzi & Desti Ayu Lestari (2020)	Analisis Kuat Lentur Campuran Beton Menggunakan Limbah B3 Sebagai Bahan Adiktif	Mempelajari dampak penambahan <i>fly ash</i> dan GGBFS terhadap kekuatan lentur beton	Pengujian laboratorium menggunakan benda uji balok $15 \times 15 \times 60$ cm dengan variasi <i>fly ash</i> 2%, 4%, dan 6% serta pengujian kuat lentur umur 7, 14, dan 28 hari	<i>Fly ash</i> dan GGBFS	Beton dengan campuran limbah B3	Penambahan <i>fly ash</i> dan GGBFS dapat meningkatkan kekuatan lentur beton, dengan hasil optimal <i>fly ash</i> 4% mencapai 3,98 MPa dan GGBFS 6% mencapai 4,09 MPa pada umur 28 hari.	1. Penelitian masih menggunakan beton dengan campuran limbah B3 dan belum menerapkan material Glassfiber Reinforced Concrete (GRC) dengan penambahan serat kaca serta belum menguji absorpsi dan porositas. 2. Benda uji yang digunakan bukan balok berukuran $50 \times 50 \times 1,5$ cm.

4	Mojeeburahman Mashal & Said Mujtaba Ishanzadah (2022)	Effect of glass fibers on performance of mortar and concrete	Menggabungkan serat kaca pada berbagai dosis secara signifikan mempengaruhi sifat mekanik beton, termasuk kekuatan lentur. Studi ini menemukan bahwa kehadiran serat kaca meningkatkan adhesi antara serat dan matriks beton, yang mengarah pada peningkatan kinerja.	Pengujian beton normal dengan variasi serat kaca 0%, 0,35%, 0,70%, dan 1,05% dari berat semen serta pengujian umur 7, 14, dan 28 hari	Serat kaca	Mortar dan beton	Hasil penelitian menunjukkan bahwa energi patah awalnya meningkat, kemudian menurun seiring dengan meningkatnya kandungan volume serat, dan mencapai nilai maksimumnya ketika kandungan serat mencapai 1%	1. Penelitian belum membahas penggunaan <i>fly ash</i> sebagai substitusi semen pada Glassfiber Reinforced Concrete (GRC) serta belum mengevaluasi sifat fisik seperti absorpsi dan porositas berdasarkan ASTM C642. 2. Pengujian kuat lentur tidak menggunakan <i>Four-Point Bending Test</i>. 3. Benda uji yang digunakan bukan 500x50x15 mm, tetapi 40x40x160 mm.
5	Prof. Manish Tiwari et al., (2018)	Mechanical Performance of Glass Reinforced Fibre Concrete with Different Fiber Contents	Menganalisis kekuatan tarik, tekan, dan lentur GRFC, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kandungan serat optimal yang dapat memaksimalkan kinerja mekanis	Pengujian kuat tekan, kuat tarik, dan kuat lentur pada variasi serat kaca 0,5%–2,5%	Serat kaca	GRFC	Kuat lentur meningkat seiring bertambahnya kadar serat kaca dan mencapai nilai tertinggi pada kadar 2,5%	1. Penelitian belum mengombinasikan penggunaan <i>fly ash</i> sebagai substitusi semen pada GRC serta belum menganalisis sifat fisik seperti absorpsi dan porositas berdasarkan ASTM C642. 2. Pengujian kuat lentur tidak menggunakan <i>Four-point Bending Test</i>. 3. Material pada penelitian tidak menggunakan semen PPC dan <i>admixture superplasticizer</i>.

6	Mohammed Jobaer Uddin ET AL., (2018)	Glass Fiber Polymer On The Fresh And Hardened Properties Of Concrete	Pemahaman dampak penggabungan polimer serat kaca pada sifat beton yang segar dan mengeras, khususnya pengaruhnya terhadap kemerosotan, kekuatan tekan, kekuatan tarik membelah, dan kekuatan lentur.	Pengujian kuat tekan dan kuat lentur beton	Polymer serat kaca	Beton	Penambahan glass fiber polymer meningkatkan workability, kuat tekan, dan kuat lentur beton	1. Penelitian belum membahas penggunaan <i>fly ash</i> sebagai substitusi semen pada Glassfiber Reinforced Concrete (GRC) serta belum mengevaluasi sifat fisik seperti absorpsi dan porositas berdasarkan ASTM C642. 2. Pengujian kuat lentur tidak menggunakan <i>Four-point Bending Test</i>. 3. Material pada penelitian ini tidak menggunakan semen PPC.
---	--------------------------------------	--	--	--	--------------------	-------	--	--

Tabel 2.5 Variasi Persentase *Fly Ash* dan *Fiberglass* pada Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Fly Ash (%)	Fiberglass (%)	Hasil Optimum
1	Lisa et al. (2024)	0–20	0,8; 1; 2	FA 20%; FG 0,8%
2	Marguan Fauzi & Desti Ayu Lestari (2020)	2, 4, 6	-	FA 4%
3	Mojeeburahman Mashal & Said Mujtaba Ishanzadah (2022)	-	0; 0,35; 0,70; 1,05	FG 1%
4	Prof. Manish Tiwari et al., (2018)	-	0,5–2,5	FG 2,5%

Berdasarkan tinjauan literatur di atas, mayoritas penelitian terdahulu hanya berfokus pada salah satu variabel (hanya serat kaca saja atau hanya *fly ash* saja) serta terbatas pada pengujian mekanis yaitu *Three-Point Bending* / Kuat Tekan. Oleh karena itu, kebaruan dari penelitian ini terletak pada evaluasi komprehensif mengombinasikan substitusi *Fly Ash* sebesar 5% dan 10% dan penambahan serat *AR-Glass* sebesar 1% dan 2% menggunakan semen PPC dan *superplasticizer*. Penelitian ini secara spesifik menguji sifat fisik yaitu porositas & daya serap air berbasis ASTM C642 dan sifat mekanis yaitu kuat lentur MOR berbasis ASTM C947 dengan metode *Four-Point Bending* pada panel tipis GRC ($500 \times 50 \times 15$ mm).