

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton Serat

Beton serat (*fiber reinforced concrete/FSC*) merupakan beton yang mengandung serat-serat pendek yang didistribusikan secara merata di dalam campuran untuk meningkatkan sifat mekanis beton. Penambahan serat dilakukan sebagai upaya mengatasi kelemahan beton normal yang memiliki kuat lentur rendah dan bersifat getas (*brittle*). Hasan et al. (2019) menjelaskan bahwa penambahan serat dalam jumlah kecil yang tersebar merata mampu berperan sebagai *crack arrester*, yaitu menghambat perkembangan retak mikro akibat penyusutan maupun pembebanan sehingga meningkatkan sifat statis (kemampuan beton menahan beban yang relatif tetap atau berubah sangat lambat) dan dinamis (kemampuan beton menahan beban yang berubah dengan cepat atau berulang) beton. Sejalan dengan itu, Siddiqi et al. (2018) menjelaskan bahwa penambahan serat pada beton memberikan kontribusi terhadap peningkatan kuat lentur, sekaligus membantu mengendalikan retak susut (retak yang muncul saat beton mengalami penyusutan volume selama proses pengerasan dan pengeringan).

Peningkatan kinerja beton serat terjadi karena adanya interaksi antara serat dan pasta semen setelah beton mengalami retak awal. Serat yang melintasi bidang retak akan menahan pembukaan retak sehingga perkembangan retak berlangsung lebih lambat dan beton masih mampu menahan beban setelah retak mulai terbentuk. Hasan et al. (2019) menjelaskan bahwa efektivitas mekanisme tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain fraksi volume serat (persentase volume serat terhadap volume beton), aspek rasio (perbandingan panjang dan diameter serat), penyebaran serat, kualitas ikatan (*bonding*) antara serat dan pasta semen, serta tingkat kemudahan pengerjaan campuran. Oleh karena itu, penyebaran serat yang merata di dalam beton menjadi faktor penting untuk meningkatkan ketahanan beton terhadap retak.

Secara umum, serat yang digunakan pada beton dapat dikelompokkan menjadi serat baja, serat sintetis, dan serat alami. Setiap jenis serat memiliki karakteristik yang berbeda sehingga memberikan pengaruh yang berbeda terhadap sifat mekanis beton. Penggunaan serat pada beton bertujuan untuk meningkatkan kemampuan beton dalam menahan retak, memperbaiki kuat tarik dan kuat lentur, serta meningkatkan daktilitas. Selain itu, serat juga berfungsi sebagai penghubung (*crack bridging*) yang menahan perkembangan retak mikro sehingga retak tidak mudah melebar dan menyebabkan keruntuhan yang bersifat getas. Dengan demikian, penambahan serat dapat meningkatkan keandalan dan umur layan beton, terutama pada struktur yang menerima beban tarik maupun lentur.

2.2. Semen

Jenis semen Portland dalam SNI 2049:2015 dibedakan menjadi Tipe I, Tipe II, Tipe III, Tipe IV, dan Tipe V, yang masing-masing memiliki karakteristik penggunaan sesuai kondisi lingkungan dan kebutuhan struktur. Selain itu, SNI ini juga menetapkan sifat semen seperti kehalusan (*fineness*), waktu pengikatan (*setting time*), serta kuat tekan mortar sebagai parameter utama untuk menjamin kualitas semen yang digunakan dalam beton.

Salah satu jenis semen yang banyak digunakan di dunia konstruksi Indonesia adalah Portland Composite Cement (PCC). PCC merupakan semen hidrolis yang tersusun atas klinker Portland, gipsum, dan satu atau lebih bahan mineral, seperti pozzolan, batu kapur, atau slag. PCC banyak digunakan sebagai bahan pengikat pada pekerjaan beton, baik untuk elemen struktural maupun nonstruktural. Dengan perawatan yang baik, penggunaan PCC juga mampu menghasilkan beton dengan durabilitas yang baik sehingga banyak digunakan pada konstruksi gedung, pelat lantai, balok, kolom, maupun elemen struktur lainnya.

Dalam penelitian ini, PCC digunakan sebagai bahan pengikat utama dalam campuran beton yang kemudian akan disubstitusi sebagian dengan *calcined clay*. Substitusi ini dilakukan dengan harapan dapat meningkatkan kinerja beton melalui reaksi pozzolanik yang terjadi antara *calcined clay* dan hasil hidrasi semen.

2.3. Agregat Halus

Agregat halus menjadi salah satu bahan penyusun utama beton yang berfungsi mengisi rongga di antara agregat kasar sehingga membantu membentuk susunan butiran yang lebih padat pada campuran beton. Agregat ini umumnya berupa pasir alami atau hasil pemecahan batu dengan ukuran butir tertentu yang harus memenuhi persyaratan gradasi. Dalam campuran beton, agregat halus sangat memengaruhi kemudahan pengerjaan campuran, kepadatan beton, serta kuat tekan beton yang dihasilkan.

Berdasarkan SNI 7656:2012, agregat halus harus memenuhi persyaratan gradasi, kebersihan, serta kandungan lumpur maksimum yang telah ditentukan. Ketentuan ini bertujuan memastikan agregat halus yang digunakan memiliki kualitas sesuai untuk campuran beton. Persyaratan tersebut juga berpengaruh terhadap kepadatan campuran dan mutu beton yang dihasilkan. Agregat dengan gradasi baik akan menghasilkan campuran yang lebih homogen dan mudah dikerjakan. Sebaliknya, gradasi yang tidak sesuai dapat menyebabkan segregasi dan terbentuknya rongga sehingga mutu beton menurun.

2.4. Agregat Kasar

Agregat kasar menjadi salah satu bahan penyusun utama beton yang berfungsi sebagai material dalam membentuk kekuatan dan kestabilan beton. Agregat kasar umumnya berupa kerikil atau batu pecah dengan ukuran butir yang lebih besar dibandingkan agregat halus. Dalam campuran beton, karakteristik agregat kasar memengaruhi kepadatan campuran, kekuatan beton, serta mutu beton yang dihasilkan.

Berdasarkan SNI 7656:2012, agregat kasar merupakan agregat yang sebagian besar butirnya tertahan pada ayakan 4,75 mm dan harus memenuhi persyaratan gradasi, berat jenis, penyerapan air, keausan, serta kandungan bahan yang merugikan. Persyaratan tersebut ditetapkan untuk memastikan agregat kasar yang digunakan memiliki kualitas yang sesuai sebagai bahan penyusun beton. Agregat kasar yang syaratnya terpenuhi akan menghasilkan campuran beton yang lebih

seragam sehingga proses pencampuran dan pemadatan dapat berlangsung dengan baik. Agregat dengan ukuran maksimum yang sesuai akan menghasilkan campuran beton yang lebih padat dan mudah dikerjakan. Sebaliknya, ukuran yang terlalu besar atau distribusi yang tidak merata dapat menyebabkan segregasi dan menurunkan kualitas beton.

Selain ukuran dan gradasi, kebersihan agregat kasar juga menjadi faktor penting dalam campuran beton. Lumpur atau kotoran yang terkandung berlebihan dapat menyebabkan turunnya daya ikat antara agregat dan pasta semen. Oleh karena itu, agregat kasar harus memenuhi batas kandungan kotoran yang diizinkan agar tidak menurunkan kuat tekan dan durabilitas beton.

2.5. Air

Air menjadi salah satu bahan utama yang berfungsi sebagai bahan yang bereaksi dengan semen melalui proses hidrasi dalam pembuatan beton. Proses hidrasi menghasilkan pasta semen yang berperan dalam mengikat agregat halus dan agregat kasar menjadi satu kesatuan yang padat. Selain itu, air juga mempengaruhi tingkat kelecakan (*workability*) beton segar sehingga memudahkan proses pencampuran, pengangkutan, dan pengecoran.

Berdasarkan SNI 2847:2019, air yang digunakan harus memenuhi persyaratan tertentu agar tidak mengganggu proses hidrasi dan kualitas beton yang dihasilkan. Air yang layak digunakan umumnya adalah air yang tidak mengandung zat berbahaya seperti minyak, asam, garam, atau bahan organik dalam jumlah berlebihan. Penggunaan air yang tidak memenuhi syarat dapat menjadikan turunnya kuat tekan serta mengganggu durabilitas beton.

Jumlah air dalam campuran beton sangat berpengaruh terhadap sifat beton segar maupun beton keras. Kelebihan air dapat meningkatkan *workability*, namun dapat menurunkan kuat tekan dan menyebabkan porositas yang tinggi. Sebaliknya, kekurangan air dapat menyebabkan campuran menjadi sulit dikerjakan dan tidak homogen. Dalam praktiknya, perbandingan antara jumlah air dan semen atau yang dikenal sebagai faktor air semen (*water cement ratio*) menjadi parameter penting

dalam perencanaan campuran beton. Nilai yang tepat akan menghasilkan beton dengan keseimbangan antara kemudahan pengerjaan dan kekuatan yang diinginkan. Oleh karena itu, pemilihan dan penggunaan air dalam campuran beton harus diperhatikan dengan baik agar diperoleh kinerja beton yang optimal.

2.6. Polypropylene fiber

Polypropylene fiber merupakan salah satu serat sintetis yang banyak digunakan sebagai bahan tambah pada beton karena ringan, tidak mengalami korosi, dan mudah tercampur dalam adukan beton. Penambahan serat ini juga dapat meningkatkan ketahanan beton terhadap retak serta memperbaiki kuat lentur dan daktilitas. Hasil penelitian Govindasami et al. (2018) menunjukkan bahwa penggunaan *polypropylene fiber* mampu menjadikan kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur beton pada kadar penambahan tertentu mengalami peningkatan.

Penggunaan *polypropylene fiber* pada beton tidak ditujukan untuk meningkatkan kuat tekan secara signifikan, tetapi lebih berperan dalam mengendalikan perkembangan retak dan meningkatkan perilaku beton setelah retak. Hasan et al. (2019) menjelaskan bahwa serat *polypropylene* bekerja sebagai *crack arrester*, yaitu menghambat perkembangan retak yang terjadi pada beton sehingga meningkatkan sifat statis maupun dinamis beton. Sejalan dengan itu, Siddiqi et al. (2018) menyampaikan bahwa penambahan *polypropylene fiber* dapat meningkatkan kuat lentur dan ketangguhan beton serta membantu mengurangi terjadinya retak susut (*shrinkage cracking*).

Pengaruh *polypropylene fiber* terhadap sifat mekanis beton dipengaruhi oleh kadar serat yang digunakan. Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penambahan serat pada kadar tertentu mampu meningkatkan kuat lentur dan kuat tarik, sedangkan penambahan yang berlebihan cenderung menurunkan *workability* sehingga proses pemadatan menjadi kurang optimal. T. A. H. Ahmed & Daoud (2016) menyampaikan bahwa peningkatan kadar *polypropylene fiber* menyebabkan penurunan *workability*, tetapi mampu meningkatkan kuat tarik dan kuat lentur pada kadar optimum. Hasil serupa juga disampaikan oleh Govindasami et al. (2018),

yang menunjukkan bahwa peningkatan kadar serat memberikan peningkatan kuat lentur hingga kadar tertentu, kemudian diikuti penurunan apabila jumlah serat terus ditambah. Oleh karena itu, penentuan kadar *polypropylene fiber* yang optimum menjadi faktor penting untuk memperoleh peningkatan kinerja beton tanpa menurunkan kualitas campuran.

2.7. *Calcined clay*

Calcined clay merupakan salah satu *supplementary cementitious material* (SCM) yang diperoleh melalui proses kalsinasi lempung sehingga memiliki aktivitas pozzolanik. Pada penelitian ini, jenis lempung yang digunakan adalah kaolin karena setelah mengalami proses kalsinasi, kaolin memiliki reaktivitas pozzolanik yang tinggi sehingga mampu bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) hasil hidrasi semen dan membentuk produk hidrasi tambahan berupa *calcium silicate hydrate* (C-S-H). Pembentukan C-S-H tambahan tersebut berkontribusi terhadap penyempurnaan mikrostruktur pasta semen dan peningkatan sifat mekanis beton pada kadar substitusi tertentu (Nguyen et al., 2018; Strybny et al., 2024).

Penggunaan *calcined clay* sebagai substitusi sebagian semen terus berkembang karena mampu mengurangi penggunaan klinker Portland sekaligus mendukung pengembangan beton yang lebih berkelanjutan. Selain memberikan manfaat dari sisi lingkungan, penggunaan *calcined clay* juga disebutkan mampu memperbaiki sifat mekanis beton melalui aktivitas pozzolanik dan penyempurnaan struktur pori. Nguyen et al. (2018) menjelaskan bahwa reaksi pozzolanik dan *filler effect* dari *calcined clay* menghasilkan struktur pori yang lebih halus, sedangkan Strybny et al. (2024) menjelaskan bahwa penggunaan *calcined clay* pada kadar tertentu mampu meningkatkan kuat tekan umur 28 hari dibandingkan beton tanpa substitusi semen.

Beberapa penelitian eksperimental juga menunjukkan bahwa pengaruh *calcined clay* sangat dipengaruhi oleh kadar substitusi yang digunakan. Afsheen et al. (2026) menyampaikan bahwa penggunaan *calcined clay* sebesar 10% menghasilkan kuat tekan optimum. Hasil serupa juga ditunjukkan oleh Olofinnade & Ogara (2021), yang memperoleh peningkatan kuat tekan pada beton dengan penambahan 10%

calcined clay serta didukung oleh terbentuknya mikrostruktur yang lebih padat. Oleh karena itu, *calcined clay* dipandang sebagai material pozzolan yang berpotensi meningkatkan kinerja beton apabila digunakan pada kadar substitusi yang optimum.

2.8. Kuat Tekan

Kuat tekan merupakan salah satu sifat mekanis beton yang menunjukkan tingkat ketahanan material dalam menerima gaya tekan hingga mencapai kondisi gagal. Parameter ini digunakan sebagai salah satu acuan utama dalam menilai kualitas beton untuk kebutuhan konstruksi dan dinyatakan dalam satuan megapascal (MPa). Pengujian kuat tekan umumnya dilakukan setelah beton mencapai umur perawatan 28 hari, karena pada umur tersebut proses hidrasi semen telah berlangsung secara optimal dan beton telah memperoleh sebagian besar kekuatan yang direncanakan (SNI 1974:2011).

Berdasarkan SNI 1974:2011, pengujian kuat tekan beton dilakukan menggunakan alat *compression testing machine* terhadap benda uji yang telah menjalani proses curing. Selama pengujian, beban tekan diberikan secara bertahap hingga benda uji mengalami keruntuhan. Nilai kuat tekan selanjutnya dihitung dengan membandingkan beban maksimum yang mampu ditahan benda uji terhadap luas penampang tekannya. Hasil pengujian ini digunakan untuk menilai mutu serta performa campuran beton yang telah dibuat.

Kuat tekan beton dipengaruhi oleh berbagai faktor, di antaranya rasio air-semen (*water cement ratio*), karakteristik bahan penyusun, kualitas proses pencampuran, tingkat pemadatan, serta proses perawatan beton. Seluruh faktor tersebut berperan terhadap berlangsungnya reaksi hidrasi dan pembentukan struktur internal beton yang menentukan kemampuan beton dalam menerima beban tekan. Dengan demikian, pengawasan terhadap kualitas material serta tahapan pembuatan beton perlu diperhatikan agar beton yang dihasilkan mampu mencapai mutu sesuai perencanaan.

2.9. Kuat Lentur

Kemampuan fisik beton dalam menahan tegangan lentur hingga mencapai beban maksimum sebelum mengalami keruntuhan disebut dengan kuat lentur. Sifat ini menjadi salah satu parameter penting pada elemen struktur, seperti balok dan pelat, yang selama masa layan menerima pembebanan lentur. Nilai kuat lentur menunjukkan kemampuan beton menahan kombinasi tegangan tarik dan tekan yang timbul akibat pembebanan tersebut.

Kuat lentur beton diketahui melalui pengujian balok beton yang diberikan pembebanan hingga mengalami keruntuhan sesuai metode ASTM C293/C293M. Nilai kuat lentur dihitung berdasarkan beban maksimum yang diterima benda uji serta dimensi penampang balok sesuai ketentuan dalam standar. Pengujian ini digunakan untuk mengevaluasi kemampuan beton dalam menahan tegangan tarik tidak langsung akibat pembebanan lentur.

Kemampuan beton dalam menahan beban lentur dapat dipengaruhi oleh beberapa aspek, seperti karakteristik agregat, rasio penggunaan air dan semen, serta penambahan material tertentu pada campuran beton. Penggunaan serat pada beton berperan dalam meningkatkan kinerja lentur dengan membantu membatasi perkembangan retakan yang terjadi akibat pembebanan. Selain itu, peningkatan kepadatan struktur internal beton juga dapat mendukung kemampuan beton dalam menerima tegangan sehingga menghasilkan performa lentur yang lebih baik.

2.10. Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya merupakan tinjauan terhadap berbagai studi yang telah dilakukan dan memiliki keterkaitan dengan pembahasan dalam penelitian ini. Kajian tersebut digunakan sebagai referensi untuk mengetahui perkembangan penelitian di bidang teknologi beton, terutama mengenai pemanfaatan material tambahan berupa serat maupun material pozzolan. Selain itu, penelitian terdahulu juga digunakan sebagai dasar dalam menentukan kebaruan (*novelty*) serta memperkuat landasan ilmiah penelitian yang dilakukan.

Tabel 2.1. Literatur Review

No.	Nama Penulis & Tahun	Tujuan	Metode	Dosis	Kuat Tekan	Kuat Lentur	Hasil Simpulan
1	Wang et al. (2024)	Menganalisis perilaku retak tarik beton berserat polypropylene melalui pemodelan mikroskopik.	Penelitian laboratorium penambahan <i>polypropylene fiber</i> terhadap volume mortar.	0.00% 0.20% 0.40% 0.60%	- - - -	8.80 9.64 10.12 9.78	Dosis optimum 0,40% menghasilkan kuat lentur tertinggi sebesar 10,12 MPa.
2	Ahmed et al. (2020)	Meninjau sifat dan kinerja beton yang diperkuat serat polypropylene berdasarkan penelitian terdahulu.	Menyajikan sifat serat, cara penyajian dosis serat terhadap beton, serta kumpulan hasil jurnal penelitian terhadap serat.	-	-	-	Artikel tinjauan pustaka sehingga tidak menentukan dosis optimum.
3	Ahmed dan Daoud (2016)	Menganalisis pengaruh kadar serat polypropylene terhadap sifat beton segar dan beton keras.	Penelitian laboratorium penambahan <i>polypropylene fiber</i> terhadap volume beton, dengan mutu rencana 30 MPa.	0% 0.10% 0.30% 0.50%	42.60 42.20 42.08 42.05	6.70 6.60 5.90 7.40	Dosis optimum 0,50% menghasilkan kuat lentur tertinggi sebesar 7,40 MPa.
4	Siddiqi et al. (2018)	Membandingkan sifat mekanik beton normal dengan beton berserat polypropylene.	Penelitian laboratorium penambahan <i>polypropylene fiber</i> terhadap volume beton, dengan mutu rencana 20 MPa.	0% 0.10% 0.20% 1% 2%	22.04 19.89 23.65 9.14 5.91	2.12 2.25 2.47 1.55 1.02	Dosis optimum 0,20% menghasilkan kuat tekan dan kuat lentur tertinggi.

No.	Nama Penulis & Tahun	Tujuan	Metode	Dosis	Kuat Tekan	Kuat Lentur	Hasil Simpulan
5	Govind asami et al. (2018)	Mengevaluasi pengaruh variasi kadar serat polypropylene terhadap kekuatan beton.	Penelitian laboratorium penambahan <i>polypropylene fiber</i> terhadap volume beton, dengan mutu rencana 25 MPa.	0% 0.50% 1% 1.50% 2%	26.97 28.19 29.04 26.03 20.74	3.66 4.03 4.51 4.89 3.68	Kuat tekan optimum pada dosis 1%, sedangkan kuat lentur optimum pada dosis 1,50%.
6	Hasan et al. (2019)	Menganalisis pengaruh kadar serat polypropylene terhadap workability dan kekuatan beton.	Penelitian laboratorium penambahan <i>polypropylene fiber</i> terhadap volume beton, dengan mutu rencana 39 MPa.	0% s.d. 2.16%	39.00 s.d. 9.80	4.50 s.d. 1.20	Dosis optimum 0,36% menghasilkan kuat tekan 46,00 MPa dan kuat lentur 5,10 MPa.
7	Afsheen et al. (2026)	Menganalisis pengaruh substitusi <i>calcined clay</i> terhadap sifat beton segar dan beton keras.	Penelitian laboratorium substitusi <i>calcined clay</i> terhadap berat semen, dengan mutu rencana 30 MPa.	0% 5% 10% 15% 20%	32.00 34.00 37.20 28.00 22.50	-	Substitusi optimum <i>calcined clay</i> sebesar 10% menghasilkan kuat tekan 37,20 MPa.
8	Nguyen et al. (2018)	Mengevaluasi pengaruh limestone <i>calcined clay</i> terhadap sifat rekayasa beton.	Penelitian laboratorium substitusi <i>calcined clay</i> terhadap berat semen, dengan mutu rencana 30 dan 50 MPa.	0% 0% 15% 30% 45%	35.00 55.00 58.00 35.50 36.30	-	Substitusi optimum <i>calcined clay</i> sebesar 15% menghasilkan kuat tekan tertinggi pada seri pengujian.

No.	Nama Penulis & Tahun	Tujuan	Metode	Dosis	Kuat Tekan	Kuat Lentur	Hasil Simpulan
9	Olofinn ade dan Ogara (2021)	Menganalisis pengaruh <i>calcined clay</i> dan agregat bata daur ulang terhadap workability, kekuatan, dan mikrostruktur beton.	Penelitian laboratorium substitusi <i>calcined clay</i> dan limbah bata terhadap berat semen, dengan mutu rencana 40 MPa.	0% 10%	41.00 45.00	8.80 9.30	Substitusi optimum <i>calcined clay</i> sebesar 10% meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur.
10	Strybny et al. (2024)	Mengevaluasi pengaruh <i>calcined clay</i> terhadap workability, sifat mekanik, durabilitas, dan keberlanjutan beton.	Penelitian laboratorium substitusi <i>calcined clay</i> terhadap berat semen, dengan mutu rencana 50 MPa.	0% 15% 30% 50%	57.00 64.00 63.00 51.00	-	Substitusi optimum <i>calcined clay</i> sebesar 15% menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 64 MPa.

Sumber: Penelitian Terdahulu, 2026

2.11. Celah Penelitian

Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penambahan *polypropylene fiber* mampu meningkatkan performa mekanis beton, terutama pada kuat lentur, kuat tarik belah, serta ketahanan terhadap retak. Hasan et al. (2019), T. A. H. Ahmed & Daoud (2016), Govindasami et al. (2018), serta Siddiqi et al. (2018) menyampaikan bahwa *polypropylene fiber* dapat meningkatkan kapasitas beton dalam menahan gaya lentur melalui mekanisme *crack bridging*. Meskipun demikian, pengaruhnya terhadap kuat tekan masih menunjukkan hasil yang belum konsisten. Beberapa penelitian memperoleh peningkatan kuat tekan pada kadar serat tertentu, sedangkan penelitian lainnya menunjukkan bahwa penambahan serat secara berlebihan justru menurunkan kuat tekan beton. Hasan et al. (2019) menjelaskan bahwa tingginya kadar *polypropylene fiber* menyebabkan proses pemadatan beton menjadi kurang optimal sehingga ikatan antara pasta semen dan

agregat tidak terbentuk dengan baik. Kondisi tersebut mengakibatkan kemampuan beton dalam menahan beban tekan maupun lentur ikut berkurang. Selain itu, Wang et al. (2024) menyampaikan bahwa keberadaan *polypropylene fiber* dapat mengganggu kontinuitas matriks beton apabila tidak didukung oleh material berukuran halus yang mampu mengisi ruang di antara pasta semen dan agregat. Akibatnya, ikatan antar material penyusun beton menjadi kurang kuat sehingga perkembangan kekuatan beton tidak berlangsung secara optimal.

Selain perbedaan pengaruh terhadap kuat tekan, penelitian terdahulu juga belum menunjukkan keseragaman mengenai kadar optimum *polypropylene fiber*. Govindasami et al. (2018) memperoleh kuat lentur optimum pada kadar 1,5%, sedangkan T. A. H. Ahmed & Daoud (2016) memperoleh hasil optimum pada kadar 0,5%. Hasan et al. (2019) menyampaikan bahwa kadar optimum *polypropylene fiber* berada pada 0,36%, sementara Siddiqi et al. (2018) memperoleh hasil optimum pada kadar 0,20%. Hasil yang berbeda juga ditunjukkan oleh Khairizal et al. (2015), yaitu kuat tekan optimum dicapai pada penambahan serat sebesar 0,4 kg/m³, sedangkan kuat lentur masih meningkat hingga dosis 1,0 kg/m³. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa efektivitas *polypropylene fiber* dipengaruhi oleh karakteristik campuran beton, sehingga masih diperlukan penelitian untuk memperoleh kombinasi material yang mampu meningkatkan kuat lentur tanpa menyebabkan penurunan kuat tekan.

Sebagai upaya mengatasi permasalahan tersebut, berbagai penelitian mulai memanfaatkan *calcined clay* sebagai material substitusi sebagian semen. Nguyen et al. (2018) menyampaikan bahwa *calcined clay* mengandung silika (SiO₂) dan alumina (Al₂O₃) yang bersifat pozzolanik. Senyawa tersebut bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca (OH)₂) yang dihasilkan selama proses hidrasi semen sehingga membentuk *calcium silicate hydrate* (C-S-H). Gel C-S-H merupakan senyawa utama yang berfungsi sebagai pengikat dalam beton. Bertambahnya jumlah gel C-S-H menyebabkan ikatan antara pasta semen dan agregat menjadi lebih kuat sehingga kekuatan beton dapat meningkat (Nguyen et al., 2018). Sejalan dengan hal tersebut, Olofinnade & Ogara (2021) menyampaikan bahwa penggunaan *calcined clay* mampu memperbaiki struktur mikro beton sehingga

meningkatkan kuat tekan. Selain itu, Afsheen et al. (2026) menunjukkan bahwa substitusi semen menggunakan *calcined clay* sebesar 10% mampu meningkatkan kuat tekan beton hingga 10,00%. Meskipun demikian, penelitian-penelitian tersebut masih berfokus pada penggunaan *calcined clay* tanpa dikombinasikan dengan *polypropylene fiber*. Oleh karena itu, belum diketahui apakah pembentukan gel C-S-H dari *calcined clay* mampu memperkuat kembali ikatan antara pasta semen dan agregat yang mengalami penurunan akibat penambahan *polypropylene fiber*.

Berdasarkan uraian tersebut, masih terdapat celah penelitian mengenai pemanfaatan *calcined clay* sebagai substitusi sebagian semen pada beton yang mengandung *polypropylene fiber*. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan *polypropylene fiber* sebesar 0,4% sebagai kadar tetap berdasarkan rentang kadar optimum yang dilaporkan pada penelitian terdahulu, kemudian mengombinasikannya dengan variasi *calcined clay* sebesar 5%, 10%, dan 15% untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton struktural.