

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki tingkat risiko bencana yang tinggi, termasuk gempa bumi, sehingga bangunan dituntut memiliki kinerja struktur yang mampu mempertahankan keselamatan penggunanya. Beberapa peristiwa seperti Gempa Yogyakarta tahun 2006, Gempa Palu tahun 2018, dan Gempa Cianjur tahun 2022 menunjukkan bahwa kerusakan struktur dapat dipicu oleh beban dinamis yang menyebabkan berkembangnya retak hingga berujung pada kegagalan elemen bangunan (Pusat Studi Gempa Nasional, 2022). Meskipun demikian, gempa bukanlah satu-satunya penyebab kerusakan struktur, karena retak pada beton juga dapat berkembang akibat pembebanan berulang, beban berlebih, maupun penurunan kualitas material selama masa layan bangunan. Retak merupakan salah satu bentuk kerusakan yang paling sering dijumpai pada beton dan berkaitan erat dengan kemampuan material dalam menahan gaya tarik maupun lentur. Beton pada dasarnya memiliki kuat tekan yang tinggi, tetapi bersifat getas sehingga kapasitasnya dalam menahan gaya tarik dan lentur relatif rendah. Ketika beban lentur bekerja melebihi kemampuan beton, retak akan terbentuk dan berkembang dengan cepat sehingga berpotensi menurunkan kapasitas struktur, bahkan memicu keruntuhan apabila tidak dapat dikendalikan.

Pentingnya kemampuan kuat lentur beton juga terlihat pada berbagai kasus kegagalan struktur di Indonesia. Salah satunya adalah runtuhnya lantai mezanin Gedung Bursa Efek Indonesia (BEI) Jakarta pada tahun 2018. Peristiwa tersebut menunjukkan bahwa elemen struktur yang menerima beban lentur berlebih dapat mengalami kegagalan ketika kapasitasnya tidak mampu lagi menahan beban yang bekerja (Antara News, 2018). Kondisi tersebut menegaskan bahwa keamanan bangunan tidak hanya ditentukan oleh kemampuan beton menahan beban tekan,

tetapi juga oleh kemampuannya dalam menghambat perkembangan retak akibat gaya lentur.

Selain pada konstruksi gedung, juga disinggung pada pedoman Direktorat Jenderal Bina Marga (2017), menetapkan ambang batas minimum sebesar 4,5 MPa untuk kategori lalu lintas berat, dan beban lalu lintas rendah hingga sedang, syarat minimal biasanya berkisar di angka 3,5 MPa. Pada SNI 8457-2017, terdapat fleksibilitas desain untuk area lalu lintas rendah dengan mempertimbangkan ketersediaan sumber daya lokal. Pada klasifikasi ini, mutu beton yang digunakan dapat disesuaikan pada tingkat yang lebih rendah, yakni dengan spesifikasi kuat lentur minimum sebesar 3,5 MPa, 3,8 MPa, atau 4,1 MPa.

Berbagai penelitian terdahulu telah mengembangkan *fiber reinforced concrete* (FRC) dengan memanfaatkan beragam jenis serat sebagai bahan penguat, di antaranya *steel fiber*, *nylon fiber*, *polyvinyl alcohol* (PVA), *polyethylene* (PE), dan *polypropylene* (PP). Setiap jenis serat memiliki karakteristik yang berbeda sehingga memberikan pengaruh yang tidak sama terhadap sifat mekanis beton. *Steel fiber* memiliki kuat tarik dan modulus elastisitas yang tinggi sehingga lebih berorientasi pada peningkatan kekuatan beton, sedangkan serat sintesis seperti *polypropylene fiber* lebih efektif dalam meningkatkan daktilitas, menghambat perkembangan retak, serta memperbaiki perilaku beton setelah terjadi retak (T. W. Ahmed et al., 2020; Govindasami et al., 2018).

Di antara berbagai jenis serat tersebut, *polypropylene fiber* dipilih pada penelitian ini karena memiliki beberapa keunggulan dibandingkan serat sintesis lainnya. *Polypropylene fiber* memiliki berat jenis yang rendah, yaitu sekitar 0,91 g/cm³, sehingga penambahannya tidak memberikan perubahan yang signifikan terhadap berat beton. Selain itu, *polypropylene fiber* memiliki ketahanan kimia yang baik terhadap lingkungan alkali semen, mudah tersebar dalam campuran beton, serta telah banyak diaplikasikan pada berbagai konstruksi seperti perkerasan jalan, pelat lantai, pondasi mesin, tangki, dan struktur lepas pantai (Govindasami et al., 2018). Berbagai karakteristik tersebut menjadikan *polypropylene fiber* sebagai salah satu jenis serat yang paling banyak digunakan dalam penelitian beton serat.

Penggunaan *polypropylene fiber* menjadi inovasi penting untuk mengubah sifat beton yang getas menjadi lebih daktail melalui mekanisme *crack bridging*. Sebagaimana dinyatakan oleh T. W. Ahmed et al. (2020), penambahan serat *polypropylene* dalam campuran beton bertujuan khusus untuk memperlambat perambatan retak dan meningkatkan kapasitas penampang dalam menahan gaya lentur yang tidak mampu dipikul oleh beton tanpa serat.

Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa *polypropylene fiber* mampu meningkatkan kuat lentur beton, tetapi peningkatan tersebut hanya terjadi pada kadar serat tertentu. Hasan et al. (2019) menyampaikan bahwa penambahan *polypropylene fiber* mampu meningkatkan kuat tekan sebesar 17,95% dan kuat lentur sebesar 13,33%. Namun, ketika kadar serat ditingkatkan hingga 2,16%, kuat tekan dan kuat lentur justru mengalami penurunan yang signifikan, masing-masing sebesar 74,87% dan 73,33%. Hasan et al. (2019) menjelaskan bahwa penurunan tersebut disebabkan oleh proses pemadatan beton yang menjadi kurang sempurna akibat tingginya kadar serat, sehingga terbentuk lebih banyak rongga udara di dalam beton. Kondisi tersebut menyebabkan ikatan antara pasta semen dan agregat menjadi kurang optimal, sehingga kemampuan beton dalam menahan beban tekan maupun lentur ikut menurun. Selain itu, T. A. H. Ahmed & Daoud (2016) menyampaikan bahwa penambahan *polypropylene fiber* meningkatkan kuat lentur sebesar 10,45%, namun kuat tekan mengalami sedikit penurunan sebesar 1,29%. Berdasarkan berbagai penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa penggunaan *polypropylene fiber* memerlukan kadar optimum agar peningkatan kuat lentur tidak diikuti oleh penurunan kuat tekan.

Untuk mengatasi penurunan kuat tekan akibat penambahan *polypropylene fiber*, berbagai penelitian memanfaatkan *supplementary cementitious materials* (SCMs) sebagai bahan substitusi sebagian semen. Beberapa material yang umum digunakan meliputi *fly ash*, *ground granulated blast furnace slag* (GGBFS), *silica fume*, dan *calcined clay* (Nguyen et al., 2018). Di antara material tersebut, *fly ash* telah banyak dimanfaatkan karena mampu meningkatkan kuat tekan beton melalui reaksi pozzolanik. Akan tetapi, reaksi pozzolanik *fly ash* berlangsung relatif lambat sehingga perkembangan kuat tekan pada umur awal cenderung lebih rendah,

sedangkan peningkatan kekuatan menjadi lebih nyata pada umur beton yang lebih lanjut (Bui et al., 2018; Li et al., 2022). Selain itu, ketersediaan *fly ash* dan GGBFS semakin terbatas karena bergantung pada limbah hasil pembakaran batu bara dan industri baja. Oleh karena itu, *calcined clay* mulai banyak dikembangkan sebagai alternatif SCM yang lebih berkelanjutan karena memiliki ketersediaan yang melimpah dan mudah diperoleh (Nguyen et al., 2018).

Calcined clay merupakan tanah liat yang dipanaskan pada suhu tertentu sehingga memiliki sifat pozzolanik (Afsheen et al., 2026). Sifat pozzolanik merupakan kemampuan material yang mengandung silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) untuk bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) hasil hidrasi semen (Nguyen et al., 2018). Reaksi tersebut dikenal sebagai reaksi pozzolanik dan menghasilkan *calcium silicate hydrate* (C-S-H), yaitu senyawa utama yang berfungsi sebagai pengikat antartikel penyusun beton. Bertambahnya pembentukan gel C-S-H memperkuat ikatan antara pasta semen dan agregat sehingga struktur beton menjadi lebih padat dan mampu meningkatkan kuat tekan beton (Nguyen et al., 2018).

Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan *calcined clay* mampu meningkatkan sifat mekanis beton pada kadar tertentu. Olofinnade & Ogara (2021) menyampaikan bahwa penambahan *calcined clay* mampu meningkatkan kuat tekan melalui perbaikan kualitas ikatan dalam struktur beton. Selain itu, Afsheen et al. (2026) menyampaikan bahwa substitusi semen menggunakan *calcined clay* sebesar 10% mampu meningkatkan kuat tekan beton hingga 10,00%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *calcined clay* tidak hanya berfungsi sebagai material pengganti sebagian semen, tetapi juga menghasilkan gel C-S-H tambahan yang memperkuat ikatan antara pasta semen dan agregat sehingga penurunan kuat tekan akibat penambahan *polypropylene fiber* diharapkan dapat diminimalkan (Afsheen et al., 2026).

Meskipun demikian, penelitian yang mengombinasikan *calcined clay* dengan *polypropylene fiber* masih relatif terbatas. Sebagian besar penelitian hanya mengkaji pengaruh masing-masing material secara terpisah, sehingga interaksi keduanya terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton belum banyak dilaporkan. Oleh

karena itu, penelitian ini difokuskan untuk mengevaluasi pengaruh variasi kadar *calcined clay* pada beton yang mengandung *polypropylene fiber* terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton struktural.

1.2. Rumusan Masalah

Mengacu pada uraian latar belakang yang telah disampaikan, rumusan masalah dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi penambahan *polypropylene fiber* dan substitusi *calcined clay* terhadap nilai kuat tekan dan kuat lentur beton?
2. Bagaimana komposisi yang paling optimum dalam campuran beton dengan penambahan *polypropylene fiber* dan substitusi *calcined clay*?
3. Bagaimana perbandingan biaya produksi antara beton normal dan beton dengan penambahan *polypropylene fiber* dan substitusi *calcined clay*?

1.3. Tujuan Penelitian

Mengacu pada permasalahan yang telah dijelaskan dalam latar belakang, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui hasil pengujian kuat tekan dan kuat lentur pada beton dengan variasi penambahan *polypropylene fiber* dan substitusi *calcined clay*.
2. Mengetahui komposisi optimal pada pembuatan beton dengan penambahan *polypropylene fiber* dan substitusi *calcined clay* untuk meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur beton.
3. Mengetahui bagaimana perbandingan biaya untuk beton dengan penambahan *polypropylene fiber* dan substitusi *calcined clay* terhadap beton normal.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dan kontribusi terhadap pengembangan beton serat, baik dalam bidang akademik maupun penerapan di dunia konstruksi, di antaranya:

1. Data dari penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan komposisi optimal penggunaan substitusi *calcined clay* pada pembuatan beton dengan kandungan *polypropylene fiber*.
2. Memberikan informasi mengenai hasil pengujian kuat tekan dan kuat lentur beton dengan penambahan *polypropylene fiber* dan substitusi *calcined clay*.
3. Menjadi alternatif inovasi material beton dengan performa mekanis yang lebih baik dibandingkan beton normal.
4. Dapat dijadikan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya dalam pengembangan beton serat dan material substitusi semen agar diperoleh hasil yang lebih optimal.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian diperlukan untuk menentukan ruang lingkup pembahasan sehingga penelitian dapat lebih terfokus dan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Batasan ini juga bertujuan untuk menghindari pembahasan yang terlalu luas sehingga hasil penelitian dapat lebih fokus, sistematis, dan mudah dianalisis. Selain itu, dengan adanya batasan masalah, penelitian dapat disesuaikan dengan keterbatasan waktu, alat, serta kemampuan dalam pelaksanaan di laboratorium. Oleh karena itu, penelitian ini dibatasi pada beberapa aspek berikut:

1. Penelitian menggunakan beton normal sebagai objek uji.
2. Bahan penyusun beton meliputi semen, agregat halus, agregat kasar, air, serta bahan tambah berupa *polypropylene fiber* dan bahan substitusi berupa *calcined clay*.
3. Variasi yang digunakan yaitu penambahan *polypropylene fiber* sebesar 0,4% terhadap volume beton dan substitusi *calcined clay* dengan variasi 5%, 10%, dan 15% terhadap berat semen.
4. Perencanaan campuran beton (*job mix design*) mengacu pada standar SNI 7656-2012.
5. Pengujian material penyusun beton meliputi:
 - Analisis saringan (gradasi agregat halus dan kasar)

- Kadar lumpur agregat
 - Berat jenis dan penyerapan (absorpsi) agregat
 - Berat isi agregat
6. Pengujian beton keras terbatas pada sifat mekanik, yaitu kuat tekan dan kuat lentur.
 7. Benda uji yang digunakan berupa beton dalam skala laboratorium dengan ukuran sesuai standar pengujian yang berlaku.
 8. Perawatan benda uji dilakukan dengan metode perendaman (*curing*) hingga umur 28 hari.

1.6. Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini difokuskan pada pengujian yang dilaksanakan di laboratorium untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan bahan tambah dan substitusi material terhadap performa beton. Penelitian ini menggunakan beton normal sebagai objek utama dengan variasi komposisi material tertentu.