

Pengaruh Pengekangan dan Penulangan Lentur terhadap Kuat Tekan Beton pada Benda Uji Kubus dan Silinder

Fitriani Ridzeki¹, Darmansyah Tjitradi¹,
Nursiah Chairunnisa¹, Ida Barkiah¹,
Fathurrahman², Ikhsanudin², M Ryandika
Raditya²

¹ Program Studi Program Profesi Insinyur, Universitas Lambung Mangkurat

² Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Kalimantan MAB Banjarmasin

✉ fitriani Ridzeki@yahoo.com

Perencanaan bangunan tahan gempa memiliki perbedaan signifikan dibandingkan dengan bangunan non-tahan gempa. Beton bertulang merupakan kombinasi beton dan tulangan baja yang bekerja bersama untuk menahan beban, termasuk beban gempa. Tulangan baja memberikan kekuatan tarik yang tidak dimiliki beton. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pengekangan dan penulangan lentur terhadap kuat tekan beton. Pembuatan campuran beton mengacu pada SK-SNI T-28-1991-03 mengenai metode pengadukan dan pengecoran beton, dengan proses pencampuran menggunakan molen. Campuran dibuat berdasarkan persiapan material dan alat sesuai kebutuhan perhitungan Mix Design. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan beton dengan sengkang jarak 5 cm adalah 305,19 kg/cm² (kubus 15×15×15 cm), 236,84 kg/cm² (kubus 20×20×20 cm), dan 286,50 kg/cm² (silinder 15×30 cm). Pada sengkang jarak 10 cm, kuat tekan beton menurun menjadi 247,41 kg/cm², 186,84 kg/cm², dan 252,39 kg/cm² untuk masing-masing ukuran benda uji yang sama. Sementara itu, beton dengan penulangan lentur pada sengkang 5 cm memiliki kuat tekan 275,56 kg/cm², 153,51 kg/cm², dan 286,50 kg/cm². Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh pengekangan dan penulangan lebih signifikan pada benda uji silinder, yang lebih representatif untuk aplikasi struktur beton bertulang di lapangan.

Kata kunci: benda uji, pengekangan, tulangan lentur, kuat tekan

Diajukan: 15 Februari 2024

Direvisi: 20 Mei 2024

Diterima: 29 Juli 2024

Dipublikasikan online: 1 Agustus 2024

Pendahuluan

Perencanaan bangunan tahan gempa memiliki perbedaan signifikan dibandingkan dengan bangunan non-tahan gempa. Hal ini disebabkan oleh beban gempa yang datang dari berbagai arah, sehingga momen yang terjadi saat gempa berubah-ubah dan tidak selalu sesuai dengan kondisi perencanaan awal. Seiring perkembangan teknologi konstruksi, material yang digunakan dalam pembangunan telah mengalami banyak perubahan, dari tanah, kayu, dan batu, hingga material berbasis beton dan baja.

Beton merupakan material konstruksi yang diperoleh dari pencampuran pasir, kerikil/batu pecah, semen, dan air. Beberapa bahan tambahan sering ditambahkan untuk meningkatkan sifat beton, seperti workability, durability, dan waktu pengerasan. Beton yang telah mengeras memiliki kuat tekan yang tinggi, tetapi lemah dalam menahan gaya tarik. Oleh karena itu, dalam konstruksi bangunan modern, beton sering dikombinasikan dengan

tulangan baja untuk membentuk beton bertulang, yang memiliki ketahanan struktural lebih baik (Tjitradi, 2016).

Beton bertulang adalah kombinasi beton dan tulangan baja yang bekerja bersama dalam memikul beban. Tulangan baja memberikan kuat tarik yang tidak dimiliki beton, serta mampu menahan beban tekan, seperti pada elemen kolom beton. Hingga saat ini, konstruksi beton bertulang tetap menjadi salah satu jenis konstruksi yang paling banyak digunakan karena berbagai keunggulannya. Dalam perkembangannya, upaya untuk meningkatkan kinerja beton terus dilakukan, termasuk dengan penggunaan bahan daur ulang, sistem pengekangan, serta perkuatan serat untuk meningkatkan ketahanan beton terhadap gaya tekan maupun lentur (Wang et al., 2024; Zhang et al., 2024).

Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan agregat daur ulang, terutama pada beton bertulang, berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan dengan tetap mempertahankan performa struktural yang baik. Xiamuxi et al. (2024) meneliti perilaku lentur pada beton bertulang yang diisi dengan agregat daur ulang, menunjukkan bahwa

Ridzeki, F., Tjitradi, D., Chairunnisa, N., Barkiah, I., Fathurrahman, I., Ikhsanudin, I., & Raditya, M. R. (2024) Pengaruh Pengekangan dan Penulangan Lentur terhadap Kuat Tekan Beton pada Benda Uji Kubus dan Silinder. *Buletin Profesi Insinyur*, 7(2), 056-063.



rasio penguatan optimal sangat berpengaruh terhadap kapasitas lentur dan ketahanan beban. Çankaya dan Al Saman (2024) juga mengkaji pengaruh serat baja pada beton bertulang, menemukan bahwa peningkatan rasio serat dapat meningkatkan kekuatan lentur secara signifikan, terutama dalam kondisi desain kritis geser.

Selain itu, interaksi antara baja tulangan dan beton sangat dipengaruhi oleh perilaku bond-slip. Zhang et al. (2024) menunjukkan bahwa pengekan lateral pada beton agregat daur ulang dapat meningkatkan kekuatan geser dan daya rekat dengan tulangan baja. Studi lain oleh Takaloozadeh et al. (2024) membahas penggunaan laser-cut reinforcement, yang terbukti dapat meningkatkan kapasitas ikatan antara baja dan beton serta mengurangi ketergantungan pada proses pemasangan tulangan konvensional.

Teknologi perkuatan beton juga terus berkembang. Szcześniak dan Stolarski (2024) mengusulkan sistem reinforcement spatial dengan mesh tubes, yang terbukti meningkatkan kekuatan tekan dan daktilitas beton ultra-high performance. Sementara itu, Bošnjak et al. (2024) meneliti pengaruh perkuatan transversal terhadap performa ikatan beton pasca-kebakaran, menyoroti pentingnya ketahanan beton dalam kondisi ekstrem.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pengekan dan penulangan lentur pada benda uji kubus dan silinder. Pengaturan tulangan longitudinal dan transversal dalam pendetailan struktur sangat mempengaruhi kekuatan dan daktilitas suatu bangunan, terutama dalam menahan variasi pembebanan (Ridzeki, 2020). Dalam hal ini, penggunaan sistem pengekan terbukti memainkan peran penting dalam meningkatkan kapasitas beban struktur beton bertulang. Kombinasi teknik perkuatan dengan penggunaan serat basalt dan material komposit lainnya juga telah terbukti meningkatkan kekuatan tekan dan ketangguhan struktur beton dalam berbagai skenario (Mohan & Madhavi, 2024).

Dengan memahami pengaruh pengekan dan penulangan lentur, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan desain struktur beton bertulang yang lebih kuat dan tahan terhadap beban gempa.

Metode

Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari hasil uji laboratorium terhadap spesimen material beton berbentuk kubus dan silinder untuk mengukur kuat tekan, serta spesimen material baja tulangan untuk menguji lentur dan geser. Benda uji yang digunakan terdiri dari kubus berukuran 150 mm × 150 mm × 150 mm, kubus 200 mm × 200 mm × 200 mm, serta silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.

Sementara itu, jarak sengkang yang diterapkan dalam penelitian ini mengikuti standar desain beton bertulang SNI 2847:2019, di mana jarak maksimum tidak boleh melebihi 150 mm guna memastikan kinerja optimal terhadap beban tekan dan geser.

Tabel 1 menunjukkan perbandingan kuat tekan beton berdasarkan jenis dan ukuran benda uji menurut PBI (1971). Kubus berukuran 15 cm × 15 cm × 15 cm dijadikan acuan dengan nilai perbandingan 1,00. Kubus 20 cm × 20

cm × 20 cm memiliki kuat tekan relatif 0,95, menunjukkan sedikit penurunan dibandingkan kubus yang lebih kecil akibat rasio volume dan luas permukaan yang mempengaruhi distribusi tegangan. Sementara itu, silinder berukuran 15 cm × 30 cm memiliki kuat tekan relatif 0,83, yang lebih rendah dibandingkan kubus karena bentuknya lebih representatif terhadap kondisi tegangan beton di lapangan dan memiliki efek gesekan lebih kecil dengan pelat penguji. Perbedaan ini menunjukkan bahwa kuat tekan beton yang diuji dengan silinder umumnya lebih rendah dibandingkan kubus, sehingga dalam perancangan beton bertulang sering dilakukan konversi antara hasil uji silinder dan kubus untuk menyesuaikan dengan standar desain yang berlaku.

Tabel 1 Perbandingan Kuat Tekan Beton pada Berbagai Benda Uji (PBI, 1971)

| Benda Uji | Perbandingan Kuat Tekan |
|-----------------------------|-------------------------|
| Kubus 15 cm × 15 cm × 15 cm | 1,00 |
| Kubus 20 cm × 20 cm × 20 cm | 0,95 |
| Silinder 15 cm × 30 cm | 0,83 |

Pembuatan campuran beton dalam penelitian ini mengacu pada SK-SNI T-28-1991-03 mengenai prosedur pengadukan dan pengecoran beton. Proses pencampuran dilakukan menggunakan molen, dimulai dari persiapan bahan dan alat yang disesuaikan dengan persyaratan dan kebutuhan material berdasarkan perhitungan Mix Design.

Gambar 1 menunjukkan persiapan tulangan baja yang akan digunakan dalam penelitian beton bertulang. Tulangan berbentuk persegi ini berfungsi sebagai rangka pengekan yang nantinya akan digunakan dalam pembuatan spesimen beton untuk pengujian kuat tekan.

Gambar 2 menampilkan alat uji kuat tekan beton, di mana sebuah spesimen beton sedang menjalani pengujian menggunakan mesin uji tekan. Mesin ini memberikan beban bertahap hingga beton mencapai titik kegagalan, yang kemudian digunakan untuk menentukan kuat tekan maksimum beton sesuai dengan standar pengujian yang berlaku.

Pengujian dilakukan setelah benda uji mencapai umur 28 hari. Langkah-langkah pengujian sebagai berikut:

1. Menyiapkan benda uji yang telah berumur 28 hari.
2. Menimbang benda uji untuk memperoleh data berat dalam kondisi kering.
3. Mengukur dimensi benda uji guna memastikan kesesuaian dengan standar pengujian.
4. Meletakkan benda uji secara vertikal pada mesin uji tekan, dengan posisi yang simetris untuk memastikan distribusi beban yang merata.
5. Menyalakan mesin uji tekan dan meningkatkan tekanan secara bertahap sesuai kecepatan yang telah ditentukan.
6. Melanjutkan pembebanan hingga benda uji mengalami kegagalan, ditandai dengan munculnya retakan atau kehancuran.



Gambar 1 Penulangan pada Benda Uji



Gambar 2 Benda Uji dan *Compression Test*

Kuat tekan beton diwakili oleh kuat tekan maksimum dengan satuan kg/cm^2 . Kuat tekan beton normal berumur 28 hari dengan kuat tekan karakteristik beton K-300.

Dimana:

f_c = kuat tekan beton (kg/cm^2)

P = beban hancur (kg)

A = luas penampang (cm^2)

Pengekangan merupakan solusi yang paling efektif dalam meningkatkan daktilitas (μ) dan regangan beton (ϵ_c). Pengaturan tulangan longitudinal dan transversal dalam pendetailan tulangan struktur bangunan dapat mempengaruhi kekuatan dan daktilitas struktur bangunan tersebut. Sehingga penelitian yang akan dilakukan adalah pengujian kuat tekan beton pada benda uji kubus dan silinder. Perhitungan kuat tekan beton menggunakan persamaan:

$$f_c = P/A$$

yang diberi pengekangan dan variasi lentur untuk mendapatkan pengaruh dari pembebanan dan kuat tekan (Ridzeki, 2021).

Uji Eksperimental

Benda uji yang akan digunakan adalah bentuk kubus dengan dimensi $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$, kubus $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$, dan silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm . Pada penelitian ini digunakan tulangan utama dengan diameter 10 mm dan tulangan Senggang 8 mm . Proses pembuatan benda uji dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3 Tulangan dalam Cetakan Benda Uji

Gambar 4 adalah mengontrol nilai slump menggunakan kerucut *Abrams* setelah semua bahan dasar merata dalam adukan untuk mengukur workabilitas beton segar. Setelah itu adukan beton segar dapat dimasukkan ke dalam cetakan benda uji seperti terlihat pada Gambar 5. Setelah 24 jam cetakan dibuka dan seterusnya direndam dalam air untuk menjaga hidrasi selama 28 hari. Proses perendaman seperti terlihat pada Gambar 6.

Pengujian dilakukan setelah benda uji mencapai umur 28 hari dengan meletakkan benda uji pada mesin uji tekan secara vertical. Kemudian dilakukan pembebanan sampai benda uji tidak kuat lagi menahan tekanan dan retak atau hancur.



Gambar 4 Slump Test



Gambar 5 Benda Uji dalam Cetakan



Gambar 6 Perendaman Benda Uji

Hasil dan Pembahasan

Data Hasil Pembebanan

Dari pengujian pada mesin uji tekan didapat hasil seperti pada Tabel 2. Dari table, didapatkan rata-rata kuat tekan beton tanpa penulangan untuk benda uji kubus 15cm×15cm×15cm adalah 231,11 kg/cm², kubus 20cm×20cm×20cm sebesar 185,96 kg/cm², dan silinder 15cm×30cm sebesar 270,58 kg/cm².

Tabel 2 Nilai Beban Maksimum dan Kuat Tekan pada Benda Uji Tanpa Tulangan.

| No. | Benda Uji | Beban Maksimum (kg) | Kuat Tekan (kg/cm ²) |
|-----|-----------|---------------------|----------------------------------|
| 1. | K150-0-1 | 45000 | 200.00 |
| | K150-0-2 | 59000 | 262.22 |
| | K150-0-3 | 52000 | 231.11 |
| 2. | K200-0-1 | 69000 | 181.58 |
| | K200-0-2 | 75000 | 197.37 |
| | K200-0-3 | 68000 | 178.95 |
| 3. | S300-0-1 | 37000 | 252.39 |
| | S300-0-2 | 43000 | 293.32 |
| | S300-0-3 | 39000 | 266.03 |

Tabel 3 menyajikan nilai beban maksimum dan kuat tekan pada benda uji beton dengan tulangan sengkang

berjarak 5 cm. Benda uji terdiri dari tiga jenis spesimen: kubus berukuran 15 cm × 15 cm × 15 cm (K150), kubus 20 cm × 20 cm × 20 cm (K200), dan silinder 15 cm × 30 cm (S300). Dari tabel didapatkan rata-rata kuat tekan beton dengan tulangan sengkang jarak 5 cm untuk benda uji kubus 15cm×15cm×15cm adalah 305,19 kg/cm², kubus 20cm×20cm×20cm sebesar 236,84 kg/cm², dan silinder 15cm×30cm sebesar 286,50 kg/cm².

Tabel 4 menunjukkan nilai beban maksimum dan kuat tekan pada benda uji beton dengan tulangan sengkang berjarak 10 cm. Berdasarkan hasil pengujian, rata-rata kuat tekan beton untuk benda uji kubus 15 cm × 15 cm × 15 cm adalah 247,41 kg/cm², sedangkan untuk kubus 20 cm × 20 cm × 20 cm sebesar 186,84 kg/cm². Sementara itu, benda uji silinder 15 cm × 30 cm memiliki kuat tekan rata-rata 252,39 kg/cm². Hasil ini menunjukkan bahwa jarak sengkang yang lebih besar berpengaruh terhadap distribusi tegangan dalam beton, yang dapat memengaruhi performa tekan beton bertulang.

Tabel 3 Nilai Beban Maksimum dan Kuat Tekan pada Benda Uji dengan Tulangan Sengkang, s = 5 cm.

| No. | Benda Uji | Beban Maksimum (kg) | Kuat Tekan (kg/cm ²) |
|-----|-----------|---------------------|----------------------------------|
| 1. | K150-0-1 | 71000 | 315.56 |
| | K150-0-2 | 71000 | 315.56 |
| | K150-0-3 | 64000 | 284.44 |
| 2. | K200-0-1 | 93000 | 244.74 |
| | K200-0-2 | 86000 | 226.32 |
| | K200-0-3 | 91000 | 239.47 |
| 3. | S300-0-1 | 37000 | 252.39 |
| | S300-0-2 | 43000 | 293.32 |
| | S300-0-3 | 46000 | 313.78 |

Tabel 4 Nilai Beban Maksimum dan Kuat Tekan pada Benda Uji dengan Tulangan Sengkang, s = 10 cm.

| No. | Benda Uji | Beban Maksimum (kg) | Kuat Tekan (kg/cm ²) |
|-----|-----------|---------------------|----------------------------------|
| 1. | K150-0-1 | 62000 | 275.56 |
| | K150-0-2 | 54000 | 240.00 |
| | K150-0-3 | 51000 | 226.67 |
| 2. | K200-0-1 | 67000 | 176.32 |
| | K200-0-2 | 77000 | 202.63 |
| | K200-0-3 | 69000 | 181.58 |
| 3. | S300-0-1 | 35000 | 238.75 |
| | S300-0-2 | 38000 | 259.21 |
| | S300-0-3 | 38000 | 259.21 |

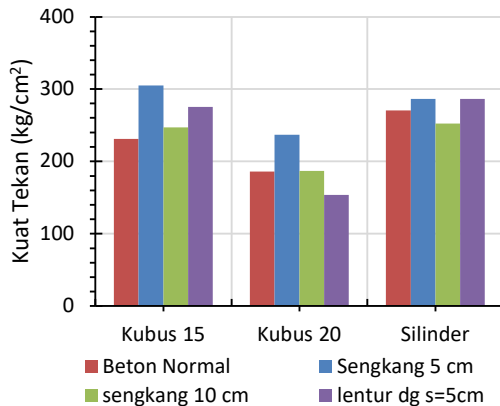
Tabel 5 menunjukkan nilai beban maksimum dan kuat tekan pada benda uji beton dengan tulangan lentur dan jarak sengkang 5 cm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata kuat tekan untuk kubus 15 cm × 15 cm × 15 cm adalah 275,56 kg/cm², sementara untuk kubus 20 cm × 20 cm × 20 cm lebih rendah, yaitu 153,51 kg/cm². Benda uji silinder 15 cm × 30 cm memiliki kuat tekan rata-rata 286,50 kg/cm², yang lebih tinggi dibandingkan kedua kubus. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi ukuran dan bentuk benda uji mempengaruhi nilai kuat tekan, dengan

silinder yang lebih representatif terhadap performa beton bertulang di lapangan.

Tabel 5 Nilai Beban Maksimum dan Kuat Tekan pada Benda Uji dengan Tulangan lentur, $s = 5$ cm.

| No. | Benda Uji | Beban Maksimum (kg) | Kuat Tekan (kg/cm ²) |
|-----|-----------|---------------------|----------------------------------|
| 1. | K150-0-1 | 58000 | 257.78 |
| | K150-0-2 | 70000 | 257.78 |
| | K150-0-3 | 70000 | 311.11 |
| 2. | K200-0-1 | 53000 | 139.47 |
| | K200-0-2 | 65000 | 171.05 |
| | K200-0-3 | 57000 | 150.00 |
| 3. | S300-0-1 | 41000 | 279.67 |
| | S300-0-2 | 49000 | 272.85 |
| | S300-0-3 | 45000 | 306.96 |

Gambar 7 menunjukkan grafik perbandingan kuat tekan beton pada berbagai benda uji, yaitu kubus 15 cm × 15 cm × 15 cm, kubus 20 cm × 20 cm × 20 cm, dan silinder 15 cm × 30 cm dengan variasi tulangan dan jarak sengkang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa benda uji dengan sengkang 5 cm memiliki kuat tekan tertinggi, terutama pada kubus 15 cm dan silinder, dibandingkan dengan beton normal dan variasi sengkang lainnya. Beton dengan sengkang 10 cm memiliki kuat tekan lebih rendah dibandingkan sengkang 5 cm, menunjukkan bahwa jarak sengkang yang lebih rapat meningkatkan kekuatan tekan beton. Benda uji dengan tulangan lentur dan sengkang 5 cm memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan beton normal tetapi lebih rendah dari beton dengan sengkang 5 cm, mengindikasikan bahwa kombinasi tulangan lentur dan sengkang tetap memberikan kontribusi terhadap kekuatan beton.



Gambar 7 Grafik Kuat Tekan dan Benda Uji

Dari grafik di atas, dapat diketahui bahwa benda uji dengan penulangan lentur dan pengekanan mampu meningkatkan kuat tekan beton pada berbagai bentuk benda uji, baik kubus maupun silinder. Benda uji kubus cenderung memiliki kuat tekan lebih tinggi karena distribusi tekanan lebih terpusat di area tertentu, ditambah dengan efek pengekanan internal alami dari bentuknya. Sementara itu, benda uji silinder lebih

mencerminkan kondisi lapangan, terutama pada kolom beton bertulang, yang lebih representatif terhadap aplikasi struktural. Tanpa pengekanan, nilai kuat tekan beton lebih rendah dibandingkan dengan beton yang diberi pengekanan dan penulangan, menunjukkan bahwa penguatan struktural berperan penting dalam meningkatkan kapasitas tekan beton.

Gambar 8 menunjukkan benda uji kubus 15 cm × 15 cm × 15 cm dengan variasi jarak sengkang 5 cm yang telah melalui pengujian kuat tekan. Retakan yang terlihat pada permukaan beton merupakan indikasi bahwa benda uji telah mencapai batas maksimumnya dalam menahan beban tekan, menyebabkan terbentuknya keretakan struktural sebelum mengalami kegagalan total.

Pola retak yang muncul menandakan bahwa beton mengalami distribusi tegangan yang merata, dengan retakan vertikal sebagai respons terhadap gaya tekan yang diterapkan. Retakan ini juga menunjukkan bahwa beton masih memiliki kapasitas deformasi sebelum hancur sepenuhnya, yang penting dalam mengevaluasi karakteristik beton bertulang di lapangan. Penggunaan sengkang dengan jarak 5 cm berkontribusi pada peningkatan kuat tekan, karena memberikan efek pengekanan yang lebih baik terhadap inti beton.



Gambar 8 Benda Uji Kubus 15 cm dengan Variasi Jarak Sengkang, $s = 5$ cm

Gambar 9 menunjukkan benda uji kubus 15 cm × 15 cm × 15 cm dengan penambahan tulangan lentur dan jarak sengkang 5 cm yang telah mengalami pengujian kuat tekan. Dari gambar tersebut, terlihat pola keruntuhan yang lebih besar dibandingkan dengan benda uji yang hanya menggunakan pengekanan.

Penambahan tulangan lentur mempengaruhi pola retak dan distribusi tegangan dalam beton. Meskipun tulangan lentur membantu meningkatkan kapasitas beban, pada tahap akhir pengujian, beton tetap mengalami keruntuhan dengan pola retak yang lebih luas, terutama di bagian bawah. Hal ini menunjukkan bahwa pengekanan lebih efektif dalam mempertahankan integritas beton dibandingkan hanya dengan penulangan lentur.

Gambar 10 menunjukkan benda uji kubus 20 cm × 20 cm × 20 cm dengan variasi jarak sengkang 5 cm setelah

mengalami pengujian kuat tekan. Dari gambar ini, terlihat pola keruntuhan yang dipengaruhi oleh ukuran benda uji yang lebih besar dibandingkan kubus 15 cm × 15 cm × 15 cm.



Gambar 9 Benda Uji Kubus 15 dengan Penambahan Tulangan lentur, $s = 5$ cm

Luas penampang yang lebih besar menyebabkan distribusi tegangan dalam beton menjadi lebih luas, sehingga pola retak cenderung lebih merata. Meskipun terdapat efek pengekanan dari tulangan sengkang, ukuran yang lebih besar mempengaruhi bagaimana beton mengalami deformasi sebelum mengalami kegagalan total. Retakan yang menjalar dari atas ke bawah menunjukkan bahwa tekanan yang diterima telah mencapai batas maksimal, mengakibatkan pecahnya material di bagian bawah.



Gambar 10 Benda Uji Kubus 20 cm dengan variasi Jarak Sengkang, $s = 5$ cm

Gambar 11 menunjukkan benda uji kubus 20 cm × 20 cm dengan penambahan tulangan lentur dan jarak sengkang 5 cm setelah mengalami pengujian kuat tekan. Dari gambar ini, terlihat pola keruntuhan yang lebih signifikan dibandingkan dengan benda uji yang hanya menggunakan pengekanan.

Penambahan tulangan lentur mempengaruhi distribusi tegangan dalam beton, namun luas penampang yang lebih besar dibandingkan kubus 15 cm × 15 cm × 15 cm menyebabkan pola retak lebih luas dan material yang terlepas lebih banyak. Meskipun tulangan lentur membantu meningkatkan kapasitas beban, efeknya

terhadap ketahanan tekan tidak sekuat pengekanan. Pecahan beton yang cukup besar pada bagian bawah menunjukkan bahwa tegangan tekan telah mencapai batas maksimal, menyebabkan kegagalan struktural yang lebih menyeluruh.



Gambar 11 Benda Uji Kubus 20 cm dengan Penambahan Tulangan Lentur, $s = 5$ cm

Gambar 12 menunjukkan benda uji silinder dengan variasi jarak sengkang 5 cm setelah mengalami pengujian kuat tekan. Pola keruntuhan yang terlihat pada benda uji ini menunjukkan adanya retakan longitudinal yang berkembang dari bagian atas hingga ke tengah, namun tidak menyebabkan pecahan material yang signifikan.

Dibandingkan dengan benda uji kubus 20 cm × 20 cm × 20 cm, retakan pada benda uji silinder lebih terlokalisasi dan tidak mengalami pecah yang menyeluruh. Hal ini disebabkan oleh bentuk silinder yang memungkinkan distribusi tegangan lebih merata dan efek pengekanan yang lebih seragam dibandingkan kubus. Dengan demikian, benda uji silinder lebih mencerminkan kondisi aktual kolom beton bertulang di lapangan, di mana deformasi dan kegagalan lebih terkendali.



Gambar 12 Benda Uji Silinder dengan Variasi Jarak Sengkang, $s = 5$ cm

Gambar 13 menunjukkan benda uji silinder dengan penambahan tulangan lentur dan jarak sengkang 5 cm setelah mengalami pengujian kuat tekan. Pola keruntuhan yang terlihat menunjukkan adanya retakan longitudinal yang mulai berkembang dari bagian atas hingga ke tengah, namun tetap dalam batas yang terkendali tanpa adanya pecahan besar pada permukaan beton.

Dibandingkan dengan benda uji kubus 20 cm × 20 cm × 20 cm, retakan pada benda uji silinder lebih sedikit, yang menunjukkan bahwa bentuk silinder dengan penambahan tulangan lentur memiliki kapasitas deformasi yang lebih baik. Penambahan tulangan lentur membantu meningkatkan ketahanan struktur terhadap beban tekan dengan memperlambat laju retak dan mengurangi kemungkinan pecah secara tiba-tiba. Hal ini mencerminkan kondisi sebenarnya pada elemen struktur seperti kolom beton bertulang di lapangan, yang memerlukan keseimbangan antara kekuatan dan daktilitas.



Gambar 13 Benda Uji Silinder dengan Penambahan Tulangan Lentur, $s = 5$ cm

Pembahasan

Pola keretakan dan kegagalan pada benda uji beton sangat dipengaruhi oleh variasi jarak sengkang serta penambahan tulangan lentur. Tabel 2–5 menunjukkan bahwa semakin kecil jarak sengkang, semakin tinggi kuat tekan beton, yang mengindikasikan bahwa pengekan lateral memainkan peran penting dalam meningkatkan kapasitas tekan. Hal ini sejalan dengan temuan Ridzeki (2020) yang menyatakan bahwa pengaturan tulangan transversal dan longitudinal dapat meningkatkan kekuatan serta daktilitas struktur beton bertulang.

Hasil dari Tabel 3 menunjukkan bahwa benda uji dengan tulangan sengkang berjarak 5 cm memiliki nilai kuat tekan lebih tinggi dibandingkan sengkang 10 cm (Tabel 4), baik untuk benda uji berbentuk kubus 15 cm × 15 cm × 15 cm, kubus 20 cm × 20 cm × 20 cm, maupun silinder 15 cm × 30 cm. Pengekan yang lebih rapat mengurangi ekspansi lateral beton saat menerima beban tekan, sehingga meningkatkan kekuatan keseluruhan. Hal ini juga didukung oleh penelitian Bošnjak et al. (2024) yang menekankan bahwa beton terkekang memiliki deformasi lebih terkontrol sebelum mengalami kegagalan.

Selain itu, Tabel 5 menunjukkan bahwa penambahan tulangan lentur pada jarak sengkang 5 cm menghasilkan peningkatan kuat tekan, meskipun tidak sebesar efek pengekan. Hal ini sejalan dengan penelitian Çankaya dan Al Saman (2024) yang menunjukkan bahwa serat baja dan tulangan lentur lebih berkontribusi dalam meningkatkan fleksibilitas beton dibandingkan kekuatan tekan secara langsung.

Dari Gambar 7, terlihat bahwa beton dengan tulangan sengkang 5 cm memiliki nilai kuat tekan tertinggi dibandingkan beton tanpa tulangan atau dengan sengkang lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa pengekan lateral dapat menekan ekspansi mikro-retak dalam beton sehingga memperlambat kegagalan. Gambar 8–13 menunjukkan pola keruntuhan yang bervariasi sesuai dengan bentuk benda uji dan jenis tulangan yang digunakan. Gambar 8 dan Gambar 9 memperlihatkan bahwa benda uji kubus 15 cm dengan tulangan sengkang dan tulangan lentur menunjukkan retakan yang lebih merata dan cenderung mengalami keruntuhan di sudut. Sementara itu, Gambar 10 dan Gambar 11 menunjukkan bahwa benda uji kubus 20 cm mengalami retakan yang lebih luas dan keruntuhan yang lebih signifikan, terutama dengan penambahan tulangan lentur. Hal ini menunjukkan bahwa luas penampang yang lebih besar berkontribusi terhadap distribusi beban yang berbeda, yang juga sejalan dengan penelitian Zhang et al. (2024) mengenai interaksi antara tulangan dan beton dalam kondisi tekan.

Untuk benda uji silinder pada Gambar 12 dan Gambar 13, pola retakan lebih terkendali dibandingkan kubus, yang menunjukkan bahwa bentuk silinder lebih representatif dalam simulasi kolom beton bertulang di lapangan. Studi oleh Xiamuxi et al. (2024) juga menunjukkan bahwa tulangan sengkang dan kombinasi material tambahan dapat memperlambat proses keruntuhan pada elemen struktur berbentuk silinder.

Secara keseluruhan, kombinasi antara penulangan lentur dan pengekan lateral menghasilkan peningkatan kekuatan yang signifikan, terutama pada benda uji silinder yang lebih merepresentasikan kolom beton bertulang di lapangan. Efek sinergis ini menjadi lebih dominan pada struktur yang mengalami kombinasi beban tekan dan tarik, seperti yang juga disampaikan dalam penelitian Takaloozadeh et al. (2024) mengenai rekayasa optimasi tulangan dalam elemen struktural beton.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan pada benda uji kubus dan silinder dengan variasi tulangan lentur dan sengkang dengan jarak sengkang 50 mm, 100 mm dan benda uji tanpa sengkang dapat disimpulkan bahwa:

1. Pengaruh pengekan terhadap benda uji kubus dan silinder dengan jarak sengkang 5 cm dan 10 cm yang mempengaruhi beban maksimum dan nilai kuat tekannya, semakin rapat jarak antar sengkang maka nilai beban maksimum semakin besar, kuat tekan maksimum juga semakin besar.

- Pengekangan juga meningkatkan kuat tekan beton dengan mencegah keretakan lateral dan memberikan dukungan ekstra pada beton yang mengalami beban tekan.
2. Pengaruh penulangan lentur terhadap benda uji kubus dan silinder dengan jarak sengkang 5 cm yang mempengaruhi kenaikan beban maksimum dan nilai kuat tekannya terhadap beton tanpa tulangan. Penulangan lentur membantu mendistribusikan tegangan dengan lebih baik tetapi pengaruhnya pada kuat tekan beton lebih kecil dibandingkan dengan efek pengekangan

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih kami berikan kepada instruktur, dan Kepala Laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Kalimantan MAB Banjarmasin yang telah banyak membantu terlaksananya penelitian ini.

Referensi

- Bošnjak, J., Das, A., & Sharma, A. (2024). Influence of concrete cover and transverse reinforcement on residual post-fire bond performance of reinforcement in concrete. *Engineering Structures*, *314*, 118191. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2024.118191>
- Çankaya, M. A., & Al Saman, M. (2024). The investigation and estimation of flexural strength in shear-critically designed RC beams considering the steel fiber content. *Structures*, *62*, 106259. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.106259>
- Lebang, N. L., & Lewaherlla, N. M. Y. (2021). Analisa stabilitas campuran aspal beton lapis aus (AC-WC) dan karet alam sebagai material perkerasan jalan. *Jurnal Manumata*, *7*(2), 140.
- Ridzeki, F. (2020, Oktober 24). Perbandingan kuat tekan beton yang terkekang pada benda uji kubus dan silinder. *Seminar Nasional Teknik*, Universitas Islam Kalimantan, Banjarmasin.
- Ridzeki, F. (2021). Pengaruh pengekangan terhadap beban maksimum pada benda uji kubus dan silinder menggunakan metode elemen hingga. *Jurnal Teknologi Berkelanjutan*, *10*(1), xx-xx.
- Suhardi, P., Pratomo, P., & Ali, H. (2016). Studi karakteristik Marshall pada campuran aspal dengan penambahan limbah botol plastik. *Jurnal Riset dan Studi di Bidang Teknik Sipil (JRSDD)*, *4*(2), 284-293.
- Takaloozadeh, M., Gilbert, M., Allen, D., & Torelli, G. (2024). Experimental and numerical assessment of the bond behaviour of laser-cut reinforcement. *Construction and Building Materials*, *449*, 137719. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.137719>
- Tjitradi, D. (2016). Kajian keruntuhan bangunan beton bertulang. *Seminar Nasional Jurusan Teknik Sipil*, Politeknik Negeri Jakarta.
- Wang, S., Xie, G., You, Y., Xia, H., & Li, S. (2024). Effect of confinement system and recycled aggregates on axial compressive behaviors of CFST columns. *Structures*, *70*, 107833. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.107833>
- Xiamuxi, A., Chen, H., & Liu, C. (2024). Flexural behavior of reinforced and recycled aggregate concrete-filled square steel tubes. *Journal of Constructional Steel Research*, *221*, 108891. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2024.108891>
- Zhang, J., Zhong, B., Zhao, D., & Dong, H. (2024). Bond-slip behavior between confined brick-concrete recycled aggregate concrete and reinforcement bars. *Construction and Building Materials*, *436*, 136919. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136919>