

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton bertulang (*Reinforced Concrete*) merupakan beton struktural yang ditulangi dengan tidak kurang dari jumlah baja prategang atau tulangan non-prategang *minimum* yang ditetapkan (Badan Standarisasi Nasional Indonesia., 2019a). Beton bertulang merupakan pilihan bahan konstruksi yang paling umum digunakan dibandingkan bahan konstruksi lainnya seperti baja, kayu, dll. Banyak fasilitas umum maupun bangunan pribadi yang menggunakan beton bertulang seperti sekolah, bandara, mall, bahkan bangunan rumah sederhana. Hal ini didorong oleh material pembentuk beton bertulang yang mudah diperoleh di banyak daerah di Indonesia baik bahan pengisi beton (agregat kasar & halus), maupun semen sebagai bahan pengikat beton, bahkan tulangan baja yang semakin mudah didistribusikan, serta keuntungan beton bertulang lainnya (Kumaseh dkk., 2015).

Pada struktur bangunan penggunaan beton bertulang sangat luas, seperti pada perkerasan jalan, jembatan, stadion, bendungan, dinding penahan tanah, terowongan, gedung dan sebagainya. Pada bangunan gedung beton bertulang biasa digunakan untuk elemen-elemen struktur seperti pondasi, kolom, pelat maupun balok (Zulkifri dkk., 2023).

Balok merupakan salah satu elemen struktur beton bertulang yang membutuhkan perencanaan yang tepat terkait tulangan tarik, tekan, dan Sengkang. Kegagalan pada struktur balok sebagian besar disebabkan oleh gaya geser, kegagalan geser pada balok beton bertulang juga bersumber dari kurangnya pemahaman tentang fungsi atau manfaat sengkang yang dipasang pada balok beton bertulang pada struktur balok (Tampubolon & Antonius., 2024).

Dalam menganalisis pengaruh gaya geser terhadap balok, perlu diketahui perilaku geser akibat adanya gaya geser. Munandar dan Zaki (2022) melakukan penelitian mengenai perilaku geser balok beton bertulang. Perilaku geser pada balok beton bertulang merupakan aspek penting dalam perencanaan dan analisis struktur

karena kegagalan geser bersifat getas dan terjadi tiba-tiba tanpa peringatan. Terdapat beberapa hal dalam analisis perilaku geser, diantaranya kapasitas geser, beban-lendutan, kekakuan, daktilitas dan pola keretakan balok.

Balok dengan bentang pendek adalah balok dengan rasio bentang geser-tinggi efektif $1 < \text{menggunakan Metode} < 2,5$ (Buarlele dkk., 2020). Balok pendek memiliki kekuatan geser yang melebihi kekuatan retak miring. Setelah retak lentur geser terjadi, retak merambat lebih jauh ke dalam daerah tekan dengan naiknya beban. Retak ini juga merambat sebagai suatu retak sekunder menuju tulangan tarik dan kemudian menerus secara horizontal sepanjang penulangan tersebut (David & Sabariman., 2020). Keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan angker pada tulangan tarik, yang disebut keruntuhan geser tarik (*shear tension failure*) dan keruntuhan akibat hancurnya beton di sekitar daerah tekan yang disebut keruntuhan geser tekan (*shear compression failure*) (Layang., 2015).

Kerapuhan balok tanpa tulangan geser juga bergantung pada bentang geser (a) terhadap kedalaman efektif (d) dan rasio (a/d) dari elemen. Balok bentang pendek dengan $1 < a/d \leq 2.5$ berperilaku sangat berbeda dengan balok ramping, dan balok dalam, di bawah konfigurasi pembebanan geser (Soltanzadeh dkk., 2016).

Kegagalan geser pada balok beton bertulang (RC) bersifat getas, dan kerapuhan meningkat secara signifikan seiring dengan peningkatan kekuatan beton. Perilaku getas ini sering kali memperparah kegagalan bagian-bagian penting dari komponen struktur jika dibebankan terus menerus (Zhang dkk., 2022).

Menurut Awad dan Rasheed (2024), kegagalan geser pada balok beton bertulang terjadi secara tiba-tiba, menyebabkan kerusakan yang signifikan tanpa adanya peringatan. Oleh karena itu, harus diperhatikan kegagalan geser karena bisa sangat berbahaya. Sangatlah penting untuk mendesain struktur dengan cara yang meminimalkan risiko kegagalan geser yang tiba-tiba. Desain dengan mengoptimalkan tata letak tulangan akan meningkatkan kapasitas geser dan pengendalian retak.

Kegagalan pada struktur beton harus dikontrol untuk mencegah kegagalan geser dan perilaku getas yang diperlukan untuk mempertahankan kondisi daktil

(Maulana dkk., 2023). Oleh karena itu, balok harus diberi penulangan yang berupa penulangan lentur dan penulangan geser (sengkang). Ada beberapa macam tulangan geser pada balok, yaitu tulangan sengkang vertikal, sengkang spiral, sengkang miring. Ketiga macam tulangan ini sudah sangat lazim diterapkan dan sudah sangat dikenal dalam dunia konstruksi, sehingga dapat dikenal sebagai tulangan sengkang konvensional (Iqbal dkk., 2013).

Penulangan geser balok adalah usaha menyediakan sejumlah tulangan baja untuk menahan gaya tarik arah tegak lurus terhadap retak tarik diagonal pada balok sedemikian rupa sehingga mampu mencegah bukaan retak lebih lanjut. Dalam SNI 03-2847-2002, jenis tulangan geser terdiri dari: Sengkang yang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur, Sengkang yang membuat sudut 45o atau lebih terhadap tulangan tarik longitudinal, Jaring kawat baja las dengan kawat-kawat yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur, tulangan longitudinal dengan bagian yang ditekuk untuk mendapatkan sudut sebesar 30o atau lebih terhadap tulangan tarik longitudinal, kombinasi dari sengkang dan tulangan longitudinal yang ditekuk, spiral, sengkang ikat bundar atau persegi (Krisnamurti., 2009).

Kapasitas geser untuk balok dengan rasio tulangan geser yang sama meningkat secara signifikan ketika jarak dan diameter sengkang dikurangi. Selain itu, estimasi gaya geser yang ditransfer oleh tulangan geser menunjukkan bahwa sengkang yang berjarak lebih rapat dan lebih kecil menghasilkan penggunaan tulangan geser yang lebih besar, meskipun retak geser yang sama terjadi pada balok-balok yang dibandingkan (Autrup dkk., 2022).

Saifullah dkk. (2020), melakukan penelitian pada benda uji dengan dimensi penampang 320x200mm, panjang bentang 2300mm dengan nilai $a/d=3$, didapatkan hasil bahwa tulangan longitudinal memiliki peran yang sangat penting dalam mencegah kegagalan geser terutama pada balok tanpa sengkang. Balok dengan rasio tulangan lentur yang lebih rendah cenderung memiliki kapasitas geser untuk retak diagonal yang lebih rendah. Sehingga penting untuk memperhitungkan kontribusi tulangan longitudinal.

Marzec dan Techman (2022), kekuatan dan kekakuan balok dengan bentang geser pendek yang diberi penambahan rasio tulangan longitudinal meningkat secara signifikan seiring dengan peningkatan rasio tulangan longitudinal, terutama pada parameter bentang geser yang lebih rendah. Selain itu, tipe kegagalan beralih dari kegagalan geser menjadi lentur ketika (a/d) mencapai 1.5.

Balok dengan bentang pendek memiliki tegangan geser maksimum yang meningkat secara signifikan. Kondisi ini menuntut pendekatan analisis yang mampu menggambarkan perilaku nonlinier material secara akurat. Dalam hal ini, dapat menggunakan *Strut and Tie Model (STM)* yaitu dengan membagi struktur dalam dua daerah yakni daerah D (*Distributed atau Discontinuity*) dan daerah B (*Bending atau Bernoulli*). Kedua daerah tersebut menggambarkan aliran gaya (*Load Path*) sebagai transfer gaya yang terjadi pada struktur beton bertulang pada kondisi retak dari sumber pembebanannya sampai tumpuan (Hardjasaputra dan Tumilar., 2002). Analisis dapat dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu optimasi topologi (BESO2D) untuk mendapatkan bentuk rangka batang atau aliran gaya, serta analisis nonlinier (ATENA) untuk menggambarkan perilaku aktual material terhadap gaya geser.

Ilmu rekayasa dibidang teknik sipil mengalami perkembangan yang signifikan, banyak perencanaan yang menggunakan *software* komputer untuk mempercepat proses analisis dan pemodelan struktur. Salah satu bagian struktur beton utama yang termasuk dalam analisis tersebut yaitu balok beton bertulang. Sehingga diperlukan *software* yang mampu melakukan analisis menggunakan metode elemen hingga non linier, salah satunya *software* ATENA yang dapat mensimulasikan sifat struktur dari beton ataupun beton bertulang termasuk retak beton, kehancuran dan kelelahan dari tulangan (Arif & Zaki., 2022).

Analisis perilaku struktur menggunakan *software* lebih menghemat waktu, tenaga dan biaya. Hal ini karena pengujian menggunakan *software* tidak perlu membuat benda uji dalam bentuk fisik, menunggu umur beton siap uji dan tidak perlu memasang *strain gauge* dan melakukan instalasi mesin uji (Munandar & Zaki., 2022).

Untuk menganalisis distribusi tegangan pada balok bentang pendek, penelitian ini dilakukan dengan variasi jarak sengkang dan jumlah tulangan tarik. Variasi tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap distribusi tegangan yang terjadi pada balok bentang pendek. Analisis dilakukan menggunakan metode elemen hingga nonlinier dengan bantuan *software* ATENA 2D V5. Hasil distribusi tegangan dari *software* ATENA 2D digunakan untuk mengonfirmasi kesesuaian distribusi tegangan dalam bentuk pola *strut and tie* yang dianalisis menggunakan *software* BESO 2D, sehingga diperoleh pola *strut and tie* yang dapat digunakan untuk perencanaan desain.

Penelitian sebelumnya telah banyak membahas distribusi tegangan pada balok dengan bentang sedang hingga panjang. Namun, kajian yang secara khusus membahas distribusi tegangan pada balok bentang pendek serta menganalisisnya menggunakan metode elemen hingga nonlinier (ATENA 2D) dan metode *strut and tie* dengan bantuan *software* BESO 2D masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada analisis distribusi tegangan pada balok bentang pendek menggunakan metode elemen hingga nonlinier dan metode *strut and tie*.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- Menganalisis pengaruh jumlah tulangan tarik dan jarak sengkang terhadap distribusi tegangan pada balok bentang pendek dengan menggunakan hasil analisis metode elemen hingga nonlinier melalui *software* ATENA 2D.
- Memperoleh rekomendasi pola *strut and tie* pada balok bentang pendek yang dianalisis melalui *software* BESO 2D.

1.3 Manfaat Penelitian

- Memberikan informasi yang lebih mendalam mengenai pengaruh jumlah tulangan tarik dan jarak sengkang terhadap distribusi tegangan pada balok bentang pendek.
- Menambah pengetahuan mengenai rekomendasi pola *strut and tie* pada balok bentang pendek.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan masalah memberikan fokus yang jelas pada studi numerik distribusi tegangan pada balok bentang pendek menggunakan metode elemen hingga non linier dan metode *strut and tie*. Agar dapat diperoleh tinjauan yang terfokus dan tidak terjadi perluasan masalah dalam penelitian ini, maka perlu adanya batasan masalah sebagai berikut :

1. Struktur bangunan yang digunakan adalah struktur beton bertulang
2. Elemen struktur yang akan dibahas adalah elemen struktur balok dengan bentang pendek
3. Jumlah benda uji yang digunakan adalah 9 buah
4. Dimensi balok yang digunakan
Tinggi penampang : 300 mm
Lebar penampang : 125 mm
Panjang bentang : 1800 mm
5. Variabel pertama dalam penelitian ini adalah variasi jumlah tulangan tarik dan jarak antar sengkang
6. Penulangan balok yang digunakan
Tulangan tekan : 2D10
Tulangan tarik : 2D10, 3D10, 5D10
Tulangan Sengkang : D10-150, D10-100
7. Mutu beton yang digunakan adalah $f_c' = 32$ MPa
8. Mutu baja yang digunakan adalah $f_y = 450$ MPa, $f_u = 580$ MPa
9. Jenis pembebanan yang diaplikasikan yaitu pembebanan statis bertahap dengan dua titik (*two point loads*) pembebanan
10. Perletakan yang digunakan adalah sendi-rol
11. Pada Tesis ini dilakukan analisis distribusi tegangan pada balok bentang pendek menggunakan *software* ATENA 2D V5 dan BESO 2D