

# BAB 1. PENDAHULUAN

## 1.1. LATAR BELAKANG

Beton bertulang merupakan material konstruksi yang paling umum dan vital digunakan di seluruh dunia karena kemampuannya dalam menggabungkan kekuatan tekan beton yang tinggi dengan kekuatan tarik tulangan baja. Kombinasi beton dan tulangan baja kemudian menghasilkan elemen struktural yang kuat dan daktail. Elemen struktur beton bertulang, seperti balok dan kolom, didesain untuk menahan berbagai jenis gaya. Perilaku beton bertulang saat menerima beban terdistribusi ke dalam dua kondisi utama, yaitu mengalami kondisi tekan dan tarik (Aryanti, 2024).

Analisis elemen struktur sangat bergantung pada pemahaman mengenai kapasitas lentur dan geser beton bertulang. Untuk elemen struktur yang memenuhi asumsi distribusi regangan linear (disebut juga *B-region*), seperti pada balok biasa, kapasitas lentur dan geser dapat dihitung menggunakan pendekatan irisan penampang konvensional. Namun, pada elemen struktur di daerah diskontinu (*D-region*), seperti pada balok tinggi, *corbel* (konsol pendek), atau *pile cap*, distribusi regangan tidak lagi linear, dan tegangan geser menjadi sangat dominan (SNI 2847, 2013). Pada kasus balok T tanpa sengkang, analisis eksperimental diperlukan untuk menguji kekuatan geser karena hasilnya menunjukkan bahwa tipe penampang balok menjadi variabel penting dalam kekuatan geser (Thamrin et al., 2016).

Untuk mengamati dan menganalisis secara akurat persebaran gaya dalam beton bertulang pada *D-region*, diperlukan metode yang berbeda dari pendekatan irisan penampang standar. Salah satu metode yang diakui dan diatur dalam standar struktural adalah *Strut and Tie Model* (STM) (ACI 318-19, 2019). Metode STM adalah idealisasi dari aliran gaya-gaya dalam pada daerah diskontinu menjadi model rangka batang yang terdiri dari batang tekan (*strut*) yang direpresentasikan oleh kuat tekan efektif beton, dan batang tarik (*tie*) yang direpresentasikan oleh tulangan baja (Schlaich et al., 1987).

Model rangka batang ini memungkinkan perancangan tulangan pada *D-region* menjadi lebih rasional dan mewakili mekanisme transfer beban aktual secara diagonal langsung ke tumpuan. Metode ini merupakan pengembangan dari analogi rangka batang (*Truss Analogy*) yang ditemukan oleh Ritter dan Morsch pada tahun 1920. Meskipun penentuan model rangka

batang pada STM seringkali bersifat iteratif dan membutuhkan pengalaman, studi menunjukkan bahwa STM merupakan metode yang akurat untuk desain penulangan pada balok tinggi (Adi Putra & Arni Priastiwi, 2021). Perilaku geser dan mekanisme keruntuhan pada elemen struktur sangat dipengaruhi oleh rasio  $a/d$  (perbandingan bentang geser terhadap tinggi efektif balok). Balok tinggi didefinisikan sebagai elemen dengan rasio bentang bersih ( $l_n$ ) tidak melebihi 4 kali tinggi total ( $h$ ), atau bentang geser ( $a$ ) tidak melebihi 2 kali tinggi total ( $h$ ). Pada rasio ini, kekuatan geser dapat mencapai dua hingga tiga kali balok konvensional karena mekanisme gaya lengkung atau *arch action* (SNI 2847, 2013). Variasi rasio sangat berpengaruh dalam menentukan STM yang paling efisien, seperti yang telah diteliti dalam berbagai studi eksperimental sebelumnya.

Dalam perkembangan teknologi, penentuan STM yang optimal dapat dibantu dengan perangkat lunak optimasi. Salah satu perangkat yang digunakan secara luas dalam penelitian adalah *Software BESO2D (Bi-Directional Evolutionary Structural Optimization)*. BESO2D adalah program mandiri dalam optimasi topologi struktural 2D yang didasarkan pada algoritma evolusioner (*Evolutionary Structural Optimization*), yang bertujuan untuk memaksimalkan kekakuan struktur dengan menghilangkan material yang tidak efisien (Huang & Xie, 2010). Model topologi optimal yang dihasilkan oleh BESO2D memiliki pola yang menyerupai struktur rangka batang. Pola tersebut kemudian diinterpretasikan secara langsung sebagai STM yang tepat untuk struktur beton (Hardjasaputra, 2015). Penggunaan BESO2D telah terbukti membantu dalam mempelajari alur gaya dan menentukan rangka batang STM, misalnya pada studi kasus *pierhead* jembatan kantilever ganda dengan variasi rasio (Riswanto & Sukamdo, 2023). Dengan menggunakan alat bantu seperti BESO2D, proses perancangan tulangan struktur pada *D-region* dapat menjadi lebih efisien dan berbasis pada analisis aliran gaya yang lebih tepat.

Dalam upaya perancangan yang lebih modern dan terverifikasi, metode *Strut and Tie* (STM) tidak hanya dioptimalkan melalui perangkat lunak topologi seperti BESO2D, tetapi juga divalidasi menggunakan program analisis elemen hingga komersial, seperti SAP2000. Program ini memungkinkan penentuan distribusi tegangan dan aliran gaya internal pada *D-region* secara kuantitatif. Hasil analisis SAP2000 memberikan data yang kuat untuk memverifikasi model STM yang telah diidealisasi, khususnya dalam menentukan lokasi dan gaya pada elemen *strut* dan *tie* (Doris et al., 2023; Hardjasaputra, 2015). Proses integrasi dari optimasi BESO2D dan analisis detail pada SAP2000 menghasilkan model desain tulangan yang sangat akurat.

Selanjutnya, hasil perancangan berbasis model STM dapat dievaluasi dengan metode analisis penampang konvensional. Kapasitas lentur penampang yang diperoleh dari STM akan dibandingkan dengan hasil analisis dari program khusus penampang beton bertulang, yaitu RCCSA (*Reinforced Concrete Cross Section Analysis*). Perbandingan antara kekuatan lentur yang dihasilkan oleh RCCSA (Thamrin, 2015) dengan kekuatan lentur yang diperoleh dari SAP2000 melalui desain berbasis aliran gaya dari model *Strut and Tie*, merupakan langkah krusial dalam menganalisis keandalan metode perancangan pada daerah diskontinu (*D-region*).

Berdasarkan uraian tersebut, tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk menganalisis sebaran *strut and tie* pada balok dengan rasio  $a/d = 2,96$  menggunakan *software* BESO2D, guna memperoleh gambaran mengenai pola gaya internal yang terjadi pada struktur beton bertulang. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui bagaimana perubahan parameter pada balok dapat mempengaruhi pola penyaluran gaya (*strut and tie*) yang terjadi. Untuk memvalidasi hasil model yang dihasilkan oleh BESO2D, dilakukan perbandingan antara besar gaya batang tarik horizontal hasil analisis *strut and tie* dengan hasil perhitungan analitik. Hasil perbandingan analisis antara model numerik menggunakan *software* (BESO2D dan SAP2000) dengan analisis penampang menggunakan *software* RCCSA digunakan untuk menilai sejauh mana kesesuaian antara STM dan perilaku aktual penampang beton bertulang dalam merepresentasikan mekanisme kerja gaya di dalam struktur.

## 1.2. TUJUAN DAN MANFAAT

### 1.2.1. Tujuan

Tujuan dari penelitian eksperimental ini adalah sebagai berikut:

- Menentukan model topologi *strut and tie* pada balok beton bertulang dengan rasio  $a/d = 2,96$  menggunakan *Software* BESO2D
- Menghitung gaya batang tarik horizontal STM pada balok beton bertulang dengan rasio  $a/d = 2,96$  menggunakan *Software* SAP2000.
- Menghitung gaya batang tarik tulangan pada balok beton bertulang dengan rasio  $a/d = 2,96$  dengan Program RCCSA.
- Membandingkan gaya batang tarik horizontal STM dengan gaya batang tarik tulangan RCSSA

### 1.2.2. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penulisan tugas akhir ini adalah memberikan pengetahuan mengenai penggunaan *software* BESO2D untuk memodelkan *strut and tie*.

### 1.3. BATASAN MASALAH

Untuk menjaga penelitian tetap terarah dan terfokus, maka ditetapkan ruang lingkup sebagai berikut:

- a. Elemen struktur yang ditinjau adalah balok beton bertulang
- b. Mutu beton ( $f'_c$ ) yang digunakan 32 MPa
- c. Mutu baja tulangan ( $f_y$ ) yang digunakan adalah 450 MPa
- d. Pembebanan yang digunakan adalah pembebanan anti simetrik dengan posisi dua titik di atas balok serta menggunakan tumpuan sendi dan rol.
- e. Benda uji yang dianalisis berjumlah 12 buah balok bertulang dengan dimensi 300 mm x 125 mm dan panjang 1900 mm. Seluruh balok memiliki perbandingan  $a/d=2,96$  dengan variasi jumlah dan jarak tulangan sebagai berikut:
  - 4 Balok dengan tulangan lentur 2D10, dengan variasi sengkang pada tengah bentang diantaranya: tanpa sengkang (B1F2S0), sengkang jarak 300 mm (B1F2S3), sengkang jarak 200 mm (B1F2S2), dan sengkang jarak 100 mm (B1F2S1).
  - 4 Balok dengan tulangan lentur 3D10, dengan variasi sengkang pada tengah bentang diantaranya: tanpa sengkang (B1F3S0), sengkang jarak 300 mm (B1F3S3), sengkang jarak 200 mm (B1F3S2), dan sengkang jarak 100 mm (B1F3S1).
  - 4 Balok dengan tulangan lentur 5D10, dengan variasi sengkang pada tengah bentang diantaranya: tanpa sengkang (B1F5S0), sengkang jarak 300 mm (B1F5S3), sengkang jarak 200 mm (B1F5S2), dan sengkang jarak 100 mm (B1F5S1).
- f. Analisis hasil penelitian berupa distribusi *strut and tie* dengan *software* BESO2D, SAP2000, dan RCCSA.

#### 1.4. SISTEMATIKA PENULISAN

Alur sistematika penulisan tugas akhir ini secara umum dibagi menjadi lima bab, yaitu:

##### **BAB I Pendahuluan**

Bab ini memuat penjelasan umum mengenai penelitian yang akan dilakukan, mencakup latar belakang, tujuan dan manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika dalam penulisan laporan.

##### **BAB II Tinjauan Pustaka**

Bab ini membahas uraian mengenai teori-teori dasar yang telah dipelajari atau dikaji sebelumnya yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian ini.

##### **BAB III Metodologi Penelitian**

Bab ini memuat penjelasan mengenai metodologi penelitian yang mencakup langkah-langkah serta prosedur kerja yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan.

##### **BAB IV Hasil dan Pembahasan**

Bab ini membahas analisis hasil pengujian serta pembahasan dari data yang diperoleh, yang kemudian dilakukan perbandingan dengan dasar teori.

##### **BAB V Kesimpulan**

Bab ini memuat rangkuman dari hasil penelitian dan saran-saran yang diperoleh berdasarkan temuan selama proses penelitian.

