

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi bahan konstruksi saat ini cenderung menggunakan material yang efisien sesuai dengan kebutuhan. Salah satunya penggunaan baja sebagai bahan struktural telah meningkat pesat karena kekuatan dan keuletannya yang tinggi (Upadhyay et al., 2021). Hal ini membuat baja sangat diminati karena kemudahan dan kesederhanaannya selama konstruksi. Sifat kekuatan yang tinggi dari struktur baja tidak dapat terus digunakan untuk keuntungan yang besar. Akibatnya, banyak teknik yang dilakukan untuk meningkatkan kekakuan elemen baja tanpa meningkatkan berat baja. Oleh karena itu, balok baja seperti balok kastela banyak digunakan secara luas (Morkhade & Gupta, 2019). Perkembangan balok baja terjadi pada tahun 1930-an. Awalnya disebut sebagai “Boyd Beam” yang ditemukan oleh seorang insinyur bernama Geoffrey Murray Boyd saat bekerja di Perusahaan Struktur Baja Argentina, yang sekarang dikenal sebagai “Balok Kastela” (Patent Specification, 1939). Balok kastela pertama kali digunakan dalam struktur selama Perang Dunia II (Morkhade & Gupta, 2019).

Balok kastela menjadi semakin populer karena kesederhanaan dalam fabrikasi (Nair & Pillai, 2018), mempunyai nilai estetika di dunia arsitektur, rasio kekuatan terhadap berat yang lebih tinggi (Nair & Pillai, 2018), memfasilitasi jalur layanan utilitas seperti pipa, saluran AC, kabel listrik (Frans et al., 2017), membuat komponen lebih ringan yang cocok untuk bentang panjang (Federal Emergency Management, 2000), dan mengurangi jumlah balok dan kolom dengan menurunkan berat struktur (Chung, 2012) (Akrami & Erfani, 2016) (Huo & D’mello, 2017). Sejak itu, banyak penelitian yang telah dilakukan untuk memajukan ekonomi terutama pada struktur baja (Morkhade & Gupta, 2019). Penelitian yang dilakukan meliputi simulasi dan eksperimen (Akrami & Erfani, 2016).

Dalam beberapa tahun terakhir, bahaya ledakan dari ancaman teroris juga menjadi perhatian untuk bangunan, terutama struktur baja. Untuk menghindari keruntuhan pada struktur, balok kastela diterapkan karena kemampuan material menyerap energi yang lebih tinggi dan dapat merespon tegangan dengan baik. Hal ini dibuktikan dengan penggunaan pengaku vertikal dan sambungan pelat yang dibaut, balok kastela memperoleh deformasi yang lebih besar dalam menahan beban ledakan terhadap tegangan dan gaya geser yang tinggi(Nawar et al., 2021).

Desain struktur sambungan balok dan kolom yang dilas penuh telah dirancang untuk menahan beban gempa secara optimal. Namun, gempa bumi di Northridge pada tahun 1994 dan Kobe pada tahun 1995(Bi et al., 2021) mengungkapkan bahwa sebagian besar sambungan balok dan kolom yang dilas mengalami zona plastis(R.M.Lawson et al., 2006)(Lawson et al., 2018). Oleh karena itu, penggunaan balok kastela diterapkan untuk mencapai “*Strong Column Weak Beam*” dengan memperkuat sambungan dan profil badan penuh dikurangi(Sarvestani, 2017). Penggunaan balok kastela tidak hanya dapat meningkatkan perilaku seismik struktur baja, tetapi juga meningkatkan distribusi tegangan pada sambungan balok dan kolom secara efektif(Erfani et al., 2012)(Erfani & Akrami, 2016)(Tsavdaridi et al., 2014).

Balok kastela diproduksi dengan memotong bagian badan balok baja standar (bentuk H, I atau U) di sepanjang garis tengahnya, sehingga menghasilkan dua bagian profil baja yang kemudian digabungkan menjadi satu-kesatuan dengan dilas. Hal ini membuat balok bertambah tinggi dari 50-80% dan meningkatkan kekuatan lentur secara signifikan(Indexed et al., 2018)(Hosseinpour et al., 2020)(Frans et al., 2017).

Dengan memvariasikan pola pemotongan profil asli, akan menghasilkan berbagai variasi bentuk balok kastela(El-Tobgy et al., 2021). Bentuk bukaan yang umum pada balok kastela adalah lingkaran, persegi, persegi panjang dan heksagonal(Nair & Pillai, 2018). Namun, balok kastela sangat rentan terhadap mode kegagalan karena geometri balok, ukuran bukaan pada profil, kualitas pengelasan dan kondisi tumpuan.

Mode kegagalan terjadi karena profil baja yang ramping sehingga mengakibatkan terjadinya tekuk dan menyebabkan keruntuhan pada struktur baja(Hosseinpour et al., 2020)(Ellobody, 2011). (Deng et al., 2015)melakukan simulasi numerik untuk menentukan kapasitas tekuk lokal pada balok kastela. Penelitian ini mempertimbangkan rasio tinggi, banyak bukaan, dengan dan tanpa pengaku. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa pengaku dapat meningkatkan kekakuan anti tekuk secara efektif dari 10-40%(Patil & Kumbhar, 2015).

(Tudjono et al., 2017)melakukan analisis ukuran bukaan dan konfigurasi optimal bentuk balok kastela. Kesimpulan dari analisis yang dilakukan adalah balok kastela dengan bukaan berbentuk oval horizontal dan vertikal dapat digunakan. Tetapi, hasil kurva beban-perpindahan dan mode kegagalan elemen yang terjadi, bentuk bukaan berbentuk oval horizontal lebih baik menerima beban daripada bukaan berbentuk oval vertikal. (Shaikh & Autade, 2016)mempelajari pengaruh geser pada badan balok kastela akibat tekuk. Mereka menemukan bahwa kedalaman bukaan pada balok kastela sangat berpengaruh signifikan terhadap deformasi geser yang terjadi.

(Wang P et al., 2016)menggunakan metode elemen hingga untuk mengamati perilaku tekuk pada balok kastela ketika terjadi geser vertikal. Mereka menyimpulkan bahwa ketebalan dan kemiringan sudut mempengaruhi faktor tekuk akibat geser vertikal. (Nini Hasriyani Aswad et al., 2020)melakukan penelitian tentang kekuatan geser penampang balok tereduksi pada balok dengan pembebanan siklik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat geser terjadi setelah balok mengalami tekuk(Nini H. Aswad et al., 2017).

(Sandy et al., 2014)melakukan percobaan dengan menggunakan pembebanan statis sebesar 150 ton pada balok profil asli dan balok kastela dengan variasi sudut (50° , 60° , 70°), tinggi bukaan pada balok kastela (60 mm, 90 mm, 120 mm) dan menggunakan jarak tetap antar bukaan. Hasil pengujian didapatkan bahwa dimensi optimal balok kastela yang dapat

memenuhi persyaratan teknis seperti kuat lentur, lendutan, dan kapasitas yang dapat dipikul adalah balok kastela dengan sudut 60° dan $e = 90 \text{ mm}$.

Kapasitas momen dan gaya geser yang terjadi pada balok kastela dapat diatasi dengan memperhatikan kedalaman bukaan yang mengatur mekanisme kinerja momen dan gaya geser pada bagian sayap atas dan badan bagian bawah bukaan (Bedi & Pachpor, 2011). Balok kastela adalah pilihan ideal untuk berbagai situasi seperti struktur balok bentang panjang karena dapat menahan momen lebih baik daripada profil balok IWF. Namun bukan solusi terbaik dalam setiap kasus. Sebagai contoh, penggunaan balok kastela pada bentang pendek menjadi kurang efektif karena gaya geser lebih dominan. Pada kasus bentang yang terlalu pendek dan ketinggian yang terbatas, penggunaan balok kastela agar biaya lebih ekonomis tidaklah efisien. Karena sebagian besar bentang menerima beban yang berbeda, sehingga penggunaan balok kastela harus dipertimbangkan (Boyer, 1964) (P.R. Knowles, MA, MPhil, MICE, 1991).

Sejumlah besar penelitian telah menyelidiki perilaku balok kastela. Namun penelitian ini dibatasi dengan tekuk pada balok kastela, jenis bukaan pada balok kastela, defleksi pada balok kastela, dan penerapan balok kastela dengan tumpuan sederhana sudah sangat umum digunakan oleh masyarakat sebagai salah satu elemen struktur pada bangunan. Sebaliknya balok kastela ini jarang digunakan sebagai balok kantilever. Umumnya balok kantilever digunakan di daerah luar bangunan yang menjorok keluar dan ditopang oleh salah satu kolom (Jagad et al., 2017). Oleh karena itu, dilakukan penelitian studi numerik yang memprioritaskan bagaimana perilaku balok kastela terhadap tinggi bukaan, jarak antar bukaan, dan sudut bukaan sebagai balok kantilever. Penelitian ini menyajikan rasio grafik beban-perpindahan, daktilitas, dan deformasi yang terjadi pada balok kastela. Penelitian ini terdiri dari dua tahap yaitu; tahap pertama adalah mendesain model menggunakan software MSC Nastran Patran Versi Students dan tahap kedua menganalisis hasil program dari software MSC Nastran Patran Versi Students.

1.2 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meninjau kinerja struktur balok kastela yang diberikan pembebanan statik monotonik terhadap variasi tinggi bukaan, jarak antar bukaan dan sudut bukaan sebagai balok kantilever. Manfaat dari penelitian ini adalah untuk alternatif variasi pemotongan dalam mendesain balok kastela dan sebagai referensi untuk pihak-pihak terkait.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan terfokus, maka diperlukan batasan masalah dalam penelitian. Adapun batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Model balok kastela adalah balok kantilver dengan panjang 2 m yang menggunakan profil awal IWF 200X100X5.5.8 mm.
2. Model balok kastela divariasikan tinggi bukaan (160 mm dan 240 mm), jarak antar bukaan (120 mm, 140 mm, 160 mm) dan sudut bukaan (40°, 45°, 50°, 55°, 60°, 65°).
3. Jarak bukaan pertama dengan tumpuan ditetapkan dengan panjang 120 mm.
4. Pembebanan yang dibebani pada model balok kastela adalah pembebanan statik monotonik yang diberikan pada ujung balok kantilever.
5. Material properties yang digunakan antara lain modulus elastisitas (E) 200.000 MPa; poisson ratio (ν) 0.3; tegangan leleh (f_y) 240 MPa dan tegangan putus (f_u) 370 Mpa.
6. Seluruh benda uji balok kastela dianggap *perfectly bonded* sehingga efek pengelasan tidak ditinjau.
7. Peraturan yang digunakan dalam mendesain balok kastela adalah peraturan AISC Design Guide 31-Castellated and Cellular Beam Design.
8. Pemodelan balok kastela menggunakan software MSC PASTRAN Versi Students.

9. Running pemodelan balok kastela menggunakan software MSC NASTRAN Versi Students.

1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan perihal yang melatar belakangi penelitian yang akan dilakukan beserta batasan-batasannya agar tidak terlalu melebar sehingga penelitian yang dilakukan lebih terfokus dan menjelaskan mengenai tujuan yang hendak dicapai hingga manfaat dari penelitian ini.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini merupakan acuan dasar dan teori-teori yang berhubungan dengan penelitian ini.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan cara-cara untuk mencapai tujuan penelitian yang mengacu pada literatur atau penelitian sebelumnya.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan hasil dari setiap tahapan penelitian yang telah dilaksanakan disajikan dalam bentuk tabel, gambar, dan grafik. Pada bab ini juga berisikan penjelasan dan pembahasan dari hasil yang telah didapat.

BAB 5. KESIMPULAN

Bab ini berisikan kesimpulan yang telah didapatkan dari proses penelitian sesuai dengan tujuan yang telah ditentukan oleh penulis.