

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Perbandingan Kekuatan Balok Kastela Dengan Bukaannya Dan Tanpa Bukaannya

Resmi Mohan dan Preeta Prabhakaran melakukan penelitian mengenai analisis eksperimen untuk membandingkan lendutan (defleksi) pada balok baja dengan bukaannya (balok kastela) dan balok tanpa bukaannya dengan latar belakang elemen struktur banyak yang digantikan oleh baja karena mengurangi biaya dan dapat meningkatkan kekakuan pada baja itu sendiri, maka dari itu dikembangkanlah balok kastela. Balok kastela merupakan balok dengan lubang di sebagian permukaannya. Pabrikasi balok kastela ada yang membuat dengan memotong zig-zag kemudian membaik dan menyatukannya dengan cara dilas sehingga membentuk permukaan yang berlubang pada bagian tengah area balok.

Adanya bukaannya tersebut mengakibatkan beberapa kegagalan yang tidak dialami oleh balok yang utuh tanpa bukaannya. Pada penelitian tersebut, dikatakan bahwa balok kastela memiliki beberapa kelebihan yaitu kuat, murah, dan mudah dalam pengerjaan. Balok yang diteliti dalam penelitian ini adalah balok tanpa bukaannya, balok kastela dengan bukaannya heksagonal, dan balok kastela dengan bukaannya *circular*. Fungsi utama balok kastela adalah dapat mengubah tinggi balok tanpa menambah bahan untuk mendapatkan tinggi hingga 50% dari tinggi balok awal. Balok kastela juga memiliki kekuatan lebih dari pada balok baja asli tanpa bukaannya.

Studi dengan eksperimen dilakukan pada balok baja dengan dan tanpa bukaannya. Defleksi ditentukan setelah pembebanan dan baja yang dipilih yaitu yang mampu menahan beban lebih berat dan mengalami defleksi terkecil. Dari hasil penelitian, diketahui bahwa balok kastela dengan bukaannya heksagonal memiliki kekuatan dalam menahan beban lebih bagus dan defleksi yang lebih kecil. Pada balok kastela dengan bukaannya heksagonal juga tidak membuang bahan baja, berbeda dengan balok kastela dengan bukaannya *circular* yang sedikit membuang bahan baja untuk mendapatkan hasil lingkaran yang diinginkan.

B. Defleksi Balok Kastela Dengan Dan Tanpa Bukaannya Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga

Resmi Mohan dan Preetha Prabhakaran pernah melakukan penelitian mengenai analisis dengan metode elemen hingga untuk membandingkan defleksi antara balok

baja dengan dan tanpa bukaan. Dilatarbelakangi dengan banyaknya struktur yang menggunakan baja pada elemennya. Seperti balok kastela yang dapat mengurangi penggunaan biaya dan juga meningkatkan kekakuan pada bagian yang ditahan. Balok kastela merupakan balok yang memiliki lubang pada bagian *web*. Balok kastela dibuat dengan memotong bagian *web* secara zig - zag dan kemudian menyusunnya kembali dengan cara membalik satu bagian yang lain. Kemudian dilas untuk membentuk balok kastela.

Pada penelitian ini memeriksa baja *solid* dan balok kastela baja dengan bukaan heksagonal dan bukaan *circular*. Baja yang digunakan adalah baja profil I. ANSYS 14.5 digunakan untuk menganalisis elemen hingga pada balok yang diteliti. Tinggi efektif balok adalah 975 mm namun pada penelitian ini digunakan 880 mm. pembuatan benda dalam bentuk 3D digunakan SOLID 185.

Analisis yang dilakukan adalah dengan membandingkan defleksi dari balok *solid*, balok kastela bukaan heksagonal dan balok kastela bukaan *circular*. Pembebanan maksimum yang dilakukan adalah 140 kN dengan hasil lendutan yang dialami pada balok solid yaitu sebesar 13,988 mm, pada balok kastela bukaan heksagonal sebesar 9,198 mm dan pada balok kastela bukaan *circular* sudah berhenti pada pembebanan 90 kN. jadi dapat dikatakan bahwa, balok kastela dengan bukaan heksagonal lebih baik dalam penggunaannya dari pada balok dengan bukaan bentuk lainnya.

Pada penelitian ini juga dilakukan penguatan dengan memberikan kekakuan diagonal pada bukaan yang paling pinggir. Kekakuan yang dipasang yaitu dengan panjang 15 mm dan tebal 5 mm. Data yang didapat dari pengujian dengan beban 140 kN, balok mengalami lendutan sebesar 6.099 mm setelah diberikan kekakuan pada beberapa bagian lubang.

C. Optimasi Pemotongan Lubang Pada Balok Kastela

Optimasi tinggi pemotongan lubang heksagonal ada *Castellated Beam* oleh Sharon Ruth Toreh dan Steenie E. Wallah dan Servie O. Dapas dari Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado. Penelitian ini didasari oleh perkembangan teknologi dalam bidang konstruksi yang terus menerus mengalami peningkatan. khususnya bangunan yang menggunakan material baja. Hal ini dikarenakan baja memiliki mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan bahan konstruksi yang lain. Pembuatan balok kastela bertujuan untuk meminimalisir penggunaan bahan baja. Bentuk yang peneliti pilih

adalah heksagonal karena lebih mudah dalam proses pemotongannya dibandingkan bentuk oktagonal dan lingkaran.

Balok kastela memiliki kapasitas momen lentur yang lebih besar karena penambahan tinggi balok tanpa menambah berat sendiri dan dengan lebar profil yang lebih tinggi bisa menghasilkan momen inersia dan daya tahan terhadap beban yang lebih besar sehingga lebih kuat dan kaku bila dibandingkan dengan asalnya yaitu baja *solid*.

Benda uji dibuat dengan memodelkan variasi tinggi pemotongan balok kastela, kemudian nilai momen dan gaya geser diketahui dengan mengikuti syarat-syarat modulus dan kekuatan penampang sesuai SNI 1729-2015. Pada penelitian ini dilakukan pengecekan tegangan lentur dan tegangan geser yang terjadi pada balok kastela. Jika terjadi kegagalan profil akibat gaya geser maka dapat menggunakan pengaku lateral di sepanjang lubang atau memperbesar jarak lubang.

Proses pembuatan benda uji dilakukan dengan memotong bagian badan dari baja profil IWF dengan pola zig-zag. Profil IWF yang digunakan adalah 400x200x13x8. Tinggi balok kastela yang digunakan pada penelitian ini adalah 520 mm. Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan *software* SAP 2000 v.15, sehingga didapatkan hasil data sebagai berikut:

1. Semakin tinggi potongan lubang balok kastela maka semakin kecil pula lendutannya
2. Semakin tinggi potongan lubang balok kastela maka semakin besar kapasitas momen lentur sehingga mampu memikul momen lebih besar
3. Pentingnya penggunaan pengaku yang berfungsi sebagai perkuatan struktur dan kestabilan terutama di bagian lubang dekat perletakan.

D. Studi Perilaku Balok Kastela Bentang Pendek

Studi perilaku balok kastela bentang pendek dengan variasi dimensi lubang heksagonal menggunakan metode elemen hingga oleh Ahmad Muhtarom dari Teknik Sipil Universitas Sriwijaya Sumatera Selatan pada tahun 2015.

Penelitian tersebut didasari oleh kelebihan balok katela yang pertama yaitu momen inersia yang dihasilkan lebih besar dikarenakan penambahan tinggi balok tanpa menambah berat sendiri balok sehingga kekakuan lenturnya menjadi lebih tinggi. Kelebihan yang kedua yaitu sisi estetika dari lubang tersebut bisa dimanfaatkan sebagai tempat instalasi mekanikal-elektrikal. Namun balok kastela juga memiliki kelemahan

yaitu lemahnya dalam menahan gaya geser dan tekuk akibat lubang hasil modifikasi pemotongan.

Profil baja yang digunakan pada penelitian ini adalah baja profil I yang dipotong zig-zag kemudian diangkat dan disatukan dengan metode pengelasan. Balok dengan bentang 1000 mm dengan variasi lubang heksagonal menggunakan metode elemen hingga sehingga bisa didapatkan batasan-batasan dalam merancang balok kastela ditinjau dari kelemahan dan kelebihan akibat modifikasi balok tersebut. Peneliti menyebutkan ada 7 kegagalan dalam balok kastela yaitu:

1. Formasi dari mekanisme Vierendeel
2. Tekuk lateral torsi dari *web post*
3. *Buckling* lateral torsi dari keseluruhan bentang
4. *Buckling web post*
5. *Buckling pada lower tee* dan *upper tee*
6. Kegagalan pada sambungan las
7. Formasi dari mekanisme lentur

Pelaksanaan pembuatan benda uji pada penelitian ini adalah dengan membuat model numeris balok kastela dengan bukaan lubang heksagonal menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan perangkat lunak ANSYS v.10. Hasil analisis berupa tegangan, regangan, defleksi, dan beban ultimit yang terlebih dahulu diverifikasi dengan hasil model eksperimen dengan geometri, *properties* material dan *setting* pengujian yang sama.

Setelah hasil keduanya konvergen kemudian dibuat 9 model numeris lain dengan penampang, bentang, *properties* material dan *setting* pembebanan yang sama menggunakan berbagai variasi dimensi lubang heksagonal sesuai standar dari produsen baja yang ada di pasaran. Menganalisa perilaku hasil pemodelan berupa tegangan tarik maksimum, tegangan tekan maksimum, tegangan geser maksimum dan defleksi maksimum.

Profil baja yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah IWF 150x75x7x5 mm kemudian dimodifikasi menjadi 225x75x7x5 mm. Hasil yang didapatkan berdasarkan studi variasi dimensi lubang heksagonal didapatkan hasil bahwa semakin tinggi lubang dan lebar lubang maka semakin besar tegangan tarik dan tekan yang terjadi dan nilai defleksi yang terjadi berbanding lurus dengan nilai tegangan tarik dan tegangan tekan

tersebut. Semakin kecil rasio lubang dan semakin sedikit jumlah lubang yang dibuat maka semakin kecil tegangan geser yang terjadi.

E. Studi Tekuk Lateral Balok Kastela Bentang Panjang

Studi tekuk lateral balok kastela bentang panjang dengan analisis keruntuhan oleh Sandhi Kwani dan Paulus Karta Wijaya dari Universitas Katolik Parahyangan. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh fabrikasi balok kastela yang tidak sempurna yang dimungkinkan ketidaksempurnaan geometri. Hal ini yang dapat menyebabkan instabilitas pada struktur saat dibebani. Jika ketidaksempurnaan geometri terjadi di sumbu tegak lurus bidang, maka kasus instabilitas yang terjadi dinamakan sebagai tekuk torsi lateral.

Pemodelan elemen hingga dilakukan dengan menggunakan alat bantu ADINA 8.9, analisis dilakukan dengan menggunakan analisis keruntuhan dengan metode elemen hingga. Analisis diawali dengan menggunakan analisis tekuk linear dengan menggunakan analisis nilai eigen.

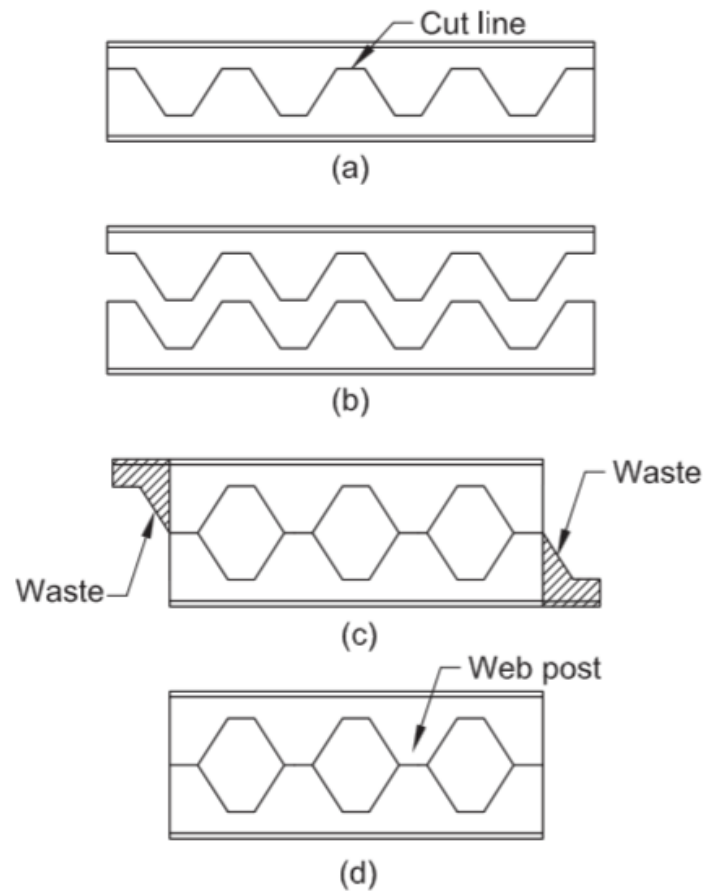
Profil balok yang digunakan dalam penelitian ini adalah HC dan IWF 450x150x6,5x9 dengan 6 variasi bentang. Balok kastela dilakukan analisis keruntuhan dan diperoleh besarnya beban kritis yang dapat dipikul oleh balok tersebut. Dengan adanya besar nilai beban kritis, maka dapat diketahui besarnya momen kritis balok kastela tersebut, karena kegagalan pertama adalah tekuk torsi lateral.

Pada penelitian tersebut didapatkan pemodelan struktur dengan material elastoplastis menggunakan tegangan sisa akan menghasilkan momen kritis yang lebih kecil dibandingkan elastoplastis tanpa tegangan sisa. Bentang balok yang semakin panjang maka karakteristik *postbuckling* menunjukkan balok masih dapat menerima beban walaupun sudah terjadi tekuk torsi lateral pada balok.

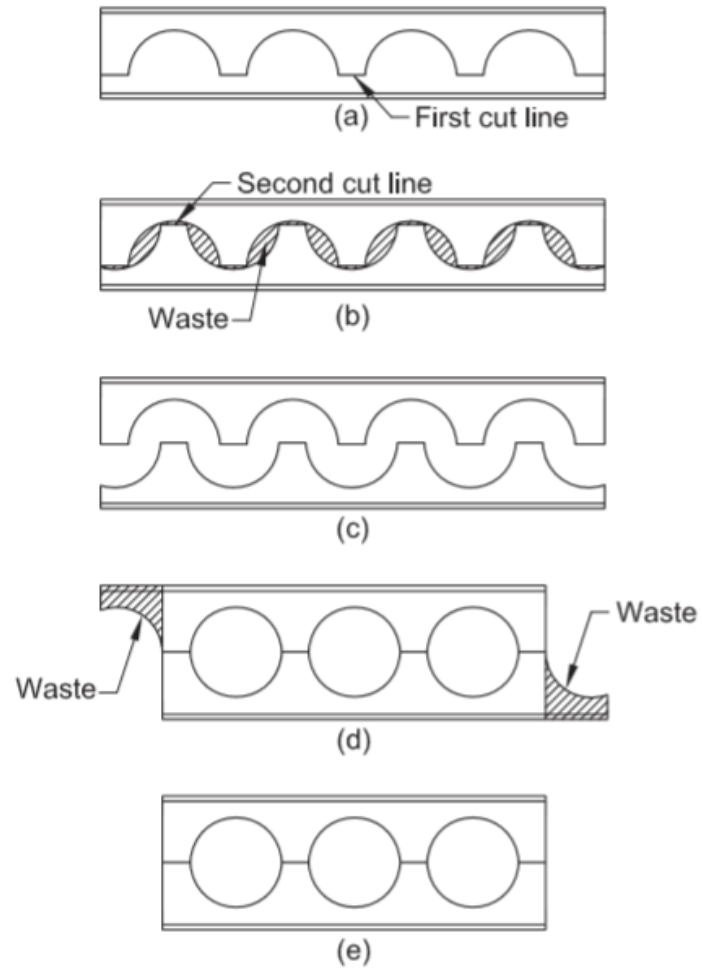
F. Panduan Pembuatan Balok Kastela

Desain balok kastela pada peraturan AISC merupakan balok baja dengan bukaan heksagonal dan melingkar. Balok kastela pertama kali digunakan pada tahun 1910 pada jembatan di Chicago dan Iron Works (Das dan Srimani, 1984). Ide dalam pembuatan lubang pada baja juga dikembangkan secara resmi oleh G.M Boyd di Argentina pada 1935 dan kemudian dipatenkan di United Kingdom (Knowles, 1991)

Proses pembuatan balok kastela dengan bukaan melingkar dan heksagonal hampir sama. Balok kastela didesain terlebih dahulu pada komputer dengan pola zig-zag pada profil IWF. Pembuatan balok kastela dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Proses pembuatan balok kastela bukaan heksagonal



Gambar 2.2 Proses pembuatan balok kastela bukaan melingkar