

Analisis Kapasitas Dan Daktilitas Rangka Bidang Baja Hollow Yang Diisi Mortar Untuk Perkuatan Dinding Dengan Variasi Jenis Bukaannya

Huzaim¹, Jihan Nabila², Rudiansyah Putra³

^{1,3} Jurusan Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala

Jalan Syech Abdurrauf No. 7 Kopelma Darussalam Banda Aceh 23111 Indonesia

² Program Studi Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala

Jalan Syech Abdurrauf No. 7 Kopelma Darussalam Banda Aceh 23111 Indonesia

¹huzaim@unsyiah.ac.id, ²jihan26@mhs.unsyiah.ac.id, ³rudiansyah_putra@unsyiah.ac.id

ABSTRACT

Each building consists of structural and non-structural components. This study uses hollow steel as a wall frame filled with mortar because hollow steel is prone to bending when under pressure. This study aims to determine the capacity and ductility of hollow steel frames to withstand monotonic loads with various types of openings and to determine the ratio of experimental capacity values to capacity values analytically with ETABS app and LRFD approach. There are 4 types of plane frame test objects with variations in the types of openings, which are control test objects (RB0), without openings (RBTB), door openings (RBBP), and window openings (RBBJ). The method used in this research includes planning stages, preparation stages, implementation stages, data processing stages, and analysis of research results. The results of this study are the maximum load that can be carried by RBTB, RBBP, and RBBJ, respectively, is 3,488 tf; 1,360 tf; and 1,360 tf. The percentage of maximum load reduction between RBBP and RBBJ specimens to RBTB is 61.009%. The ductility values of the RBTB, RBBP, and RBBJ specimens were 4,979; 4,367; and 4,691. The ratio between experimental values and analytical values on RBTB, RBBP, and RBBJ test objects is 0.518; 0.535; and 1.153.

Keywords: Hollow steel, capacity, ductility, plane frame, opening.

ABSTRAK

Penelitian ini menggunakan baja hollow sebagai rangka dinding yang kemudian diisi mortar karena baja hollow rentan mengalami tekuk saat diberi tekanan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas dan daktilitas rangka baja hollow dalam menahan beban monotonik dengan variasi jenis bukaan dan mengetahui rasio perbandingan nilai kapasitas secara eksperimental terhadap nilai kapasitas secara analitis dengan bantuan ETABS dengan pendekatan LRFD. Terdapat 4 tipe benda uji rangka bidang dengan variasi jenis bukaan, yaitu benda uji kontrol (RB0), tanpa bukaan (RBTB), bukaan pintu (RBBP), dan bukaan jendela (RBBJ). Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi tahapan perencanaan, tahapan persiapan, tahapan pelaksanaan, tahapan pengolahan data, dan analisis hasil penelitian. Hasil penelitian ini berupa beban maksimum yang mampu dipikul oleh RBTB, RBBP, dan RBBJ berturut-turut adalah 3,488 tf; 1,360 tf; dan 1,360 tf. Persentase penurunan beban maksimum antara benda uji RBBP dan RBBJ terhadap RBTB adalah sebesar 61,009%. Nilai daktilitas benda uji RBTB, RBBP, dan RBBJ berturut-turut adalah 4,979; 4,367; dan 4,691. Rasio antara nilai eksperimental terhadap nilai analitis dengan bantuan ETABS pada benda uji RBTB, RBBP, dan RBBJ adalah sebesar 0,518; 0,535; dan 1,153.

Kata kunci: Baja hollow, kapasitas, daktilitas, rangka bidang, bukaan.

I. Pendahuluan

Sebuah bangunan pasti memiliki komponen struktural dan non-struktural. Walau umumnya dinding termasuk komponen non-struktural bangunan, tetapi dinding juga dapat menjadi komponen struktural [1]. Salah satu cara menjadikan dinding menjadi komponen struktural adalah dengan membuat rangka dinding sehingga dinding tersebut juga akan berkontribusi menahan beban juga.

Terdapat dua jenis dinding pada bangunan, yaitu dinding yang memiliki bukaan

dan dinding yang tidak memiliki bukaan [2]. Adanya bukaan seperti pintu dan jendela pada dinding suatu bangunan akan menyebabkan perubahan perilaku dari dinding dan rangkanya yang akan mengakibatkan perubahan kekuatan dan kekakuannya sehingga akan berpengaruh terhadap kemampuan dinding dan rangkanya dalam menahan beban [3].

Penelitian ini menggunakan material berupa baja hollow yang diisi mortar pada rongganya sebagai rangka dinding. Penggunaan material tersebut bertujuan untuk meminimalkan penggunaan bahan bangunan yang tidak ramah

lingkungan seperti penggunaan batu bata dan kayu.

Profil baja hollow memiliki beberapa keunggulan sebagai struktur bangunan, yaitu mempunyai kekuatan tarik yang tinggi, profil lebih homogen, memiliki keawetan yang tinggi, elastisitas dan daktilitas cukup tinggi, dan mudah dalam hal penyambungan antar elemen [4].

Profil baja hollow sangat rentan terhadap tekuk saat diberi tekanan [5]. Pengisian mortar ke dalam rongga profil baja hollow dapat dijadikan salah satu cara untuk mengatasi masalah tekuk pada profil. Hal tersebut dapat menaikkan nilai kapasitas dan daktilitas dari profil baja hollow tersebut [6]. Salah satu cara untuk mempermudah proses pemasukan mortar ke dalam baja hollow dapat dilakukan dengan menambahkan bahan tambah berupa viscrete-10 ke dalam campuran mortar [7].

Pada penelitian ini, baja hollow yang digunakan memiliki mutu BJ 37 dan mortar bermutu K-400 dengan FAS 0,4. Penyambungan antar elemen rangka bidang dengan menggunakan alat sambung las[8].

Terdapat 3 benda uji rangka bidang yang digunakan pada penelitian ini yang dikelompokkan berdasarkan variasi jenis bukaan. Adapun 3 benda uji rangka bidang tersebut adalah rangka bidang tanpa bukaan (RBTB), rangka bidang dengan bukaan pintu (RBBP), dan rangka bidang dengan bukaan jendela (RBBJ).

Pengujian rangka bidang dilakukan dengan memberikan beban monotonik berupa beban terpusat horizontal pada joint kiri atas benda uji rangka bidang sampai batas kapasitasnya.

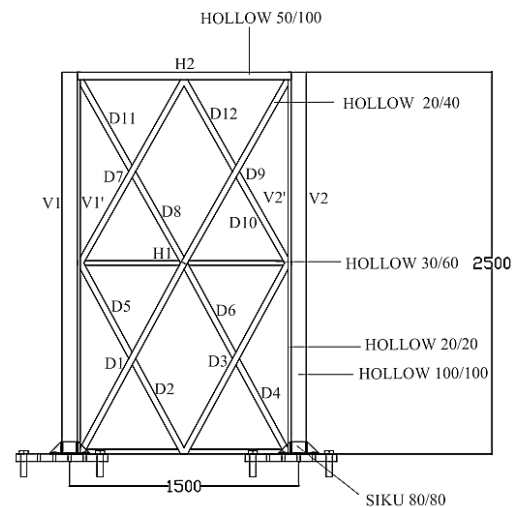
Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui kapasitas dan daktilitas dari rangka bidang baja hollow yang diisi mortar terhadap variasi jenis bukaan dan mengetahui rasio perbandingan nilai kapasitas dari rangka bidang hasil pengujian eksperimental di laboratorium terhadap nilai kapasitas rangka bidang yang dihitung secara analitis dengan pendekatan LRFD.

II. Metodologi Penelitian

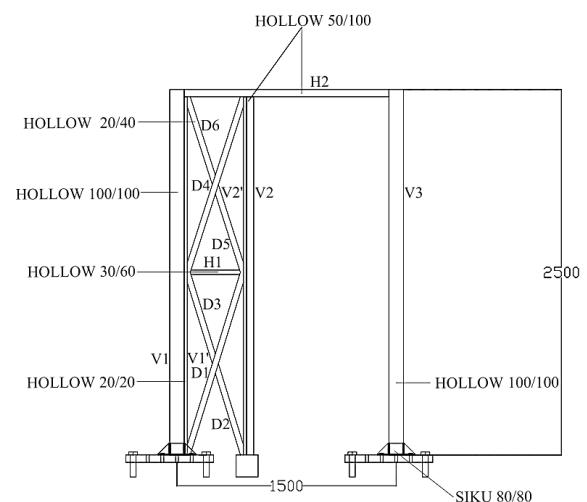
A. Perencanaan struktur rangka bidang

Tahap awal yang harus dilakukan pada penelitian ini adalah merencanakan struktur rangka bidang yang akan digunakan sebagai benda uji rangka bidang. Penelitian ini menggunakan 3 (tiga) tipe benda uji rangka bidang dengan variasi jenis

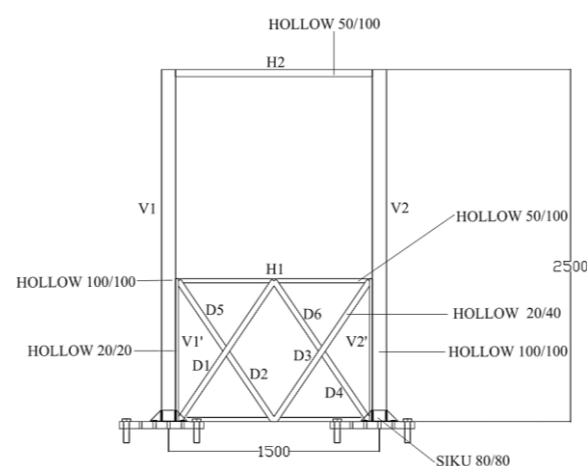
bukaan, yaitu tanpa bukaan (RBTB), dengan bukaan pintu (RBBP), dan dengan bukaan jendela (RBBJ). Bentuk pemodelan dari ketiga tipe benda uji rangka bidang dapat dilihat pada **Gambar 1**, **Gambar 2**, dan **Gambar 3**.



Gambar 1 Benda Uji RBTB



Gambar 2 Benda Uji RBBP



Gambar 3 Benda Uji RBBJ

Ketiga benda uji rangka bidang tersebut akan diuji di laboratorium dengan memberikan

beban monotonik berupa beban horizontal terpusat pada bagian joint kiri atas rangka bidang yang kemudian akan dibandingkan dengan hasil analisis struktur yang dimodelkan menggunakan aplikasi ETABS.

B. Tahapan Persiapan

1. Desain Benda Uji Rangka Bidang

Tahapan pertama dalam persiapan benda uji rangka bidang adalah melakukan desain benda uji rangka bidang dengan bantuan aplikasi AUTOCAD. Dimensi dari baja *hollow* yang dipakai pada ketiga benda uji rangka bidang tersebut memiliki ukuran yang beragam, yaitu berukuran 100/100 mm dengan tebal 2,5 mm, 50/100 mm dengan tebal 2 mm, 30/60 mm dan 20/40 mm dengan tebal 1,7 mm. Ketiga jenis benda uji rangka bidang tersebut memiliki lebar dan tinggi yang sama besar, yaitu lebar 1,5 meter dan tinggi 3 meter. Elemen-elemen dari rangka benda uji ini disambung menggunakan sambungan las.

Rincian kebutuhan panjang baja *hollow* yang akan digunakan sebagai elemen-elemen dari tiap benda uji rangka bidang yang diisi dengan mortar dapat dilihat pada **Tabel 1**, **Tabel 2**, **Tabel 3** berikut.

Tabel 1 Panjang Baja Hollow RBTB

Ukuran profil (mm)	Ketebalan Profil (mm)	Panjang Batang (mm)
100/100	2,5	5000
50/100	2,0	1500
30/60	1,7	1500
20/40	1,7	23328
20/20	1,7	10000

Tabel 2 Panjang Baja Hollow RBBP

Ukuran profil (mm)	Ketebalan Profil (mm)	Panjang Batang (mm)
100/100	2,5	5000
50/100	2,0	4500
30/60	1,7	500
20/40	1,7	10770
20/20	1,7	10000

Tabel 3 Panjang Baja Hollow RBBJ

Ukuran profil (mm)	Ketebalan Profil (mm)	Panjang Batang (mm)
100/100	2,5	5000
50/100	2,0	3000
20/40	1,7	10000
20/20	1,7	4000

2. Perencanaan Campuran Mortar

Perencanaan campuran mortar beton (*mix design*) pada penelitian ini berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 7656-2012 [9]. Mortar didesain dengan mutu K-400 dengan faktor air semen (FAS) yang digunakan adalah 0,4 dan perbandingan semen dan pasir 1:2, serta ditambahkan bahan tambah (*admixture*) berupa sika *viscocrete-10* sebanyak 1% dari berat semen yang berguna untuk mendapat kepadatan mortar dan memudahkan pada saat pengecoran dan pengisian mortar ke dalam rongga baja *hollow*.

C. Tahapan Pelaksanaan

1 Pemotongan baja *hollow*

Tahapan pertama dari pelaksanaan penelitian ini adalah memotong baja *hollow* sesuai dengan ukuran masing-masing elemen dari tiap benda uji yang telah direncanakan. Proses pemotongan menggunakan bantuan alat gerinda.

2 Pengecoran mortar

Sebelum mortar dimasukkan ke dalam rongga dari baja *hollow*, dilakukan pengecoran mortar dengan komposisi material mortar yang digunakan mengikuti perencanaan *mix design* yang telah dibuat. Pengecoran dimulai dengan mengecek peralatan dan material yang digunakan untuk pengecoran mortar. Proses pengecoran mortar diawali dengan memasukkan pasir, semen, air, dan *visconcrete-10* ke dalam molen (*concrete mixer*). Lalu material tersebut diaduk hingga tercampur rata.

Sebagai kontrol kekuatan dari mortar yang akan diisi ke dalam rongga baja *hollow*, dibuat pula benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 50 mm x 50 mm x 50 mm. Tiap 1 tipe rangka bidang dibuat sebanyak 6 (tiga) unit benda uji kubus. Dikarenakan terdapat 3 tipe benda uji, maka terdapat 18 unit benda uji kubus.

3 Flow test

Pengujian *flow test* dilakukan pada saat campuran mortar telah teraduk dan tercampur rata sebelum dimasukkan ke dalam cetakan kubus dan rongga baja *hollow*.

Pengujian diawali dengan membasahi *flow mold*. Kemudian letakkan *flow mold* pada plat dasar yang datar dan tidak menyerap secara terbalik. Lalu masukkan campuran mortar yang sudah teraduk rata ke dalam *flow mold* sampai penuh dan diratakan. Lalu *flow mold* diangkat secara perlahan secara vertikal. Langkah akhir dari pengujian *flow test* adalah mengukur diameter penyebaran mortar tersebut dari 2 arah yang tegak lurus. Lalu hitung nilai rata-rata dari kedua diameter tersebut sebagai nilai *flow mortar* [10].

4 Pengisian mortar

Pengisian mortar ke dalam rongga baja *hollow* yang telah dipotong sesuai ukurannya dilakukan setelah pengecoran mortar dilakukan atau pada saat campuran mortar telah tercampur merata. Proses pengisian mortar ke dalam rongga baja *hollow* dilakukan secara manual dengan bantuan corong sampai mortar memenuhi rongga baja *hollow* tersebut.

5 Perangkaian rangka bidang

Proses perangkaian rangka bidang dilakukan setelah semua rongga baja *hollow* terisi mortar dan telah didiamkan selama 24 jam. Kemudian akan dilakukan proses penyambungan elemen-elemen batang dari rangka bidang tersebut dengan menggunakan sambungan las pada setiap pertemuan elemen-elemen batangnya hingga terbentuk rangka bidang yang sesuai dengan desain yang telah ditentukan.

6 Perawatan benda uji kubus

Perawatan benda uji kubus berfungsi untuk membantu berlangsungnya proses hidrasi campuran mortar yang mengakibatkan proses penguapan air di dalam mortar berlangsung lebih lambat. Pada penelitian ini perawatan mortar berlangsung selama 21 hari. Metode perawatan benda uji kubus yang digunakan adalah metode *water curing*, yaitu dengan merendam mortar di dalam air bersuhu 20 - 30°C. [11] Benda uji kubus yang direndam tersebut akan didiamkan di suhu ruangan selama 1 hari sebelum dilakukan pengujian kuat tekan.

7 Pengujian kuat tekan benda uji kubus

Pengujian kuat tekan benda uji kubus dilaksanakan untuk mengetahui kekuatan tekan

dari mortar beton atau sebagai kontrol terhadap mutu mortar beton yang akan dipakai sebagai pengisi baja *hollow* pada penelitian ini. Pengujian kuat tekan benda uji kubus dilaksanakan pada saat umur mortar beton 21 hari.

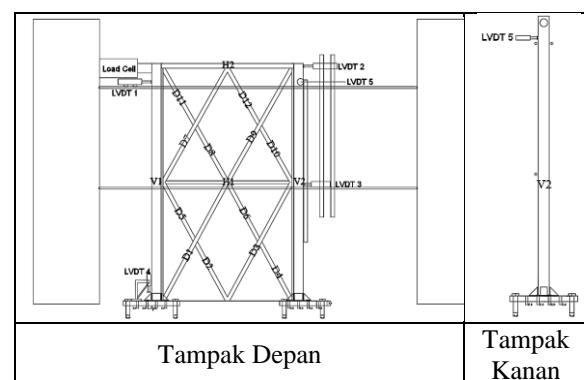
Alat pengujian kuat tekan yang digunakan adalah Mesin Uji Kuat Tekan berkapasitas maksimum pembebanan sebesar 50 ton. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban konstan sampai benda uji kubus hancur. Prosedur pengujian kuat tekan beton mengacu pada SNI 03-6825-2002 Tentang Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil [12].

8 Pengujian pembebanan monotonik

Pengujian pembebanan monotonik dilaksanakan pada saat mortar berumur 21 hari. Pengujian ini diawali dengan meletakkan benda uji rangka bidang pada posisi yang telah ditentukan pada alat *load frame*. Lalu kedua ujung tumpuan rangka bidang dilas pada baja siku yang telah disambung ke *base plate* dengan menggunakan baut agar tidak terjadi pergeseran pada saat melakukan pengujian.

Pada bagian kiri atas benda uji, sebagai titik yang akan diberikan beban monotonik berupa beban horizontal terpusat, diletakkan juga alat *load cell*. Selain itu, dipasang juga LVDT pada titik-titik tertentu sesuai kebutuhan. Penempatan pemasangan LVDT disesuaikan agar didapatkan data pembacaan lendutan yang baik. Pembacaan dengan alat LVDT tercatat pada *data logger*.

Pemberian beban dilakukan secara perlahan dengan penambahan 0,1 ton secara konstan hingga mencapai kapasitas maksimum dari benda uji rangka bidang. Pengujian ini dilakukan pada ketiga jenis benda uji rangka bidang dengan variasi jenis bukaan. Dari hasil pengujian ini akan diketahui pengaruh dari variasi jenis bukaan terhadap kapasitas ketiga benda uji rangka bidang. Selengkapnya untuk perletakan (*set-up*) bisa dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4 Set-Up Pengujian Pembebanan

D. Tahapan Analitis dengan ETABS

Tahapan dalam melakukan analisis struktur menggunakan bantuan aplikasi ETABS dimulai dengan menginput koordinat X, Y, dan Z dari benda uji rangka bidang. Kemudian dilanjutkan dengan memberi nomor pada elemen batang dan joint. Kemudian menginput data jenis material beton dan baja sesuai perencanaan dan dilanjutkan dengan membuat penampang komposit sesuai ukuran profil yang telah ditentukan dan menggambarkan model rangka bidangnya. Jenis tumpuan yang digunakan merupakan tumpuan sendi-sendi. Langkah selanjutnya adalah melakukan input beban pada struktur rangka bidang dengan memberi beban berupa beban terpusat horizontal pada joint yang tepat berada pada bagian kiri atas rangka bidang. Setelah seluruh rangka bidang selesai dimodelkan maka dilakukan *run analysis* sebagai perintah pada aplikasi ETABS untuk melakukan analisis struktur terhadap ketiga tipe bahan uji tersebut. Setelah dilakukan analisis, *output* yang didapatkan berupa *displacement* (perpindahan). Setelah mendapatkan hasil analisis, selanjutnya dilakukan penginputan beban kembali pada elemen rangka dan dilakukan analisis kembali. Proses ini dilakukan berulang ulang hingga didapat beban yang dapat membuat salah satu komponen struktur mengalami kegagalan. Pertambahan nilai beban yang diinput pada software ETABS disesuaikan dengan pertambahan nilai beban pada saat pengujian pembebanan rangka bidang di laboratorium, yaitu tiap kenaikan 0,1 ton.

E. Tahapan Analisis Data

Tahapan terakhir dari penelitian ini adalah tahapan analisis data hasil penelitian. Data hasil pengujian kuat tekan mortar akan dilakukan perhitungan stastitika sederhana dengan mengambil nilai rata-rata dari sampel yang diuji, nilai rata rata tersebut nantinya akan digunakan untuk menentukan kuat tekan mortar.

Pada penelitian ini dilakukan analisis data hasil penelitian dengan membuat grafik hubungan beban-lendutan yang kemudian dilakukan idealisasi *backbone curve* [13]. Dari hasil penelitian ini dapat diketahui pengaruh variasi jenis bukaan terhadap kapasitas dari rangka bidang baja *hollow* yang diisi mortar. Nilai daktilitas dapat dihitung dengan membagi nilai saat lendutan ultimit (saat beban maksimum) dengan nilai lendutan saat leleh [14].

Pada tahapan analisis data juga akan dilakukan perbandingan antara data yang didapatkan pada hasil pengujian laboratorium (eksperimental) terhadap analisis struktur dengan pemodelan yang dibuat pada aplikasi ETABS.

III. Hasil dan Pembahasan

A. Hasil Penelitian

1. Hasil Perencanaan Campuran Mortar

Hasil perhitungan *mix design* untuk tiap 1 m³ volume mortar dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4 Hasil perencanaan campuran mortar

No	Material	Berat (kg/m ³)
1	Air	246,960
2	Semen	617,400
3	Pasir	1368,240
4	Sika <i>Viscocrete-10</i>	6,174

2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar

Pengujian kuat tekan mortar dilakukan pada umur mortar 21 hari dan menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 409,60 kg/cm² atau 40,18 Mpa. Data hasil pengujian kuat tekan mortar dapat dilihat pada **Tabel 5** berikut

Tabel 5 Hasil pengujian kuat tekan mortar

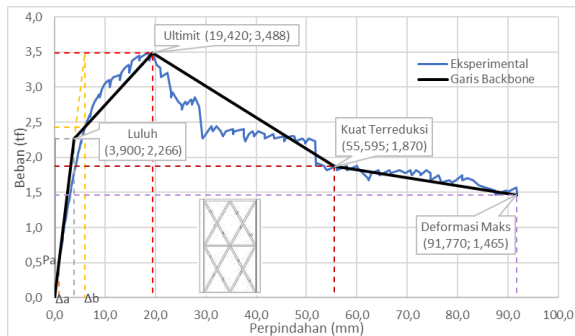
Benda Uji	Dimensi Benda Uji			Luas Benda Uji	Beban	Kuat Tekan	Kuat Tekan	Kuat Tekan Rerata	Kuat Tekan Rerata
	P	L	T						
	cm	cm	cm						
	4,97	5,04	5,10	25,05	10.000	399,22	39,16		
RBTB	4,96	4,94	5,20	24,50	9.500	387,72	38,04	415,42	40,75
	4,96	4,96	5,01	24,60	11.300	459,32	45,06		
	5,01	5,31	4,97	26,60	9.800	368,38	36,14		
RBBP	5,08	5,29	5,09	26,87	11.500	427,94	41,98	401,58	39,39
	4,83	5,12	5,04	24,73	10.100	408,42	40,07		
	5,12	4,96	5,08	25,40	10.900	429,21	42,11		
RBBJ	4,98	5,05	4,98	25,15	11.100	441,37	43,30	411,80	40,40
	4,96	5,25	4,94	26,04	9.500	364,82	35,79		

3. Hasil Pengujian Pembebanan Monotonik

a. Benda Uji RBTB

Benda uji RBTB adalah rangka bidang baja hollow yang diisi mortar dengan variasi bukaan yang pertama, yaitu tanpa bukaan. Benda uji ini memiliki tinggi 2500 mm dan lebar 1500 mm. Pembebanan pada rangka bidang ini berupa beban monotonik yang dibebankan pada bagian kiri atas rangka bidang.

Pada saat dilakukan pengujian pembebanan, benda uji RBTB mampu menahan beban sebesar 3,488 tf dengan lendutan terjadi sebesar 19,420 mm. Lalu dilakukannya pengolahan data pada hasil pengujian pembebanan rangka bidang yang berupa grafik beban-lendutan dari pembacaan LVDT2 dengan melakukan idealisasi *Backbone Curve*. Hasil idealisasi *Backbone Curve* dapat dilihat pada **Gambar 5**.



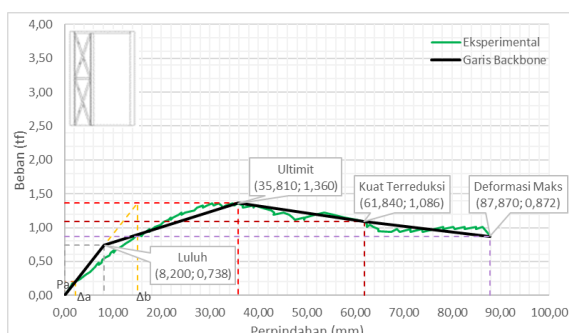
Gambar 5 Backbone Curve RBTB

Berdasarkan hasil perhitungan analisis struktur yang dilakukan, didapat beban maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji RBTB adalah 6,740 tf, sedangkan hasil pengujian laboratorium sebesar 3,488 tf.

b. Benda Uji RBBP

Benda uji RBBP adalah rangka bidang baja hollow yang diisi mortar dengan variasi bukaan yang kedua, yaitu bukaan pintu. Benda uji ini memiliki tinggi 2500 mm dan lebar 1500 mm. Pembebanan pada rangka bidang ini berupa beban monotonik yang dibebankan pada bagian kiri atas rangka bidang.

Pada saat dilakukan pengujian pembebanan, benda uji RBBP mampu menahan beban sebesar 1,360 tf dengan lendutan terjadi sebesar 35,810 mm. Lalu dilakukannya pengolahan data pada hasil pengujian pembebanan rangka bidang yang berupa grafik beban-lendutan dari pembacaan LVDT2 dengan melakukan idealisasi *Backbone Curve*. Hasil idealisasi *Backbone Curve* dapat dilihat pada **Gambar 6**.



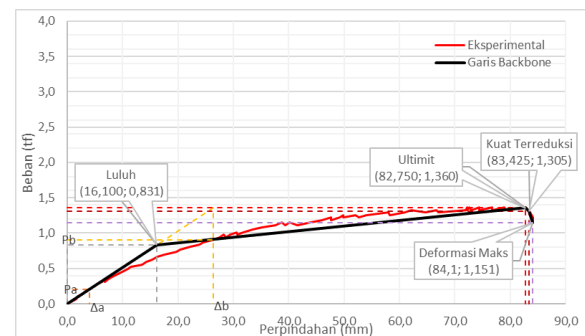
Gambar 6 Backbone Curve RBBP

Berdasarkan hasil perhitungan analisis struktur yang dilakukan, didapat beban maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji RBBP adalah 2,540 tf, sedangkan hasil pengujian laboratorium sebesar 1,360 tf.

c. Benda Uji RBBJ

Benda uji RBBJ adalah rangka bidang baja hollow yang diisi mortar dengan variasi bukaan yang ketiga, yaitu bukaan jendela. Benda uji ini memiliki tinggi 2500 mm dan lebar 1500 mm. Pembebanan pada rangka bidang ini berupa beban monotonik yang dibebankan pada bagian kiri atas rangka bidang.

Pada saat dilakukan pengujian pembebanan, benda uji RBBJ mampu menahan beban sebesar 1,360 tf dengan lendutan terjadi sebesar 82,750 mm. Lalu dilakukannya pengolahan data pada hasil pengujian pembebanan rangka bidang yang berupa grafik beban-lendutan dari pembacaan LVDT2 dengan melakukan idealisasi *Backbone Curve*. Hasil idealisasi *Backbone Curve* dapat dilihat pada **Gambar 7**.



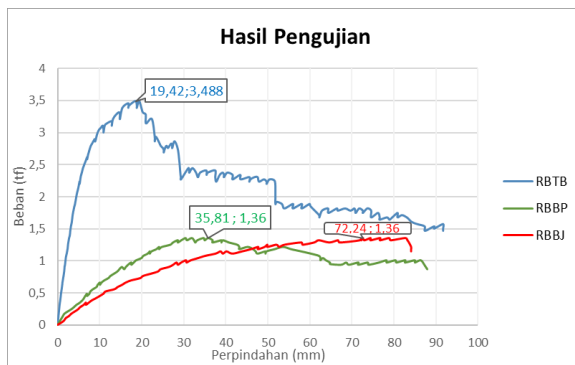
Gambar 7 Backbone Curve RBBJ

Berdasarkan hasil perhitungan analisis struktur yang dilakukan, didapat beban maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji RBBJ adalah 1,180 tf, sedangkan hasil pengujian laboratorium sebesar 1,360 tf.

B. Pembahasan

1. Kapasitas Rangka Bidang

Hasil akhir dari pengujian pembebanan monotonik pada ketiga tipe benda uji rangka bidang secara eksperimental sampai terjadi kehancuran disajikan dalam bentuk grafik beban-lendutan. Grafik perbandingan hasil pengujian dari keempat benda uji dapat dilihat pada **Gambar 8** berikut.



Gambar 8 Hasil Pengujian 3 Benda Uji

Benda uji RBTB memiliki kapasitas sebesar 3,488 tf dengan lendutan maksimum sebesar 91,77 mm. Benda uji RBBP yang menggunakan jenis bukaan berupa pintu memiliki kapasitas sebesar 1,360 tf dengan lendutan maksimum sebesar 87,870 mm. Benda uji RBBJ yang menggunakan jenis bukaan jendela juga mengalami penurunan kapasitas terhadap RBTB, kapasitas dari benda uji RBBJ sebesar 1,360 tf dengan lendutan maksimum sebesar 84,100 mm. Penurunan kapasitas ini dikarenakan oleh pengaruh jenis bukaan yang digunakan yang dapat mengurangi kekakuan dari rangka bidang tersebut dan mengakibatkan penurunan pada kapasitas rangka bidang [15].

Data beban dan lendutan hasil pengujian pembebanan rangka bidang dapat digunakan untuk melakukan perhitungan kekakuan dari rangka bidang dapat dilihat pada **Tabel 6** sebagai berikut

Tabel 6 Backbone Curve Point

Benda Uji	Kekakuan Awal (Pa/ Δa) (tf/m)	Backbone Point							
		Luluh		Ultimit		Kuat Tereduksi		Lendutan Maksimum	
		$\Delta 1$ (mm)	P1 (tf)	$\Delta 2$ (mm)	P2 (tf)	$\Delta 2a$ (mm)	P2a (tf)	$\Delta 3$ (mm)	P3 (tf)
RBTB	0,581	3,900	2,266	19,420	3,488	55,595	1,870	91,770	1,465
RBBP	0,090	8,200	0,738	35,810	1,360	61,840	1,086	87,870	0,872
RBBJ	0,052	16,000	0,826	82,750	1,360	83,425	1,305	84,100	1,151

Hasil dari pengujian pembebanan rangka bidang ini didapat bahwa terjadi penurunan kapasitas dari rangka bidang dikarenakan variasi jenis bukaan yang dipakai. Terjadi penurunan kapasitas rangka bidang benda uji RBBP dan RBBJ sebesar 61,009% terhadap benda uji RBTB. Persentase penurunan kapasitas rangka bidang terhadap benda uji RBTB dapat dilihat pada **Tabel 7** sebagai berikut.

Tabel 7 Persentase Penurunan Kapasitas Rangka Bidang Terhadap RBTB

Benda Uji	Beban Maksimum (tonf)	Lendutan (mm)	Penurunan Kapasitas Terhadap RBTB (%)
RBTB	3,488	19,420	-
RBBP	1,360	35,810	61,009
RBBJ	1,360	72,240	61,009

Dari tabel di atas, dapat dilihat terjadi penurunan kemampuan menahan beban pada benda uji RBBP dan RBBJ sebesar 61,009% terhadap RBTB. Hal tersebut disebabkan oleh luas bukaan dan letak dari bukaan tersebut, semakin luas bukaan yang dipakai akan mengakibatkan semakin kecil kemampuan rangka bidang tersebut dan semakin jauh letak bukaan terhadap beban yang diberikan akan mengakibatkan semakin besar kemampuan rangka bidang dalam menahan beban. Pada penelitian ini, letak bukaan lebih mempengaruhi kapasitas rangka bidang daripada luas bukaan tersebut.

2. Daktilitas Rangka Bidang

Data nilai daktilitas hasil pengujian pembebanan rangka bidang dapat dilihat pada **Tabel 8** sebagai berikut.

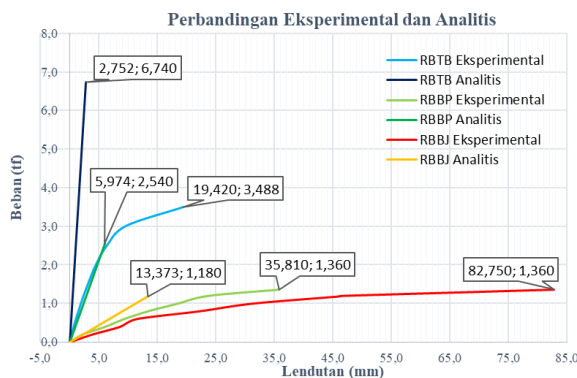
Tabel 8 Nilai Daktilitas Rangka Bidang

Benda Uji	Luluh (yield)		Ultimit		$\mu = \Delta u / \Delta y$
	Δy (mm)	P_y (tf)	Δu (mm)	P_u (tf)	
RBTB	3,900	2,266	19,420	3,488	4,979
RBBP	8,200	0,738	35,810	1,360	4,367
RBBJ	16,100	0,831	82,750	1,360	5,140

Berdasarkan hasil yang didapat, nilai daktilitas antara ketiga benda uji, RBBP, RBBJ, dan RBTB, memiliki perbedaan nilai yang kecil. Benda uji yang memiliki nilai daktilitas terbesar adalah benda uji RBBJ yang kemudian dilanjutkan oleh benda uji RBTB dan yang memiliki nilai daktilitas terkecil adalah benda uji RBBP. Hal ini dikarenakan oleh bentuk dari rangka bidang tersebut. RBTB memiliki bentuk yang seimbang, sehingga kekakuan struktur pun seimbang, sedangkan RBBP memiliki bentuk yang tidak seimbang antara bagian kiri dan kanan menyebabkan nilai daktilitas mengecil saat diberi beban pada kiri atas rangka bidang, Demikian pula pada benda uji RBBJ yang juga tidak seimbang antara atas dan bawah mengakibatkan daktilitas sedikit meningkat.

3. Perbandingan Kapasitas Secara Analitis Terhadap Eksperimental

Terdapat selisih antara perhitungan kapasitas secara analisis struktur dan pengujian laboratorium dikarenakan pada perhitungan analisis struktur rangka dianggap sebagai struktur yang kaku sempurna, namun pada pengujian laboratorium rangka bidang tidak dapat dibuat kaku sempurna. Perbandingan nilai kapasitas secara analitis dan eksperimental dapat dilihat pada **Gambar 9** berikut.



Gambar 9 Perbandingan Kapasitas Analitis dan Eksperimental

Berdasarkan gambar di atas dapat dihitung rasio antara kedua nilai tersebut dengan membagi nilai eksperimental dengan nilai analitis yang dapat dilihat pada **Tabel 9** berikut.

Tabel 9 Rasio antara Nilai Analitis dan Nilai Eksperimental

Benda Uji	RBTB	RBBP	RBBJ
Beban Maksimum Eksperimental (tf)	3,488	1,360	1,360
Beban Maksimum Analitis (tf)	6,740	2,540	1,180
Rasio Antara Nilai Eksperimental Terhadap Nilai Analitis	0,518	0,535	1,153

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa nilai eksperimental benda uji RBTB dan RBBP lebih kecil dibandingkan dengan nilai analitis, sedangkan benda uji RBBJ memiliki nilai eksperimental lebih besar daripada nilai analitis. Hal tersebut disebabkan oleh pada benda uji RBTB dan RBBP memiliki elemen kritis pada batang diagonal sedangkan benda uji RBBJ memiliki elemen kritis pada batang vertikal. Selain elemen kritis struktur, sambungan antar elemen rangka bidang juga berperan dalam menentukan kapasitas rangka bidang. Semakin banyak terdapat sambungan yang menyambung elemen-elemen rangka bidang mengakibatkan

semakin rentan suatu rangka bidang tersebut mengalami kehancuran.

4. Mode Kegagalan Benda Uji

a. Benda Uji RBTB

Kehancuran yang terjadi pada rangka bidang ini saat diberikan beban hingga terjadi lendutan sebesar 75 mm pertama kali terjadi pada batang D9 (batang tarik) dan D21 (batang Tarik), kemudian dilanjutkan oleh batang D7 (batang tarik) dan batang D19 (batang tarik) yang merupakan kegagalan pada sambungannya. Selanjutnya terjadi kegagalan sambungan las pada batang D15 (batang tarik) dan dilanjutkan dengan kegagalan sambungan las yang menyambungkan batang D3 (batang tarik) dan batang H1 (batang tarik). Sehingga dikarenakan kegagalan struktur terjadi pada sambungan maka struktur mengalami penurunan kapasitas.

b. Benda Uji RBBP

Tidak terjadi kehancuran pada rangka bidang ini saat diberikan beban hingga terjadi lendutan sebesar 75 mm. Hanya terjadi lendutan pada batang H2 (batang tekan)

c. Benda Uji RBBJ

Tidak terjadi kehancuran pada rangka bidang ini saat diberikan beban hingga terjadi lendutan sebesar 75 mm. Hanya terjadi lendutan yang sangat besar pada batang V1 (batang tarik) dan batang V2 (batang tekan).

IV. Kesimpulan

Beban maksimum yang mampu dipikul oleh benda uji RBTB adalah 3,488 tf dengan lendutan yang dihasilkan sebesar 19,420 mm, sedangkan benda uji RBBP dan RBBJ adalah sebesar 1,360 tf dengan lendutan yang terjadi berurutan sebesar 35,810 mm dan 72,240 mm. Berdasarkan data yang telah dipaparkan tersebut dapat disimpulkan bahwa variasi jenis bukaan mempengaruhi nilai kapasitas rangka bidang.

Persentase penurunan beban maksimum antara benda uji RBBP terhadap RBTB sebesar 61,009% dan antara benda uji RBBJ terhadap RBTB sebesar 61,009%.

Nilai daktilitas yang didapat dari hasil pengujian laboratorium pada penelitian ini adalah 4,979 untuk benda uji RBTB dan 4,367 untuk benda uji RBBP, serta 4,691 untuk benda uji RBBJ.

Terjadi perbedaan antara nilai beban maksimum rangka bidang hasil pengujian

laboratorium dan beban maksimum rangka bidang hasil perhitungan secara analisis struktur. Rasio antara nilai kapasitas secara eksperimental terhadap nilai kapasitas secara analisis struktur dengan bantuan ETABS pada benda uji RBTB sebesar 0,518 dan benda uji RBBP memiliki rasio sebesar 0,535, sedangkan benda uji RBBJ memiliki rasio sebesar 1,153.

V. Saran

Untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal pada penelitian yang serupa di waktu yang akan datang, terdapat beberapa saran dari peneliti yang harus dipertimbangkan adalah melakukan penelitian lebih lanjut dengan menambahkan beton precast pada tengah batang diagonal sebagai pengisi dinding, memperhatikan ketelitian penyambungan las yang mana sangat mempengaruhi kekuatan rangka bidang itu sendiri, melakukan penelitian lebih lanjut mengenai kekakuan tumpuan pada saat pengujian laboratorium, melakukan studi lebih lanjut mengenai pemodelan non-linear elastik (analisis *pushover*), dan melakukan penelitian lebih lanjut pada komponen struktur agar diperoleh hubungan beban-lendutan tiap tipe komponen struktur yang dapat dijadikan sendi plastis pada struktur tersebut untuk dilakukannya analisis *pushover*.

Daftar Pustaka

- [1] Leksono, RS, dkk. 2012. Studi Pengaruh Kekuatan dan Kekakuan Dinding Bata pada Bangunan Bertingkat. *Jurnal Teknik Sipil ITS*. Surabaya.
- [2] Narayana, J. 2016. Pengaruh Letak Bukaannya pada Beban Runtuh Dinding Bata Terkekang (*Confined Masonry*) yang Dibebeani Secara Siklik Lateral. *Jurnal Teknik Sipil*. Universitas Brawijaya.
- [3] Putra, D. 2016. Perilaku Struktur Rangka Dinding Pengisi Dengan Bukaannya Pada Gedung Empat Lantai. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*. Universitas Udayana.
- [4] Lukmansa, I. 2015. Perbandingan Perencanaan Struktural Baja Menggunakan Profil Biasa Dan Profil Kastela Pada Proyek Gedung PGN Di Surabaya. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 8, No. 2. Universitas 17 Agustus 1945. Surabaya.
- [5] Sucipta, A., dkk. 2013. Analisa Pola Keruntuhan Konstruksi Rangka Atap dengan Menggunakan Profil Baja Ringan. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan* Vol. 1, No. 1. Universitas Sriwijaya.
- [6] Mursal, dkk. 2019. Pengaruh Variasi Tinggi Portal Terhadap Perilaku Portal Bidang Baja Hollow yang Diisi Mortar FAS 0,4. *Journal of The Civil Engineering Student*, Vol.1, No.2, Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh.
- [7] Alamsyah. dkk. 2019. Pengaruh Faktor Air Semen Terhadap Perilaku Portal Bidang Baja Hollow yang Diisi Mortar. *Journal of The Civil Engineering Student*, Vol. 1, No. 2, Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh.
- [8] Prasad, H. dkk. 2021. Analisis Kapasitas Dan Daktilitas Kombinasi Rangka Bidang dan Pelat dari Baja Hollow Yang Diisi Mortar FAS 0,4 dengan Variasi Ukuran Profil. Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh.
- [9] SNI. 2012. Standar Nasional Indonesia 7656-2012 Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat, dan Beton Massa. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- [10] ASTM. 2013. *ASTM C 1611/C 1611M Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete*. American Society for Testing and Materials. United States.
- [11] Supriani, F dan Mukhlis, I. 2017. Pengaruh Metode Perlakuan dalam Perawatan Beton Terhadap Kuat Tekan dan Durabilitas Beton. *Jurnal Teknik Sipil*. Universitas Bengkulu.
- [12] SNI. 2002. Standar Nasional Indonesia 03-6825-2002 Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- [13] ASCE. 2016. *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*. American Society Of Civil Engineers. Virginia.
- [14] Utami, SRL, dkk. 2016. Pengaruh *Carbon Fiber Wrap* (CFW) Terhadap Daktilitas Balok Beton Bertulang. *INERSIA*, Vol. XII No.2. Universitas Negeri Yogyakarta.
- [15] Pratama, RF, dkk. 2016. Analisis Kekakuan Struktur Balok Beton Bertulang dengan Lubang *Hollow Core* pada Tengah Balok. *Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil* Vol 1.2 No 1-11. Universitas Brawijaya. Jawa Timur.