

## Tinjauan Eksperimental Kuat Lentur Kusen Beton Dan Kusen Kayu

Iwan Wikana<sup>1\*</sup>, Frankly Wawan Telaumbanua<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Immanuel, Yogyakarta

\*e-mail: [wikana@ukrimuniversity.ac.id](mailto:wikana@ukrimuniversity.ac.id)

### ABSTRAK

Kusen beton adalah salah satu eksperimen yang bisa mendukung program pemerintah menanam seribu pohon untuk tetap menjaga kelestarian lingkungan yang hijau. Eksperimen yang dilakukan adalah dengan membuat kusen dari bahan bangunan beton sedemikian rupa sehingga mampu menggantikan fungsi kusen kayu. Dengan menggunakan air, semen, pasir dan kerikil sebagai adukan beton juga dengan ditambahkannya tulangan baja maka kusen beton diharapkan mampu memikul beban dengan kapasitas kuat lentur yang memadai. Dalam penelitian ini kusen yang digunakan berukuran tinggi 200 cm dan lebar 80 cm, dengan dimensi penampang 11,5 cm x 6 cm, tulangan baja yang digunakan berdiameter 6 mm dengan perbandingan campuran beton 1 semen : 3 pasir : 2 kerikil. Pengujian dilakukan terhadap 2 (dua) bentuk kusen yang berbeda dan 1 (satu) kusen kayu dengan pengujian pembebanan terpusat di tengah bentang balok kusen. Berdasarkan pengujian pembebanan dan lendutan, diketahui kapasitas beban maksimal kusen beton bertulang bentuk datar sebesar 561,5 kg dengan lendutan 23,91 mm, kapasitas beban maksimal kusen beton bertulang bentuk lengkung sebesar 613 kg dengan lendutan 27,425 mm dan kapasitas beban maksimal kusen kayu kamper sebesar 2125 kg dengan lendutan 68,82 mm. Dengan dilakukannya analisa kuat lentur berdasar hasil pengujian pembebanan, maka diperoleh nilai kuat lentur kusen beton bertulang bentuk datar sebesar 29,6005 MPa, kuat lentur kusen beton bertulang bentuk lengkung sebesar 30,8525 MPa dan kuat lentur kusen kayu kamper sebesar 52,3236 MPa.

**Kata kunci:** Kuat lentur.

### ABSTRACT

*Concrete sill is one of the experiments that might support the government's program, namely the program of planting thousand trees, in order to preserve the sustainability of our green forest. The experiment that the researcher conducted was creating a sill from the concrete materials in such a way that the concrete sill might replace the function of the wooden sill. By mixing the water, the cement, the sand and the gravel, and by adding the steel bone, the researcher would like to expect that the concrete sill would be able to bear the load with the sufficient bending strength. In the study, the size of the concrete wood was 200 cm height and 80 cm width, the dimension of the concrete sill platform was 11.50 cm x 6.00 cm, the steel bone was 6.00 cm diameter and the ratio of mixture among the cement, the sand and the gravel was 1:3:2. A test was conducted toward two different forms of concrete sill and one wooden sill with the load that had been centered in the middle of the sill block. Based on the loading and the bending testing, the researcher found that the maximum load capacity of the flat-type bone concrete sill had been 561.500 kg and its bending deflection had been 23.910 mm, the maximum load capacity of the bended-type bone concrete sill had been 613.000 kg and its bending deflection had been 27.425 mm and the maximum load capacity of the camphor wooden sill had been 2125.000 kg and its bending deflection had been 68.820 mm. through the analysis of bending strength based on the results of load testing, the researcher found that the score of bending strength for the flat-type bone concrete sill had been 29.6005 MPa, the score of bending strength for the bended-type bone concrete sill had been 30.8525 MPa and the score of bending strength for the camphor wooden sill had been 52.3236 MPa.*

**Keywords:** Bending strength.

### 1. PENDAHULUAN

Kusen merupakan salah satu dari elemen non struktur yang hampir atau bahkan pada setiap bangunan bisa kita temui. Khusus pengembangan kusen beton telah dilakukan melalui usaha desa yang telah ada di daerah Magelang dan Yogyakarta, seperti di Kecamatan Salam, Kabupaten Magelang, Provinsi Jawa Tengah. Untuk mengurangi penggunaan kusen kayu dan disisi lain untuk menjaga kelestarian lingkungan maka kusen kayu perlu digantikan dengan kusen beton namun tetap menjaga fungsi dari kusen tersebut.

Penelitian ini untuk mengetahui kuat lentur, beban beton dan lendutan pada balok kusen dan kusen kayu, kusen beton yang lebih kuat berdasarkan bentuk baloknya, lebih efisien dipakai dibanding dengan kusen kayu dari sisi kekuatan dan juga harga.

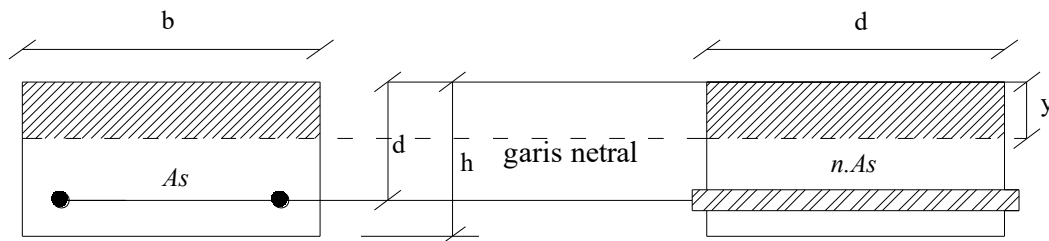
## 2. METODOLOGI

Pengujian dilakukan dengan memberikan beban di tengah bentang balok kusen. Tegangan lentur ini dikenal dengan istilah Modulus of Rupture (Murdok dan K.M. Brook, 1999). regangan tarik akan terjadi di bagian bawah dari penampang. Akibat beban maksimal yang terjadi pada bentang balok kusen beton maka menimbulkan adanya lendutan pada balok kusen beton. Nilai beban maksimal dan lendutan yang terjadi akibat pengujian beban terpusat pada bentang kusen dapat digunakan untuk mengetahui momen lentur yang terjadi pada balok kusen. Momen lentur didapatkan dengan analisa struktur pada kusen menggunakan aplikasi SAP2000 dengan mengabaikan berat sendiri balok maka diperoleh momen lentur di tengah bentang (di bawah P). Selanjutnya untuk kuat lentur dilakukan analisa Momen Inersia dengan metode transformasi penampang balok maka diperoleh nilai inersia penampang, dan kuat lentur balok dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\sigma = \frac{M.y}{I} \quad (1)$$

Dengan:  $\sigma$  = kuat lentur (MPa),  $M$  = momen lentur (Nmm),  $y$  = garis netral (mm),  $I$  = momen inersia ( $\text{m}^4$ )

Momen Inersia beton bertulang dan kayu jelas berbeda. Untuk dapat menentukan momen inersia beton bertulang digunakan metode pendekatan transformasi penampang seperti Gambar 2.1



Gambar 1. Sket penampang transformasi

Sesuai dengan SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.15.5, rasio modulus elastisitas penampang  $n = E_s/E_c$  dapat ditentukan sebagai angka pembulatan terdekat tetapi tidak boleh lebih kecil dari 6. Namun diperlukan lagi keseimbangan momen statis luasan daerah beton tekan dan luasan daerah tarik ekuivalen terhadap garis netral ( $y$ ):

$$y = \frac{n A_s}{b} \left[ \sqrt{\left(1 + \frac{2 b d}{n A_s}\right)} - 1 \right] \quad (2)$$

Momen inersia transformasi penampang  $I_{cr}$  adalah sebagai berikut:

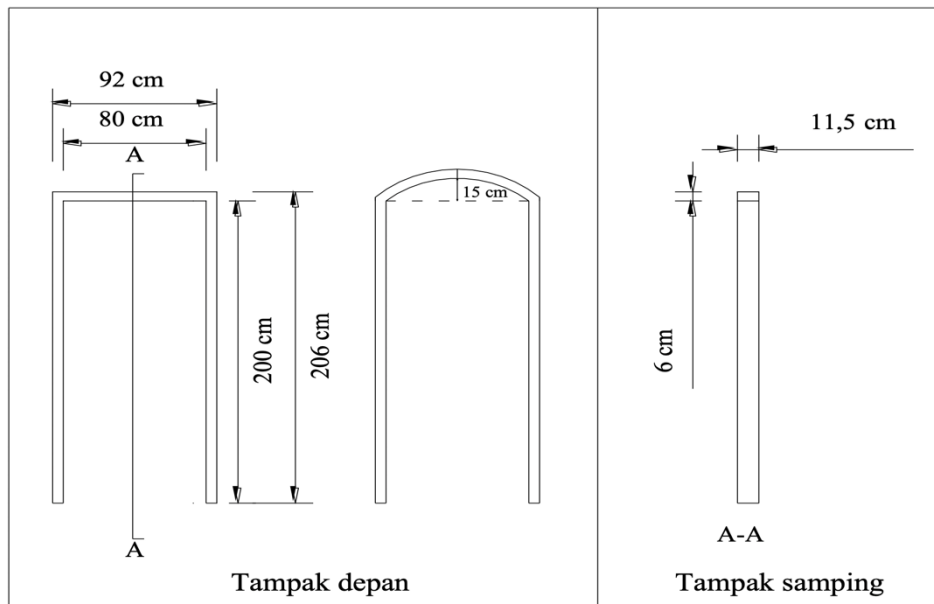
$$I_{cr} = 1/3 b y^3 + n A_s (d - y)^2 \quad (3)$$

Sedangkan untuk inersia kayu menggunakan persamaan:

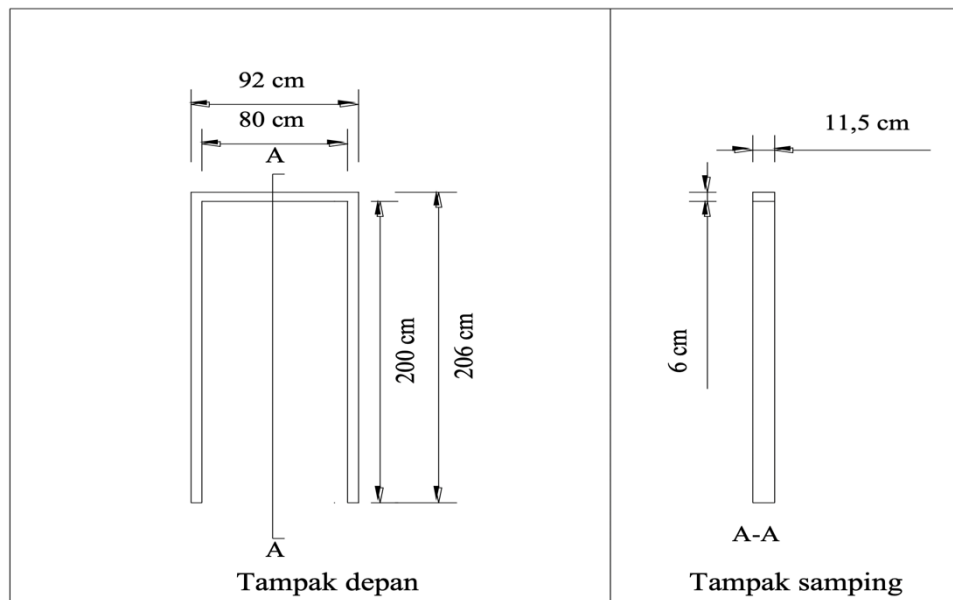
$$I = \frac{1}{12} b h^3 \quad (4)$$

### Benda Uji

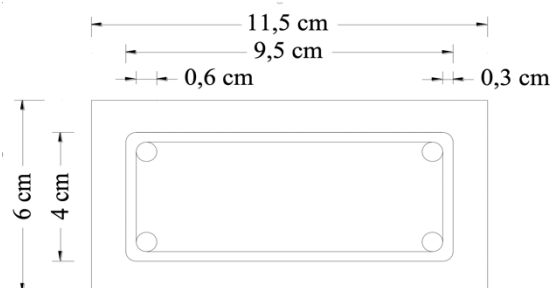
1. Silinder beton ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 3 (tiga) benda uji untuk pengujian kuat tekan beton.
2. Kusen beton bertulang ukuran 6 cm x 11,5 cm x 200 cm untuk benda uji kusen beton bentuk datar (Kb-D) sebanyak 3 (tiga) benda uji dan, 6 cm x 11,5 cm x 200 cm dengan tinggi lengkung 15 cm untuk kusen beton bentuk lengkung (Kb-L) sebanyak 3 (tiga) benda uji untuk pengujian beban terpusat maksimal dan lendutan. Sket benda uji dapat dilihat pada Gambar 2.
3. Kusen kayu bentuk datar (Kk) ukuran 6 cm x 11,5 cm x 200 cm sebanyak 1 (satu) benda uji untuk pengujian beban terpusat maksimal dan lendutan. Sket benda uji dapat dilihat pada Gambar 3.
4. Penulangan kusen beton ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 2. Sket benda uji kusen beton bentuk datar dan lengkung



Gambar 3. Sket benda uji kusen kayu



Gambar 4. Detail penulangan kusen beton

### Pengujian benda uji

1. Pengujian kuat tekan; dilaksanakan setelah benda uji berumur 28 hari dengan sampel sebanyak 3 buah. Pengujian dilakukan dengan menekan benda uji silinder yang sudah ditimbang beratnya dan sudah diukur dimensinya dengan mesin uji tekan sampai benda itu hancur.

2. Pengujian beban terpusat maksimal dan lendutan pada kusen beton dan kusen kayu; dilakukan setelah kusen beton berumur 28 hari. Pengujian menggunakan *loading frame* yang cukup tinggi untuk bisa menekan benda uji kusen secara vertikal dengan titik pembebanan di tengah bentang balok kusen sampai benda uji patah dengan tumpuan sendi-sendi.
3. Analisis kuat lentur kusen beton dan kusen kayu; didapat dengan melakukan analisis berdasarkan hasil-hasil pengujian. Momen yang diperlukan untuk menganalisa kuat lentur diperoleh dengan cara analisa SAP2000 seperti analisa portal dengan mengabaikan berat penampang benda uji. Beban maksimal yang telah diperoleh saat pengujian dipergunakan untuk mencari momen lenturnya yang dengan melakukan metode transformasi penampang maka kuat lenturnya dapat diperoleh.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Agregat Halus

Hasil pemeriksaan agregat halus yang berasal dari lereng Gunung Merapi, dapat disimpulkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pemeriksaan agregat halus.

No	Jenis pemeriksaan	Hasil	Satuan
1	Berat Jenis (kering oven)	2,6	gr/cm <sup>3</sup>
2	Berat jenis SSD	2,65	gr/cm <sup>3</sup>
3	Daya serap air	0,2	%
4	Berat satuan	1,404	gr/cm <sup>3</sup>
5	Modulus halus butir pasir	3,1	-

#### Agregat Kasar

Hasil pemeriksaan agregat kasar yang berasal dari lereng Gunung Merapi yang telah diolah melalui proses penggilangan, disimpulkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pemeriksaan agregat kasar.

No	Jenis pemeriksaan	Hasil	Satuan
1	Berat jenis	2,6	gr/cm <sup>3</sup>
2	Berat satuan	1,383	gr/cm <sup>3</sup>
3	Penyerapan	1,47	%

#### Baja Tulangan

Sifat baja tulangan yang digunakan dalam analisis dan perencanaan beton bertulang adalah nilai tegangan luluh ( $f_y$ ) dan nilai modulus elastisitas ( $E_s$ ). Untuk memperoleh nilai-nilai tersebut, maka dilakukan pemeriksaan uji tarik baja tulangan polos diameter 6 mm yang digunakan pada benda uji kusen beton, seperti Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan.

No	Diameter (mm)	Simbol	Kuat tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	Tegangan luluh (kg/mm <sup>2</sup> )	Regangan minimum (%)
1	6	BJTP 24	39	29,71	24

#### Campuran (*Mix Design*) Beton

Kebutuhan material yang dibutuhkan untuk adukan beton rencana benda uji kusen beton dan silinder dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kebutuhan material untuk benda uji pada 0,22 m<sup>3</sup>

No	Material	Kebutuhan Material (kg)	
		Tiap m <sup>3</sup> (2300 kg) (kg)	Untuk 0,22 m <sup>3</sup> (kg)
1	Air	162,374	35,73
2	Semen	324,749	71,44
3	Pasir	1094,27	240,74
4	Kerikil	718,60	158,09

#### Pengujian Silinder Beton

1. Berat jenis; dilakukan terhadap benda uji silinder beton pada saat benda uji berumur 28 hari. Sebelum diuji kuat tekannya dihitung berat jenisnya yaitu berat beton per satuan volume dan diperoleh hasil seperti terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengujian berat jenis beton

No	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Berat (gr)	Volume Beton (cm <sup>3</sup> )	Berat Jenis (gr/cm <sup>3</sup> )	Rata-rata (gr/cm <sup>3</sup> )
1	15	30	11031	5298,75	2,082	2,306
2	15	30	12731	5298,75	2,403	
3	15	30	12888	5298,75	2,432	

2. Kuat tekan; data hasil pengujian kuat tekan rata-rata dari 3 (tiga) benda uji silinder beton, seperti Tabel 6, maka didapatkan nilai modulus elastisitas ( $E_c$ ) betonnya. Nilai modulus elastisitas ( $E_c$ ) ini sangat penting dalam analisis dan perencanaan beton bertulang.

Tabel 6. Hasil pengujian kuat tekan beton

No	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Berat (cm)	Beban Maks (N)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	15	30	11031	226,13	12,885	11,962
2	15	30	12731	249,84	13,723	
3	15	30	12888	162,84	9,278	

### Lendutan Dan Beban Maksimal Pada Balok Kusen Kayu Kamper

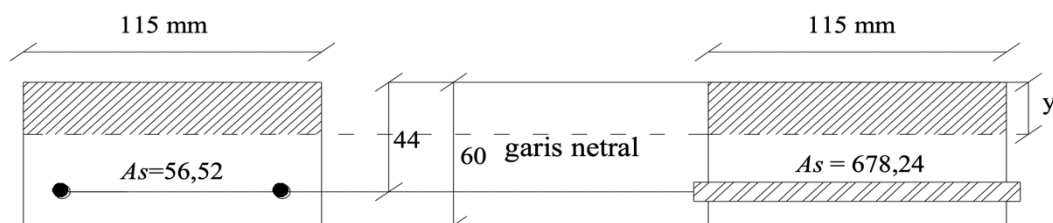
Pengujian pembebanan terhadap kusen benda uji dilakukan setelah umur 28 hari. Pembebanan yang dilakukan adalah beban terpusat di tengah bentang balok pada kusen. Hasil pengujian dapat terbaca secara digital pada alat *Portable Data Logger* yang disambung dengan kabel pada alat Pompa *Hydrolic Jack* untuk uji beban dan LVDT untuk pengujian lendutan sehingga hasil pengujian lebih akurat. Dari hasil pengujian beban terpusat dan lendutan pada setiap benda uji kusen beton dan kusen kayu, maka didapat hasil rata-rata beban dan lendutan pada Tabel 7, yang membuktikan bahwa kusen beton bentuk lengkung dapat memikul beban yang lebih besar dibanding dengan kusen beton bentuk datar dengan kapasitas memikul beban rata-rata sebesar 613 kg dengan lendutan sebesar 27,425 mm, sedangkan kapasitas dari kusen beton bentuk datar rata-rata sebesar 561,5 kg dengan lendutan sebesar 23,91 mm. Bila beban maksimum dan lendutan yang terjadi pada kusen beton dan kusen kayu dibandingkan, maka berdasarkan hasil pengujian membuktikan bahwa kusen kayu kamper tidak mudah patah dan dapat memikul beban yang lebih besar dibanding dengan kusen beton dikarenakan kekuatan tarik kayu terletak bila arah tarik searah serat-serat yang terdapat pada kayu kamper yang tergolong dalam Kelas Kuat II-I sehingga dapat memikul beban lebih besar dibanding kusen beton yang hanya mengandalkan baja tulangan diameter 6 mm dengan tegangan luluh ( $f_y$ ) sebesar 29,71 kg/mm<sup>2</sup>.

Tabel 7. Hasil beban dan lendutan rerata kusen beton dan kusen kayu

No	Kode	Beban maksimal (Kg)	Rata-rata (Kg)	Lendutan (mm)	Rata-rata (mm)
1	Kb-D-1	579	561,5	23,03	23,91
2	Kb-D-2	544		24,79	
3	Kb-L-1	597	613	26,46	27,425
4	Kb-L-2	629		28,39	
5	kk	2125	2125	68,82	68,82

### Kuat Lentur Kusen Beton Dan Kusen Kayu

Kuat lentur balok kusen beton dan kusen kayu didapat dari momen lentur setiap benda uji yang dianalisa dengan aplikasi SAP2000 berdasarkan beban maksimum yang didapatkan pada hasil pengujian setiap benda uji. Berdasarkan hasil analisa menggunakan SAP2000 dengan mengabaikan berat sendiri dari luas penampang, dan didasarkan pada beban maksimal rata-rata benda uji kusen maka momen lentur didapat yang kemudian digunakan untuk menghitung kuat lenturnya dengan  $I_{cr}$  dan  $I_g$ . Nilai kuat lentur balok kusen dapat dilihat pada Tabel 8 dan Tabel 9. Sket penampang kusen yang digunakan untuk uji kuat lentur ditunjukkan Gambar 5.



Gambar 5. Sket penampang transformasi balok kusen beton

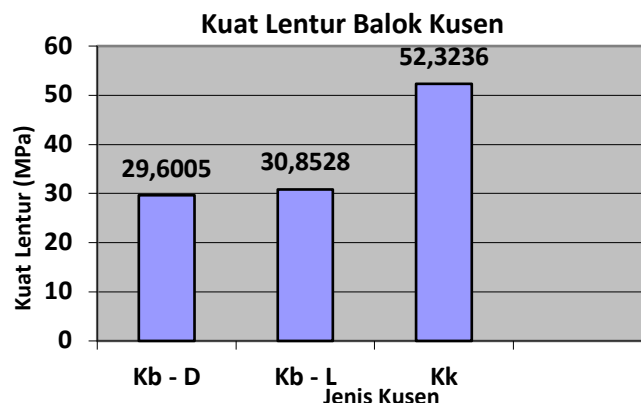
Berdasarkan perbandingan hasil analisa kuat lentur rata-rata balok kusen pada Tabel 8 dan Tabel 9, maka dapat diketahui nilai kontribusi baja tulangan dalam menahan kuat lentur pada masing-masing kusen. Kontribusi baja tulangan pada kusen beton bertulang bentuk datar sebesar 4,3% dan kontribusi baja tulangan pada kusen beton bertulang bentuk lengkung sebesar 0,72%. Dari hasil analisa tersebut menunjukkan bahwa kuat lentur kusen beton bertulang bentuk datar sangat dipengaruhi oleh baja tulangan yang ada di dalamnya, sedangkan pada kusen beton bertulang bentuk lengkung kontribusi tulangan baja kecil karena bentuk lengkungan pada balok kusen lengkung pada dasarnya mampu menahan gaya aksial tekan dan beton merupakan material yang baik dalam menahan tekan, seperti Gambar 6.

Tabel 8. Hasil analisa kuat lentur balok kusen berdasarkan  $I_{cr}$

No	Kode	Momen Lentur (Nmm)	Kuat Lentur (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	Kb-D-1	1015691,84	30,502	29,6005
2	Kb-D-2	955672,09	28,699	
3	Kb-L-1	1001129,17	30,065	30,8525
4	Kb-L-2	1053597,01	31,64	
5	Kk	3610330,81	52,3236	52,3236

Tabel 9. Hasil analisa kuat lentur balok kusen berdasarkan  $I_g$

No	Kode	Momen Lentur (Nmm)	Kuat Lentur (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	Kb-D-1	983708,96	29	28,378
2	Kb-D-2	924244,69	27,7561	
3	Kb-L-1	993646,35	29,8403	30,631
4	Kb-L-2	1046313,16	31,4420	
5	Kk	3610330,81	52,3236	52,3236



Gambar 6. Diagram kuat lentur balok kusen

### Keretakan Kusen

Akibat beban yang bekerja pada balok kusen mengakibatkan terjadinya retakan di tengah bentang balok tepat di bawah titik beban terpusat dan retakan di ujung balok maupun di ujung tiang dekat sambungannya.

### Tinjauan Aspek Ekonomis

Perhitungan kebutuhan bahan untuk memproduksi 1 (satu) kusen beton bertulang dapat dilihat pada Tabel 10. Harga bahan dan satuan bangunan yang diambil berdasarkan Pusat Informasi Pengembangan Pemukiman & Bangunan (PIP2B) tahun 2016 dari Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan & Energi Sumber Daya Mineral Provinsi DIY. Dengan sebagai pembanding untuk menganalisa nilai ekonomi dari kusen beton bertulang digunakan kusen dari bahan bangunan kayu kamper.

Tabel 10. Tinjauan harga kusen beton dan kusen kayu

Lampiran 16: Perhitungan harga kusen beton dan kusen kayu						
Jenis	Bahan	Volume Bahan	Satuan	Harga satuan (Rp)	Upah/kusen (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Kusen Bentuk Datar	Semen	11,924	Kg	1.200	67.000	14.308,8
	Pasir	0,0162	M <sup>3</sup>	165.000		2.673
	Kerikil	0,0106	M <sup>3</sup>	265.000		2.809
	Tulangan	20,50	M'	1.833,3		37.582,65
	Triplex (9 mm)	1	Lembar	110.000		110.000
Total jumlah						Rp.234.373,45
Kusen Bentuk Lengkung	Semen	10,76	Kg	1.200	67.000	12.912
	Pasir	0,0158	M <sup>3</sup>	165.000		2.607
	Kerikil	0,0104	M <sup>3</sup>	265.000		2.756
	Tulangan	20,50	M'	1.833,3		37.582,65
	Triplex (9 mm)	1	Lembar	110.000		110.000
Total jumlah						Rp 232.857,65

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian pembebanan terpusat pada bentang balok kusen dan analisis pada benda uji kusen beton bertulang bentuk datar, kusen beton bertulang bentuk lengkung, dan kusen kayu kamper dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kuat lentur rata-rata kusen beton bertulang bentuk datar sebesar 29,6005 Mpa. Kuat lentur rata-rata kusen beton bertulang bentuk lengkung sebesar 30,8525 MPa. Kuat lentur kusen kayu kamper sebesar 52,3236 MPa.
2. Lendutan rata-rata pada balok kusen beton bertulang bentuk datar sebesar 23,91 mm. Lendutan rata-rata pada balok kusen beton bertulang bentuk lengkung sebesar 27,425 mm. Lendutan pada balok kusen kayu kamper sebesar 68,82 mm.
3. Beban maksimal rata-rata kusen beton bertulang bentuk datar sebesar 561,5 kg. Beban maksimal rata-rata kusen beton bertulang bentuk lengkung sebesar 613 kg. Beban maksimal kusen kayu kamper sebesar 2125 kg.
4. Ditinjau dari aspek ekonomi berdasarkan harga bahan dan satuan Daerah Istimewa Yogyakarta, harga pembuatan kusen beton bertulang bentuk datar sebesar 234.373,45 rupiah. Harga pembuatan kusen beton bertulang bentuk lengkung sebesar 232.857,65 rupiah. Harga beli kusen kayu kamper sebesar 400.000 rupiah.
5. Pada kusen beton bertulang, bentuk balok kusen mempengaruhi kekuatan lentur balok kusen dalam menahan beban. Kusen beton bertulang bentuk lengkung lebih kuat menahan beban dibanding kusen beton bertulang bentuk datar karena pengaruh gaya aksial tekan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1989, Spesifikasi Ukuran Kusen Pintu Kayu, Kusen Jendela Kayu, Daun Pintu Kayu dan Daun Jendela Kayu Untuk Bangunan Rumah dan Gedung (SNI 03-0675-1989), Yayasan LPMB, Bandung.
- Said, 2006. Pemanfaatan Serbuk Kayu Jati Untuk Kusen Beton Dengan Menggunakan Semen Portland Putih. (Tidak Untuk Dipublikasikan)
- Hariyani, 2006. Pemanfaatan Serbuk Gergajian Kayu Jati Untuk Kusen Beton. (Tidak Untuk Dipublikasikan).
- Murdock, L.J., (1999). Brook, K.M., (1999). Bahan dan Praktek Beton, Erlangga, Jakarta.
- Wang C.K. Salmon, C.G., (terjemahan : Binsar Harianja), 1989, Desain Beton Bertulang, Jilid 1, Ed. 4, Erlangga, Jakarta.
- Dipohusodo, I., 1994. Struktur Beton Bertulang, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Tjokrodinuljo, K., 2004, Buku Ajar Teknologi Beton, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Harianja, J.Andar. Zebua, M.P., 2014. Kajian Kekuatan Dan Defleksi Balok Beton Dengan Modifikasi Tulangan Lentur. (Tidak Untuk Dipublikasikan).
- PIP2B. Daftar Harga Bahan & Satuan Bangunan. [http://pip2bdy.com/info\\_harga.php](http://pip2bdy.com/info_harga.php). Diakses pada tanggal 25 Juli 2016.