BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Bahan Penyusun

Dalam penelitian ini pembuatan *Mix Desain* berpedoman dengan BSN, (2000). Pembuatan *mix desain* pada penelitian ini berpodoman pada tipe benda uji yang akan dibuat yaitu balok beton. Sebelum membuat *mix desain* langkah yang dilakukan yaitu melakukan pengujian sifat material penyusun yang bertujuan agar material penyusun beton menunjukan hasil yang baik. Material yang diuji dalam penelitian ini berupa agregat halus dan agregat kasar. Pengujian material dilakukan sesuai mekanisme dan tata cara sesuai dengan standar pengujian yang telah ditentukan. Pada pengujian ini dilakukan pengujian beton segar sebagai cara untuk mengetahui kekentalan sebuah adonan beton dengan menggunakan pengjian *Slump Beton*. Adapun hasil yang didapat dari pengujian sifat material dan pengujian beton segar (*fresh properties)* sebagai berikut.

4.1.1 Hasil Peneriksaan Sifat Agregat Halus (Pasir)

4.1.1.1 Hasil Pengujian Gradasi Butiran

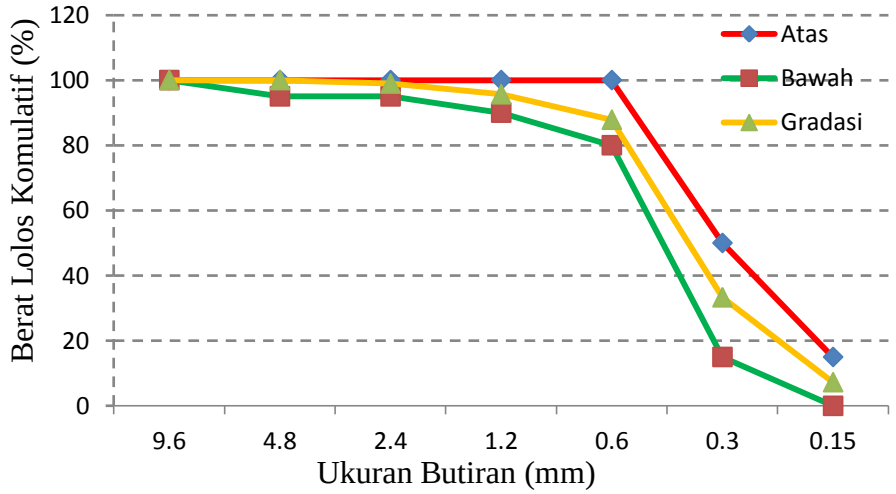
Hasil pemeriksaan gradasi butiran yang dilakukan terhadap pasir yang bersumber daru Sungai Progo telah memenuhi standar ASTM, (1986) yang dapat dilihat pada tabel 4.1 yang memaparkan hasil daerah gradasi butiran dan gambar 4.1 serta hasil pemeriksaan dan dan perhitungan selengkapnya pada lampiran 1.

4.1.1.2 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus (pasir)

Hasil pengujian kadar air pada agregat halus (pasir) mendapat kadar air rata-rata sebesar 1,5%. Hasil pengujian kadar air menunjukan masuk dalam syarat kadar air agregat halus yaitu 1%-2% (Tjokrodimuljo, 2010). Hasil pemeriksaan dan perhitungan selengkapnya pada lampiran 2.

Tabel 4.1 Hasil pemeriksaan gradasi butiran pada agregat halus (pasir)

Ukuran	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertahan (gram)	Persen Berat Tertahan (%)	Persen berat Tertahan Komulatif (%)	Persen Berat lolos Komulatif (%)
No. 4	4,8	0	0	0	100
No. 8	2,4	10,51	1,051	1,051	98,949
No. 16	1,2	33	3,30	4,351	95,649
No. 30	0,6	78,11	7,811	12,162	87,838
No. 50	0,3	545,2	54,52	66,682	33,318
No. 100	0,15	260,48	26,048	92,73	7,27
Pan		72,7	7,27		
Total		1000	100	176,976	
Rata-rata			1,77		



Gambar 4.1 Hasil gradasi butiran agregat halus (ASTM, 1986)

4.1.1.3 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus (pasir)

Kadar lumpur sangan mempengaruhi kekuatan dari beton, maka sebaiknya agregat halus memliki kadar lumpur yang kecil. Dalam penelitian ini hasil kadar lumpur pada agregat halus memperoleh nilai sebesar 1% dan rata-rata kadar lumpur sebesar 0,8% dimana hasil tersebut lebih kecil dari syarat kadar lumpur pada BSN, (1989b) dimana tertulis batas yang ditetapkan sebesar 5%. Hasil pemeriksaan dan perhitungan selengkapnya pada lampiran 5.

4.1.1.4 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus (pasir)

Hasil pengujian berat jenis, didapat nilai jenuh kering muka sebesar 2,702% dengan rata-rata sebesar 2.63%. Menurut Tjokrodimuljo, (2010) Agregat

dibedakan menjadi 3 jenis, sesuai dengan berat jenisnya yaitu agregat normal, berat dan ringan. Agregat normal sendiri didevinisikan sesuai berat jenisnya yaitu antara 2,5%-2,7%, sedangkan agregat berat biasanya berat jenisnya bernilai lebih dari 2,8% dan agregat ringan sendiri didevinisikan mempunyai berat jenis kurang dari 2,0 %. Tabel hasil berat jenis yang tertera pada tabel 4.2. Hasil pemeriksaan dan perhitungan selengkapnya pada lampiran 3.

4.1.1.5 Hasil Pengujian Berat Satuan Agregat Halus (pasir)

Pemeriksaan berat satuan dilakukan pada pasir dengan keadaan SSD *(saturated surface dry)* dan diperoleh hasil berat satuan SSD sebesar 1,604 gram/cm^3. Menurut Tjokrodimuljo, (2010) berat satuan didevinisikan memilik berat 1,50-1,80 gram/cm^{3}sebagai agregat normal. Hasil pemeriksaan dan perhitungan selengkapnya pada lampiran 4.

Tabel 4.2 Hasil Pemeriksaan pada Agregat Halus

Pengujian	Satuan	penilaian
Gradasi	-	Memenuhi Standar ASTM
Kadar Lumpur	%	1
Kadar air	%	1,3
Berat Jenis	-	2,63
Penyerapan Air	%	5,26
Berat Satuan	gr/cm^3	1,604

4.1.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

4.1.2.1Hasil Pengujian Kadar Lumpur (Kerikil)

Pengujian kadar lumpur dilakukan karena lumpur dapat bepengaruh pada kekuatan beton. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini kadar lumpur pada agregat kasar mendapatkan nilai sebesar 3,2 % yang melebihi batas maksimal kadar lumpur yang ditetapkan olah (BSN, 1989b) yaitu sebesar 1%, karena melebihi batas maksimal yang ditentukan maka agregat kasar harus dicuci hingga kandungan lumpurnya hilang atau berkurang sebelum diguunakan. Hasil pemeriksaan dan perhitungan selengkapnya pada lampiran 7.

4.1.2.2Hasil Pengujian Kadar Air (Kerikil)

Menurut BSN, (2002) kadar air maksimal pada nilai 2%. Dalam penelitian ini agregat yang digunakan adalah batu pecah dai Clereng yang mempunyai nilai kadar air sebesar 1,33 % yang dimana masuk dalam syarat BSN, (2002). Hasil pemeriksaan dan perhitungan selengkapnya pada lampiran 8.

4.1.2.3Hasil Pengujian Keausan Agregat (Kerikil)

Keausa agregat diuji menggunakan mesin *Los Angeles*, batu pecah asal Clereng yang digunakan dala penelitian ini memiliki ukuran 10mm atau 1 cm : 1 cm. Dalam pengujian keausan ini dilakukan dengan mesin *Los Angeles* yang berada di Laboratorium dengan hasil 18,3%, maka sesuai hasil yang didapat agregat ini tidak melebihi batas yang telah ditetapkan (40%). Hasil pemeriksaan dan perhitungan selengkapnya pada lampiran 9.

4.1.2.4 Hasil Pengujian Berat Jenis (Kerikil)

Menutur Tjokrodimuljo, (2010) agregat dibedaian menjadi 3 jenis sesuai berat jenisnya yaitu agregat normal, berat dan ringan. Agregat normal mempunyai nilai berat jenis sebesar 2,5-2,7 , agregat berat mempunyai nilai berat jenis lebih dari 2,8 dan agregat ringan mempunyai nilai sebesar kurang dari 2,0. Hasil yang diperoleh dari pengujian berat jenis ini menunjukan nilai sebesar 2,57 dimana menunjukan agregat yang berasal dari Clereng pada area normal. Hasil pengujian agregat kasar dapat dilihat pada tabel 4.3. Hasil pemeriksaan dan perhitungan selengkapnya pada lampiran 6.

4.1.2.5 Hasil Pengujian Berat Satuan (Kerikil)

Berat satuan menurut Tjokrodimuljo, (2010) adalah berat agregat yang dihitung dalam satu wadah (bejana) dengan berat satuan normal mempunyai nilai sebesar 1,50-1,80 gram/cm^3, yang berfungsi agar mengetahui bahwa berat satuan termasuk dalam porous atau mampat yang berpengaruh pada kuat tekan beton. Hasil yang didapatkan dalam penelitian ini menunjukan nilai sebesar 1,452 gram/cm^3. Hasil pemeriksaan dan perhitungan selengkapnya pada lampiran 10.

Tabel 4.3 hasil pengujian pada agregat kasar

Pengujian	Satuan	penilaian
Kadar Lumpur	%	3,2
Kadar Air	%	1,33
Keausan Agregat	%	18,35
Berat Jenis	-	2,57
Penyerapan air	%	1,561
Berat Satuan	gr/cm^3	1,452

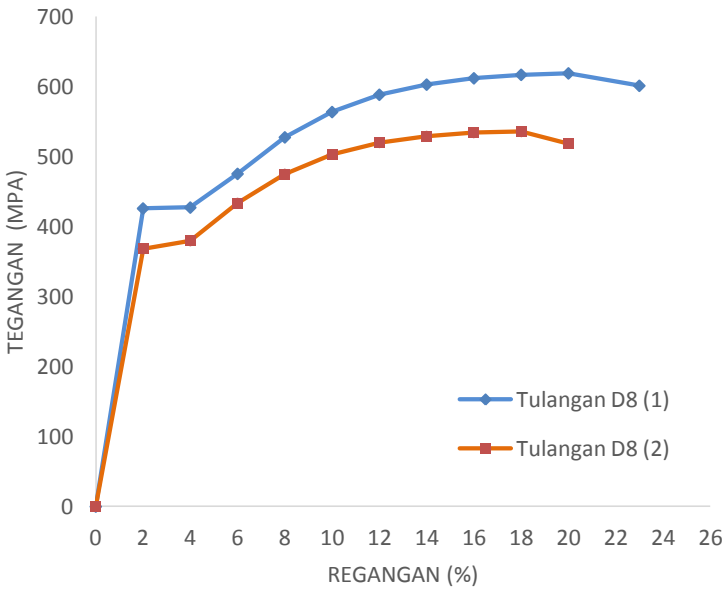
4.2 Hasil Kuat Tarik Baja

Pada penelitian ini digunakan 2 buah tipe tulangan, yaitu 4D8 sebagai tulangan utama dan 4D6 sebagai sengkang. Menurut hasil pengujian di laboratorium, pengujian Tulangan baja dengan dimensi D8 diuji secara berturut-turut dan mencapail titil leleh sebesar 43,42 kg/m^2 dan 37,53 kg/m^2, sedangkan tulangan D6 memperoleh titik leleh sebesar 27,21 kg/m^2 dan 34,09 kg/m^2. Dari hasil yang telah didapat, maka tulangan D8 pertama masuk dalam klasifikasi kelas baja BJTP 30, sedangkan D8 kedua masuk dalam klasifikasi kelas baja BJTP 24. Kemudian untuk tulangan D6 pertama masuk kedalam klasifikasi kelas baja BJTP 24 dan tulangan D6 kedua masuk kedalam klasifikasi kelas baja BJTP 24, tulangan baja dengan dimendi D6 mempunyai klasifikasi kelas yang sama. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.4 dan untuk grafik hubungan tegangan dan regangan dapat dilihat dalam gambar 4.2 dan 4.3. hasil pemeriksaan pada lampiran 14.

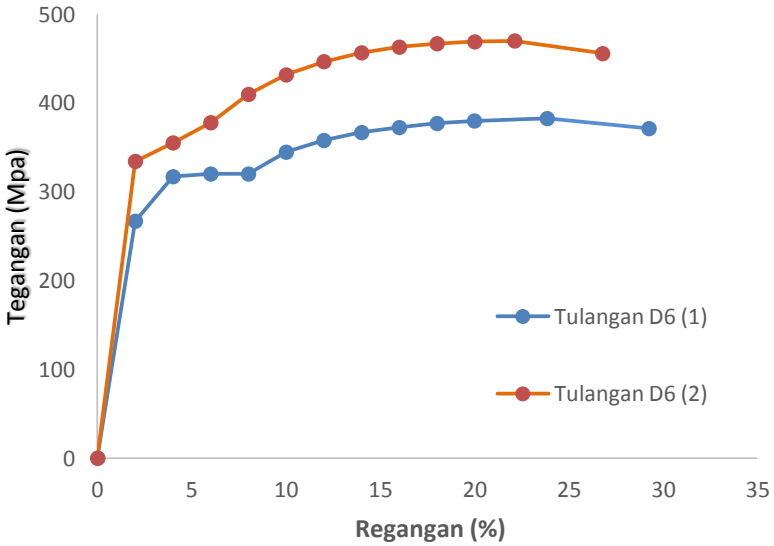
Tabel 4.4 Sifat Mekanisme Baja (BSN, 2002)

Kelas baja tulanngan	No. Batang uji	Uji Tarik			Uji Lengkung	
		Batas ulur Kgf/mm^2 (N/mm^2)	Kuat tarik Kgf/mm^2 (N/mm^2)	Regangan (%)	Sudut lengkung	Diameter perlengkung
BJTP24	no. 2 no. 3	Minimum 24 (235)	Minimum 39 (380)	20 24	180°	$3 \times d$
BJTP30	no. 2 no. 3	Minumam 30 (295)	Minimum 45 (440)	18 20	180°	d > 16 = 3 × d d > 16 = 4 × d
BJTP30	no. 2 no. 3	Minumam 30 (295)	Minimum 45 (440)	10 18	180°	d > 16 = 3 × d d > 16 = 4 × d
BJTP35	no. 2 no. 3	Minimum 35 (345)	Minimum 50 (490)	18 20	180°	d ≥16 = 3 × d 16<d≤40 = 4×d d ≥40 = 5 × d
BJTP40	no. 2 no. 3	Minimum 40 (390)	Minimum 57 (500)	16 18	180°	$5 \times d$
BJTP50	no. 2 no. 3	Minimum 50 (490)	Minimum 57 (620)	12 24	180°	d ≤ 25 = 5 × d d > 25 = 6 × d

Sumber : (BSN, 2002)



Gambar 4.2 Grafik hubungan antara Tegangan dan Regangan tulangan D8



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara Tegangan dan Regangan tulangan D6

4.3 Hasil Penelitian Utama

4.3.1 Hasil Pengujian Beton Segar (fresh properties)

Pengujian slump dilakukan sebelum dimasukan kedalam bekisting agar mengetahui sifat beton segar dan kekentalan campuran beton itu sendiri. Dari rata-rata hasil uji slump beton segar dalam penelitian ini didapat nilai sebesar 10±2 tertera pada gambar 4.4, 4.5 dan 4.6.

Gambar 4.4 Hasil pengujian Slump beton 1

Gambar 4.5 Hasil pengujian Slump beton 2

Gambar 4.6 Hasil pengujian Slump beton 3

4.3.2 Hasil Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur balok bertulang ini dilakukan pada umur 28 hari. Pengujian kuat lentur balok beton tanpa sambungan atau balok normal sebagai kontrol didapatkan nilai kuat lentur sebesar 7,74 MPa, 7,30 MPa dan 7,66 dengan rata-rata sebesar 7,57 MPa. Pengujian kuat lentur balok beton dengan sambungan yang ditambahkan lem perekat beton pada area sambungan atau sambungan dengan SikaCim Bonding Adhesive didapatkan nilai kuat lentur sebesar 6,70 MPa, 6,39 Mpa dan 7,29 MPa dengan rata-rata sebesar 6,79 MPa. Pengujian kuat lentur balok beton yang terakhir yaitu balok beton sambngan tanpa ditambahkan lem perekat beton pada area sambungan didapatkan nilai kuat lentur sebesar 5,47 MPa, 5,25 MPa dan 5,60 MPa dengan nilai kuat lentur rata-rata sebesar 5,44 MPa. Hasil benda uji dapat dilihat pada tabel 4.5 da 4.6. Hasil kuat lentur dapat dilihat pada lampiran13.

Tabel 4.5 Hasil Kuat Lentur 9 Benda Uji

Jenis Beton	Kode	Peak Point (kg)	demensi (cm)		
			b	h	L
Beton Sambungan non Sikacim Bonding adhesive	A1	3429	155	155	605
	A2	3295.5	155	155	605
	A3	3515.10	155	155	605
Beton sambungan Sikacim Bonding Adhesive	B1	4031.70	152	152	595
	B2	4108.95	155	155	590
	B3	4245.30	151	151	603
Beton Normal	C1	4437.6	150	150	600
	C2	4183.80	150	150	600
	C3	4393.80	150	150	600

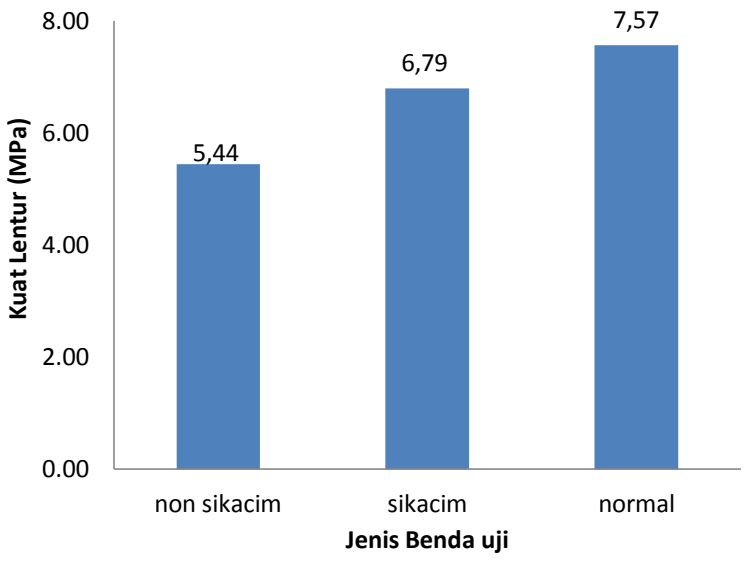
Tabel 4.6 Lanjutan Hasil Kuat Lentur 9 Benda Uji

Peak Point (Newton)	Tegangan lentur (Mpa)	Rata-rata Kuat Lentur (Mpa)
33638.49	5.47	
32328.86	5.25	5.44
34483.13	5.60	
39550.98	6.70	
40308.80	6.39	6.79
41646.39	7.29	
43532.86	7.74	
41043.08	7.30	7.57
43103.18	7.66	

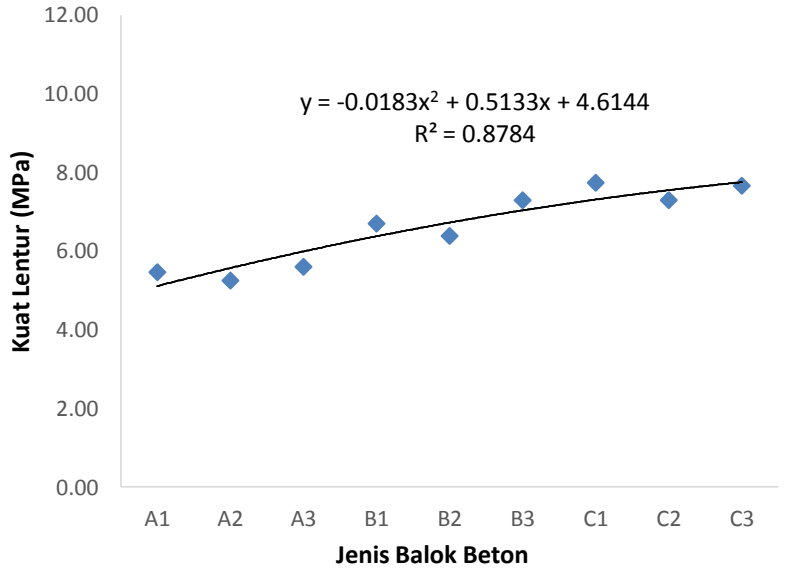
Pembahasan hasil dari pengujian kuat lentur didapatan grafik kuat lentur pada gambar 4.7 sebagai grafik perbandingan kuat lentur rata-rata pada setiap variasi, dan grafik regresi polynomial dapat dilihat pada gambar 4.8 dengan pengingkatan tegangan lentur rata-rata setiap variasi.

4.3.2.1 Pembahasan Perbandingan Kuat Lentur

Berdasakan gambar 4.7 menunjukan hasil kuat tekan rata-rata pada 3 jenis balok, dimana pengujian balok beton pertama yaitu balok beton sambungan tanpa menggunakan lem perekat beton SikaCim Bonding Adhesive menunjukan rata-rata tegangan lentur 5,44 MPa, dikarenakan proses sambungan yang tidak menggunakan lem perekat beton SikaCim Bonding Adhesive sehingga kuat tekan yang didapatkan bernilai kecil. Pada hasil pengujian benda uji kedua yaitu balok beton sambungan menggunakan lem perekat beton SikaCim Bonding Adhesive menunjukan tegangan lentur rata-rata sebesar 6,79 MPa dikarenakan proses penyambungan yang sempurna dengan menggunakan lem perekat SikaCim Bonding Adhesive menjadikan hasil yang mendekati sempurna dengan balok beton normal tanpa sambungan. Hasil penelitian yang ketiga yaitu balok beton normal tanpa sambungan sebagai kontrol menunjukan hasil 7,57 MPa. Hasil grafik dapat dilihat pada gambar 4.8 tentang grafik polynomial peningkatan kuat lentur terhadap jenis balok beton. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.5-4.6.



Gambar 4.7 Perbandingan kuat lentur rata-rata terhadap jenis balok beton



Gambar 4.8 Grafik Regresi Polinomial peningkatan kuat lentur terhadap jenis balok

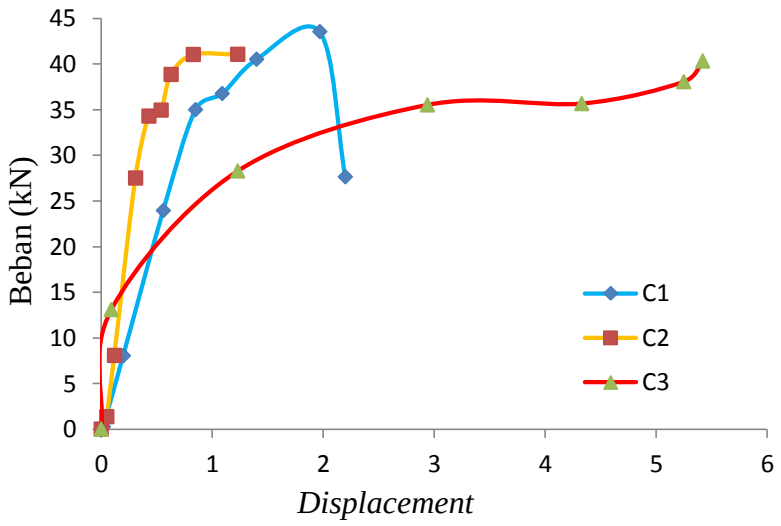
4.3.2.2 Pembahasan Perbandingan Antara Hubungan Beban dan *Displacement*

Pada hasil kuat lentur beton sambungan dan beton normal didapatkan perbandingan antara hubungan beban dan *displacement* atau disebut dengan waktu terjadinya lendutan balok, hasil grafik dapat dilihat pada gambar 4.9, gambar 4.10 dan gambar 4.11 yang mana waktu lendutan terlama didapat dari nilai jenis beton BSNS (Beton Sambungan non SikaCim) dan dapat dilihat pada gambar 4.12 sebagai perbandingan antara jenis belok beton dengan lendutan rata-ratanya.

Beban yang diberikan kepada balok beton sambungan dengan sika (BNTS) didapatkan beban tertinggi dari benda uji ke 1 yaitu balok C1 dengan beban maksimal sebesar 43,5329 kN dengan *displacement* sebesar 2,42 mm. Benda uji C2 dan C3 didapat nilai beban maksimal 41,0430 kN dan 43,1031 kN dengan nilai displacement sebesar 1,23 mm dan 5,42 mm. Hasil *displacement* C3 mendapatkan nilai yang tinggi, diakarenakan permukaan yang tidak rata pada bagian benda uji dan rongga yang mengisi juga mempengaruhi nilai *displacement* yang tinggi. Disamping itu juga saat pengujian pembacaan *dial gauge* tidak terbaca benar atau berputar tidak searah jarum jam, sehingga hasil pembacan *dial gauge* tidak tepat, dan pengujian harus diulang kembali untuk mendapatkan hasil yang tepat. Nilai hubungan beban dan displacement dapat dilihat pada tabel 4.7 dan gambar 4.9.

Tabel 4.7 Hubungsn antara beban dengan displacement balok BNTS

Nama Benda Uji	Beban Maks (kN)	*Displacement* (mm)
C1	43,5329	2,24
C2	41,0431	1,23
C3	43,1032	5,42



Gambar 4.9 Hubungan antara beban dengan Displacment balok BNTS

Beban yang diberikan kepada balok beton sambungan dengan sika (BSDS) didapatkan beban tertinggi dari benda uji ke 3 yaitu balok B3 dengan beban maksimal sebesar 41,6473 kN dengan *displacement* sebesar 4,65 mm. Benda uji B1

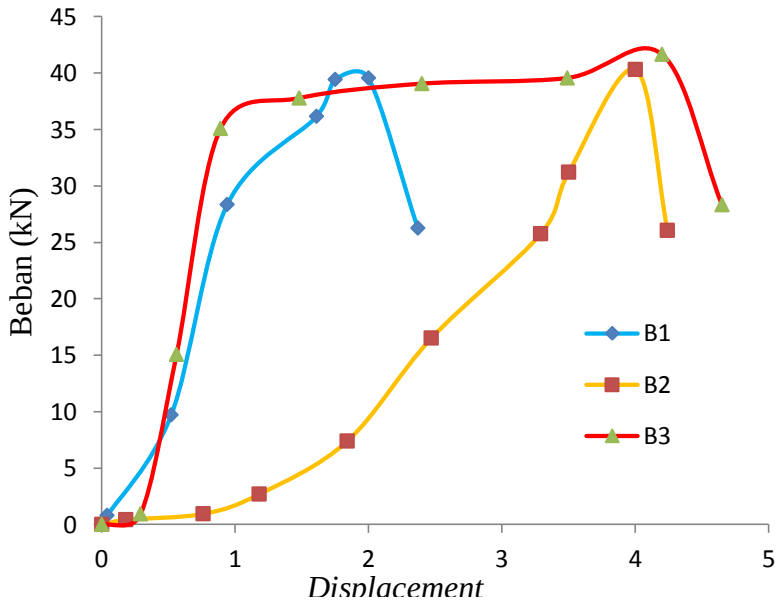
dan B2 didapat nilai beban maksimal 39,5509 kN dan 40,3087 kN dengan nilai displacement sebesar 2,37 mm dan 4,24 mm. Nilai hubungan beban dan displacement dapat dilihat pada tabel 4.8 dan gambar 4.10.

Tabel 4.8 Hubungan antara beban dengan Displacment balok BSDS

Nama Benda Uji	Beban Maks (kN)	*Displacement* (mm)
B1	39,5509	2,37
B2	40,3087	4,24
B3	41,6473	4,65

Dari beban yang diberikan kepada balok normal sambungan tanpa sika (BSTS) didapatkan beban tertinggi dari benda uji ke 3 yaitu balok A3 dengan beban maksimal sebesar 34,4831 kN dengan *displacement* sebesar 5,9 mm. Benda uji A1 dan A2 didapat nilai beban maksimal 33,6384 kN dan 32,3285 kN dengan nilai *displacement* sebesar 6,47 mm dan 5,97 mm. Pada penelitian ini didapat beban dan *displacement* yang sangat berbeda, disebabkan oleh karakter pada beton itu sendiri dengan perbedaan pada kondisi pada setiap beton, dikarenakan perbedaan rongga pada setiap benda uji. Sehingga semakin banyak rongga yang mengisi pada benda uji akan berakibat kecilnya nilai yang dihasilkan,dan apabila rongga banyak maka akan menghasilkan nilai semakin besar. Nilai hubungan

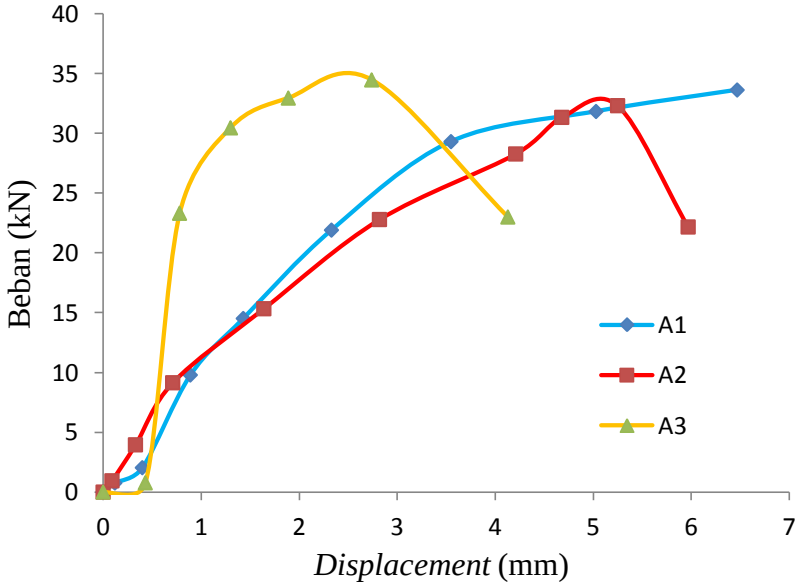
beban dan displacement dapat dilihat pada tabel 4.9 dan gambar 4.11.



Gambar 4.10 Hubungan antara beban dengan Displacment balok BSDS

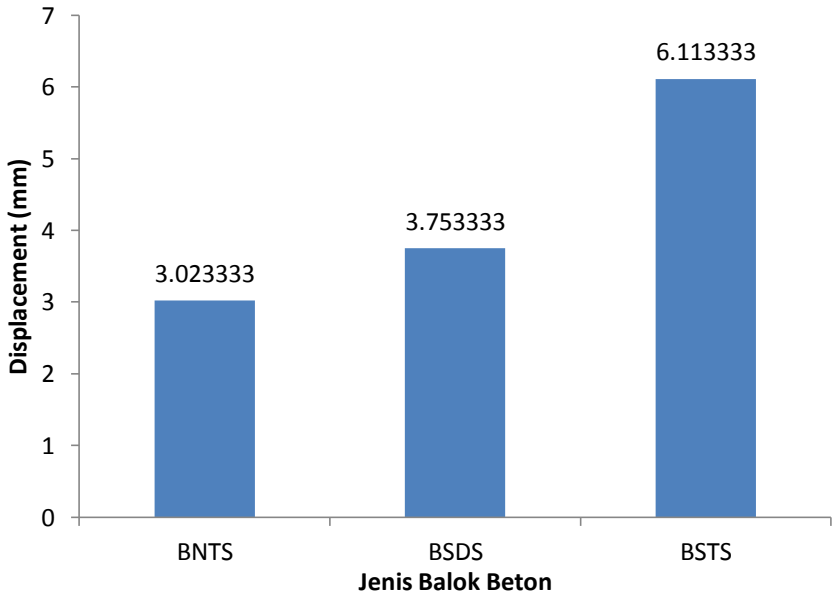
Tabel 4.9 Hubungan antara beban dengan Displacment balok BSTS

Nama Benda Uji	Beban Maks (kN)	*Displacement* (mm)
A1	33,6384	6,47
A2	32,3285	5,97
A3	34,4831	5,9

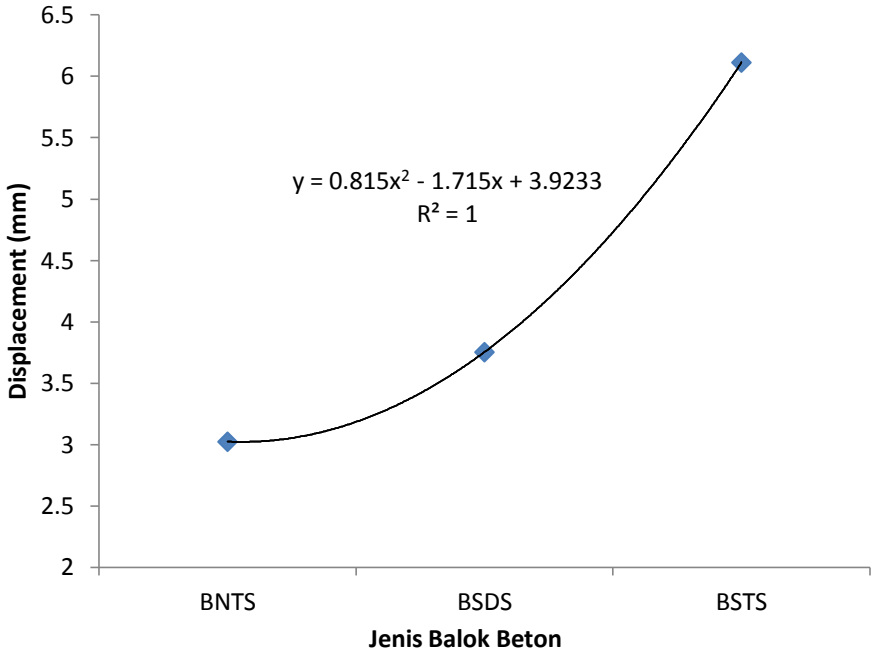


Gambar 4.11 Hubungan antara beban dengan Displacment balok BSTS

Hubungan *displacement* dengan jenis balok beton menunjukan bahwa beton sambungan tanpa sika (BSTS) mengalami *displacement* teritinggi dapat dilihat pada gambar 4.12 dan gambar4.13.



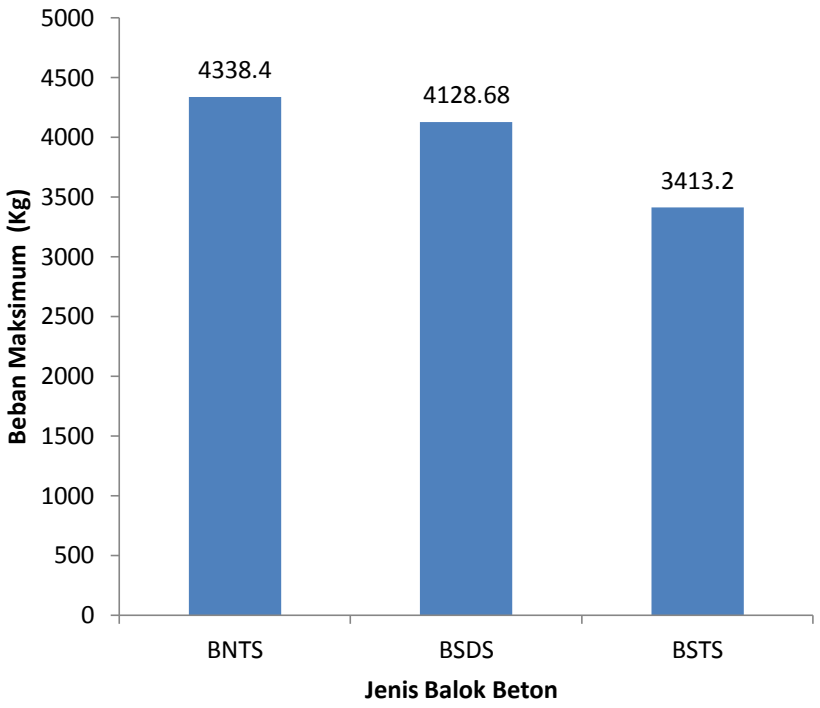
Gambar 4.12 Hubungan Antara Displacement rata-rata Jenis Balok Beton



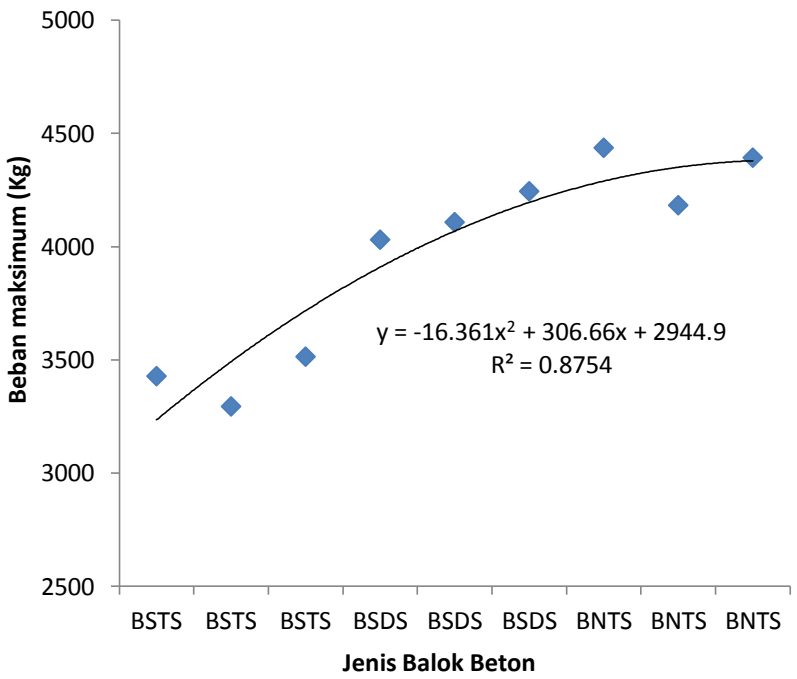
Gambar 4.13 Grafik Hubungan Regresi Polynomial dengan Displacement terhadap Jenis balok Beton

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan bahwa hubungan antara rata-rata kuat lentur dengan *Displacement* menunjukan hasil terbesar didapat pada benda uji balok beton sambungan tanpa menggunakan lem perekat beton SikaCim Bonding Adhesive (BSTS) dengan nilai tegangan lentur atau *displacement* rata-rata sebesar 6,1 dengan nilai BSTS sebesar 5,44 MPa. Waktu lendutan terlama didapat dari nilai jenis beton BSTS (Beton Sambungan tanpa SikaCim) dan dapat dilihat pada gambar 4.12. Dikarenakan proses sambungan beton lama dan beton baru yang tidak sempurna dan terjadi 2 lapisan yang berbeda. Sehingga menjadikan lendutan yang sangat tinggi dan rentan terjadi patah. Proses terjadinya displacemen sangatlah berakibat fatal, seperti keruntuhan yang akan terjadi pada struktur bangunan. Beton sambungan non sika atau beton sambungan tanpa lem perekat beton ini tidak direkomendasikan untuk gedung bertingkat ataupun digunakan, karena nilai Displacement yang tinggi sehingga mudah terjadinya keruntuhan. Pada saat melakukan pengecoran haruslah dilakukan dengan baik dan tidak terlalu lama sehingga terjadinya pengerasan sebagian pada adonan beton segar. Menurut (SNI-2847-2013) Beton yang telah mengeras sebagian atau telah terkontaminasi oleh bahan lain tidak boleh dicor pada struktur. Beton yang

ditambah air lagi atau beton yang telah dicampur ulang setelah pengikatan awal tidak boleh digunakan kecuali bila disetujui oleh insinyur professional. Pengecoran beton harus dilakukan dengan kecepatan sedemikian hingga beton selama pengecoran tersebut, tetap dalam keadaan plastis dan dengan mudah dapat mengisi ruang diantara rongga-rongga tulangan. Hasil pengujian hubungan beban maksimum dan jenis balok beton didapatkan beban tertinggi pada balok normal tanpa sambungan. Hubungan beban maksimum dan jenis balok beton bertujuan untuk mengetahui berapa beban maksimum pada benda uji dan didapat rata-rata setiap variasi benda uji. Hasil pengujian ini diperoleh nilai tertinggi BNTS dengan nilai 4338,4 kg kemudian yang BSDS dengan nilai 4128,68 kg dan yang terkecil adalah BSTS dengan nilai 3413,2 kg. dapat dilihat pada gambar 4.14 dan didapatkan dari persamaaan $y = -16.361x^2 + 306.66x + 2944.9$ $R^2 = 0.8754$ pada gambar 4.15.



Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Kuat Lentur rata-rata terhadap Jenis Balok Beton



Gambar 4.15 Grafik Regresi Polynomial peningkatan kuat lentur terhadap Jenis Balok Beton

Persentase penurunan pada 3 jenis benda uji (BNTS, BSDS dan BNTS) dapat dilihat pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 Persentase penurunan pada 3 jenis benda uji (BNTS, BSDS dan BNTS)

Nama	Jenis Benda Uji	Beban Maksimum	Rata-rata (KN)	Selisih penutunan (KN)	Persentase Penurunan
	A1	33,6385			
BSTS	A2	32,3289	33,4835		
	A3	34,4831			
	B1	39,5510		7,0189	29,87%
BSDS	B2	40,3088	40,5024		
	B3	41,6474			
	C1	43,5329		2,0573	8,75%
BNTS	C2	41,0431	42,5597		
	C3	43,1032			

Dari hasil yang didapat dalam persentase kenaikan beban maksimum yang dapat diterima pada jenis balok diatas, ditarik kesimpulan bahwa

1. Balok Sambungan Dengan Sika (BSDS) mengalami kenaikan sebesar 29,87% dari Balok Sambungan Tanpa Sika (BSTS).
2. Balok Normal Tanpa Sambungan (BNTS) mengalami kenaikan sebesar 8,75% dari Balok Sambungan dengan Sika (BSDS).

3. Balok Normal Tanpa Sambungan (BNTS) mengalami kenaikan sebesar 38,62% dari Balok Sambungan Tanpa Sika(BSTS).

4.3.2.3 Perhitungan Kuat lentur Teoritis

1. Perhitungan kuat lentur

Perhitungan kuat lentur dihitung dengan rumus pada SNI-4431-2011

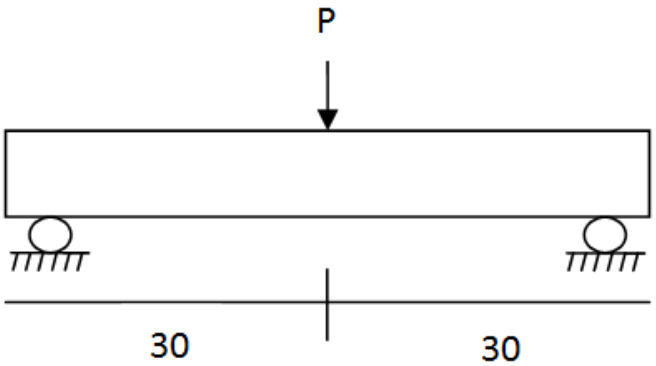
$$Kuat\ Lentur = \frac{PL}{b.h2}$$

Tabel 4.11 Perhitungan kuat lentur

b*h (mm)	Beban (N)	Kuat lentur (MPa)	Nama Benda Uji
155 x 155	33638.49	5.47	A1
155 x 155	32328.86	5.25	A2
155 x 155	34483.13	5.60	A3
152 x 152	39550.98	6.70	B1
155 x 155	40308.80	6.39	B2
151 x 151	41646.39	7.29	B3
150 x 150	43532.86	7.74	C1
150 x 150	41043.08	7.30	C2
150 x 150	43103.18	7.66	C3

2. Perhitungan momen maksimum

Perhitungan yang didapatkan dari balok beton sederhana dengan dimensi 150 x 150 x 600 mm ditunjukan pada gambar 4.16



Gambar 4.16 Perletakan beban terpusat

Perhitungan momen maksimum

A. Reaksi Perletakan dan Momen Maksimum

1. Momen Maksimum pada Balok A1

$\sum MA = 0$

R_A x 0 + P x 0,3025 – R_b x 0,605 = 0

0,3025 P – 0,605 R_b = 0

0,3025 (33638) – 0,605 R_b = 0

10175,49 – 0,605 R_b = 0

0,605 R_b = 10175,49

$R_b = \frac{10175,49}{0,605}$

R_b = 16819 N

$\sum MB = 0$

R_b x 0 + P x ,03025 – R_A x 0,605 = 0

R_A = 16819 N

Mmax = R_A x 0,3025 m

= 16819 x 0,3025

= 5087,74 Nm = 5,09 KNm

2. Momen Maksimum pada Balok A2

$\sum MA = 0$

R_A x 0 + P x 0,3025 – R_b x 0,605 = 0

0,3025 P – 0,605 R_b = 0

0,3025 (32328) – 0,605 R_b = 0

9779,22 – 0,605 R_b = 0

0,605 R_b = 9779,22

$R_b = \frac{9779,22}{0,605}$

R_b = 16164 N

$\sum MB = 0$

R_b x 0 + P x ,03025 – R_A x 0,605 = 0

R_A = 16164 N

Mmax = R_A x 0,3025 m

= 16164 x 0,3025

= 4889,61 Nm = 4,89 KNm

3. Momen Maksimum pada Balok A3

$\sum MA = 0$

$R_A \times 0 + P \times 0{,}3025 - R_b \times 0{,}605 = 0$

$0{,}3025\ P - 0{,}605\ R_b = 0$

$0{,}3025\ (34483) - 0{,}605\ R_b = 0$

$10431{,}10 - 0{,}605\ R_b = 0$

$0{,}605\ R_b = 10431{,}10$

$R_b = \frac{10431{,}10}{0{,}605}$

$R_b = 17241{,}48$ N

$\sum MB = 0$

$R_b \times 0 + P \times ,03025 - R_A \times 0{,}605 = 0$

$R_A = 17241{,}48$ N

Mmax $= R_A \times 0{,}3025$ m

$= 17241{,}48 \times 0{,}3025$

$= 5215{,}54$ Nm $= 5{,}22$ KNm

4. Momen Maksimum pada Balok B1

$\sum MA = 0$

$R_A \times 0 + P \times 0{,}2975 - R_b \times 0{,}595 = 0$

$0{,}2975\ P - 0{,}595\ R_b = 0$

$0{,}2975\ (39550) - 0{,}595\ R_b = 0$

$11766{,}13 - 0{,}595\ R_b = 0$

$0{,}595\ R_b = 11766{,}13$

$R_b = \frac{11766{,}13}{0{,}595}$

$R_b = 19775$ N

$\sum MB = 0$

$R_b \times 0 + P \times 0{,}2975 - R_A \times 0{,}595 = 0$

$R_A = 19775$ N

Mmax $= R_A \times 0{,}2975$ m

$= 19775 \times 0{,}2975$

$= 5883{,}06$ Nm $= 5{,}89$ KNm

5. Momen Maksimum pada Balok B2

$\sum MA = 0$

$R_A \times 0 + P \times 0{,}2975 - R_b \times 0{,}595 = 0$

$0{,}2975\ P - 0{,}595\ R_b = 0$

$0{,}2975\ (40308) - 0{,}595\ R_b = 0$

$11991{,}63 - 0{,}595\ R_b = 0$

$0{,}595\ R_b = 11991{,}63$

$R_b = \frac{11991{,}63}{0{,}595}$

$R_b = 20154$ N

$\sum MB = 0$

$R_b \times 0 + P \times 0{,}2975 - R_A \times 0{,}595 = 0$

$R_A = 20154$ N

Mmax $= R_A \times 0{,}2975$ m

$= 20154 \times 0{,}2975$

$= 5995{,}815$ Nm $= 5{,}99$ KNm

6. Momen Maksimum pada Balok B3

$\sum MA = 0$

$R_A \times 0 + P \times 0{,}3015 - R_b \times 0{,}603 = 0$

$0{,}3015\ P - 0{,}603\ R_b = 0$

$0{,}3015\ (41646) - 0{,}603\ R_b = 0$

$12556{,}26 - 0{,}603\ R_b = 0$

$0{,}595\ R_b = 12556{,}26$

$R_b = \frac{12556{,}26}{0{,}603}$

$R_b = 20823$ N

$\sum MB = 0$

$R_b \times 0 + P \times 0{,}3015 - R_A \times 0{,}603 = 0$

$R_A = 20823$ N

Mmax $= R_A \times 0{,}3015$ m

$= 20823 \times 0{,}3015$

$= 6278{,}13$ Nm $= 6{,}28$ KNm

7. Momen Maksimum pada Balok C1

$\sum MA = 0$

$R_A \times 0 + P \times 0{,}300 - R_b \times 0{,}600 = 0$

$0{,}300\ P - 0{,}600\ R_b = 0$

$0{,}300\ (43532) - 0{,}600\ R_b = 0$

$13059{,}6 - 0{,}600\ R_b = 0$

$0{,}600\ R_b = 13059{,}6$

$R_b = \frac{13059{,}6}{0{,}600}$

$R_b = 21766$ N

$\sum MB = 0$

$R_b \times 0 + P \times 0{,}300 - R_A \times 0{,}60 = 0$

$R_A = 21766$ N

Mmax $= R_A \times 0{,}300$ m

$= 21766 \times 0{,}300$

$= 6529{,}8$ Nm $= 6{,}52$ KNm

8. Momen Maksimum pada Balok C2

$\sum MA = 0$

$R_A \times 0 + P \times 0{,}300 - R_b \times 0{,}600 = 0$

$0{,}300\ P - 0{,}600\ R_b = 0$

$0{,}300\ (41043) - 0{,}600\ R_b = 0$

$12312{,}9 - 0{,}600\ R_b = 0$

$0{,}600\ R_b = 12312{,}9$

$R_b = \frac{12312{,}9}{0{,}600}$

$R_b = 20521{,}5$ N

$\sum MB = 0$

$R_b \times 0 + P \times 0{,}300 - R_A \times 0{,}60 = 0$

$R_A = 20521{,}5$ N

Mmax $= R_A \times 0{,}300$ m

$= 20521{,}5 \times 0{,}300$

$= 6156{,}45$ Nm $= 6{,}15$ KNm

9. Momen Maksimum pada Balok C3

$\sum MA = 0$

R_A x 0 + P x 0,300 – R_b x 0,600 = 0

0,300 P – 0,600 R_b = 0

0,300 (43103) – 0,600 R_b = 0

12930,9 – 0,600 R_b = 0

0,600 R_b = 12930,9

$R_b = \frac{12930,9}{0,600}$

R_b = 21551,5 N

$\sum MB = 0$

R_b x 0 + P x 0,300 – R_A x 0,60 = 0

R_A = 21551,5 N

Mmax = R_A x 0,300 m

= 21551,5 x 0,300

= 6465,45 Nm =6,46 KNm

B. Momen Rencana

Perhitungan kuat momen rencana ini mengacu pada Setiawan, (2016) Perancangan Struktur Beton Bertulang dengan berdasarkan BSN, (2013). Perhitungan momen rencana pada balok bertulangan rangkap dengan ukuran 150 x150 600 (mm).

Diketahui : fc' = 30 MPa

fy = 400 MPa

As= 101 (Tulangan tekan)

As= 101 (Tulangan tekan)

ρ_b = 0,0320

ρmaks = 0,01998

1. Nilai ρ dan ρ'

$$\rho = \frac{As}{b.d} = \frac{101}{150x\ 121} = 0$$

$$\rho' = \frac{As\prime}{b.d} = \frac{101}{150x\ 121} = 0$$

(ρ - ρ') = 101 – 101 = 0

2. Periksa apakah tulangan tekan sudah luluh atau belum, β_1= 0,836 dan fy = 400 MPa.

$$K = 0{,}85\beta_1\left(\frac{fc'}{fy}\right)\left(\frac{d\prime}{d}\right)\left(\frac{600}{600-fy}\right)$$

$$= 0{,}85(0{,}836)\left(\frac{30}{400}\right)\left(\frac{29}{121}\right)\left(\frac{600}{600-400}\right)$$

$$= 0{,}0383$$

(ρ - ρ') = 101 – 101 = 0 < 0,0383 (tulangan belum luluh)

3. Analisis gaya dalam (ØMn)

Cc = 0,85.fc'.a.b (a = $\beta_{1.}$C = 0,836C)

= 0,85.30.0,836C.150

= 3197,7C

$$Cs = As' \left[600 \left(\frac{C-d\prime}{C}\right) - 0{,}85.fc'\right.$$

$$=101 \left[600 \left(\frac{C-29}{C}\right) - 0{,}85 \text{ x } 30\right.$$

$$= 60.600 \left[600 \left(\frac{C-29}{C}\right) - 101 \text{ x } 0{,}85 \text{ x } 30\right.$$

$$= 60.600 \left[600 \left(\frac{C-29}{C}\right) - 2575{,}5\right.$$

T = As.fy

= 101.400

= 40.400 N

4. Susun persamaan kesetimbangan antara T, Cs dan Cc untuk mendapatkan nilai C

T = Cc + Cs

$$= 3197{,}7C + 60.600 \left[600 \left(\frac{C-29}{C}\right) - 2575{,}5\right]$$

$$40.400 = 3197{,}7C + 60.600 \left[600 \left(\frac{C-29}{C}\right) - 2575{,}5\right]$$

0 = 3197,7C + 60.600C – 2575,5 – 40400 – 1.757.400

0 = 3197,7C + 17624,5C - 1757400

C = 20,85 mm.

Maka, a = β_1.C = 0,836.20,85 = 17,43mm

5. Hitung nilai fs', Cc dan Cs

Fs' = 600 $(\frac{C-d\prime}{C})$

= 600 $(\frac{20,85-29}{20,85})$

= -234,532 MPa (< fy = 400 MPa)

Cc = 3197,7C

= 3197,7.20,85

= 66672,045 N

Cs = 600 $(\frac{C-d\prime}{C})$ – 2575,5

= 600 $(\frac{20,85-29}{20,85})$ – 2575,5

= -26263,26978 N

6. Hitung ØMn dengan menggunakan persamaan

ØMn = Ø. [Cc. $(\frac{d-a}{2})$ + Cs. (d-d')

= 0,90. [66672,045. $(\frac{121-17,43}{2})$ + (-26263,26978). (121-29)

= 932751,9275 Nmm

= 0,9327519275 KNm

$Mn = \frac{Ø\text{Mn}}{0,90}$ = 1,0363 KNm

Maka didapatkan nilai Faktor Aman sebesar :

$(\frac{Mmaks}{Ø\text{Mn}})$ = $(\frac{6529,8\ Nm}{1036,3\text{Nm}})$

= 6,30 Nm

C. Perhitungan Lendutan maksimum *(Displacement)*

$$\Delta = \left(\frac{P.L3}{48.\mathrm{EI}}\right)$$

$$= \left(\frac{41043.600\text{^}3}{48.\left(4700.\sqrt{\mathrm{fc'}}\right).\left(\frac{1}{12}.b.h\text{^}3\right)}\right)$$

$$= \frac{41043.600\text{^}3}{48.(25742{,}96).(42187500)}\Big)$$

= 0,1700628055 mm ~ 0,17 mm

Hasil lendutan maksimum P yang digunakan adalah hasil pengujian yang tertinggi kedua, pada kenyataan di laboratorium didapat nilai lendutan sebesar 1,23 mm. Sehingga melebihi batas lendutan maksimumnya.

$$\Delta = \left(\frac{P.L3}{48.\mathrm{EI}}\right)$$

$$= \left(\frac{33638.605\text{^}3}{48.\left(4700.\sqrt{\mathrm{fc'}}\right).\left(\frac{1}{12}.b.h\text{^}3\right)}\right)$$

$$= \frac{33638.605\text{^}3}{48.(25742{,}96).(48100052{,}08)}\Big)$$

= 0,12532 mm ~ 0,12 mm

Hasil lendutan maksimum P yang digunakan adalah hasil pengujian yang terendah pada beton sambungan tanpa lem perekat. Pada kenyataan di laboratorium didapat nilai lendutan sebesar 6,47 mm. Sehingga melebihi batas lendutan maksimumnya. Sangat melebihi dari lendutan maksimumnya. Factor yang mempengaruhi adanya sambungan beton yang tidak baik, dan kemungkinan beton berongga sangat resiko dalam keruntuhan balok.

4.3.3 Sketsa Pola Keruntuhan Balok

Setelah pengujian lentur dilakukan, selanjutnya menganalisa tentang pola keretakan yang terjadi pada bagian sisi luar balok beton sebagai benda uji. Dari hasil pengelihatan, retak vertical memanjang dan retak mengarah ke atas dialami oleh semua benda uji. Dalam penelitian ini akan menunjukan hasil retak pada

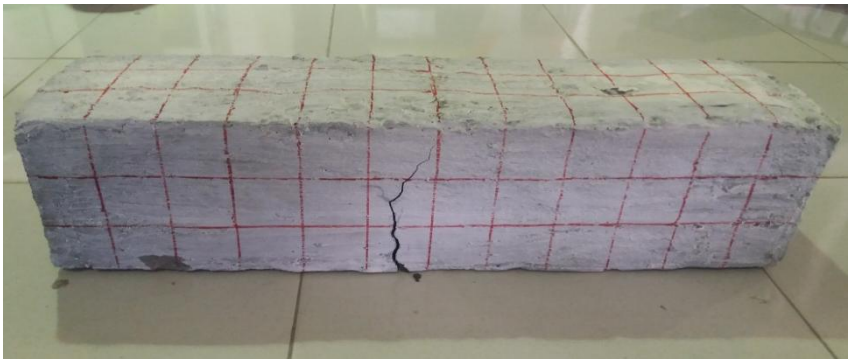
bagian luar benda uji dengan setiap variasi yang telah dilakukan, yaitu balok beton sambungan tanpa tambahan lem perekat beton, balok beton sambungan dengan penambahan lem beton pada area sambungan dan balok beton normal tanpa adanya sambungan sebagai kontrol.

Yang pertama akan membahas pola keretakan pada balok beton sambungan tanpa tambahan lem perekat beton. Dalam kasus ini pola retak yang dialami oleh 3 benda uji menunjukan pada benda uji pertama mengalami keretakan pada beban 3429 Kg yang tertera pada gambar 4.17. Pada benda uji kedua mengalami keretakan pada beban 3295,5 Kg yang tertera pada gambar 4.18. Pada benda uji ketiga mengalami keretakan pada beban 3515,10 Kg yang tertera pada gambar 4.19.

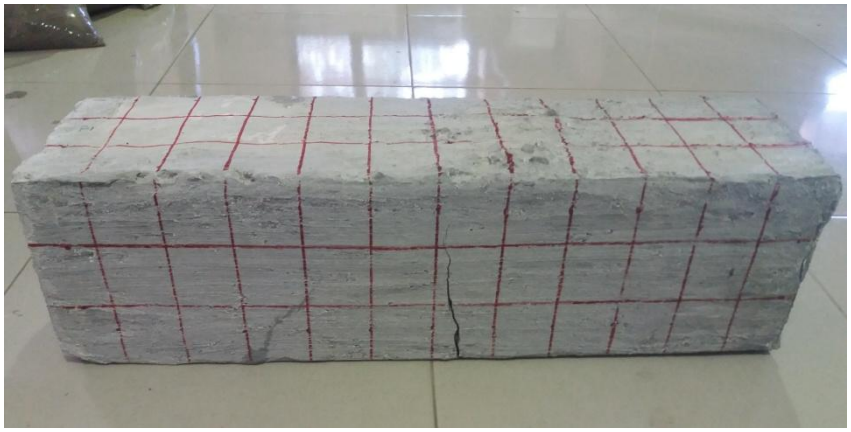
Yang kedua akan membahas pola keretakan pada balok beton sambungan dengan tambahan lem perekat beton. Dalam kasus ini pola retak yang dialami oleh 3 benda uji menunjukan pada benda uji pertama mengalami keretakan pada beban 4031,70 Kg yang tertera pada gambar 4.20. Pada benda uji kedua mengalami keretakan pada beban 4108,95 Kg yang tertera pada gambar 4.21. Pada benda uji ketiga mengalami keretakan pada beban 4245,30 Kg yang tertera pada gambar 4.22.

Yang ketiga akan membahas pola keretakan pada balok beton sambungan dengan tambahan lem perekat beton. Dalam kasus ini pola retak yang dialami oleh 3 benda uji menunjukan pada benda uji pertama mengalami keretakan pada beban 4437,60 Kg yang tertera pada gambar 4.23. Pada benda uji kedua mengalami keretakan pada beban 4183,80 Kg yang tertera pada gambar 4.24. Pada benda uji ketiga mengalami keretakan pada beban 4393,80 Kg yang tertera pada gambar 4.25.

Gambar 4.17 Pola Retak pada balok beton sambungan tanpa lem perekat beton 1



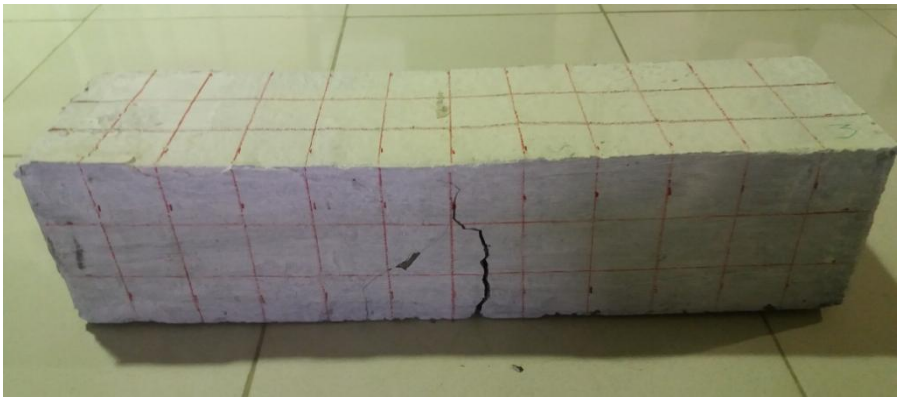
Gambar 4.18 Pola Retak pada balok beton sambungan tanpa lem perekat beton 2



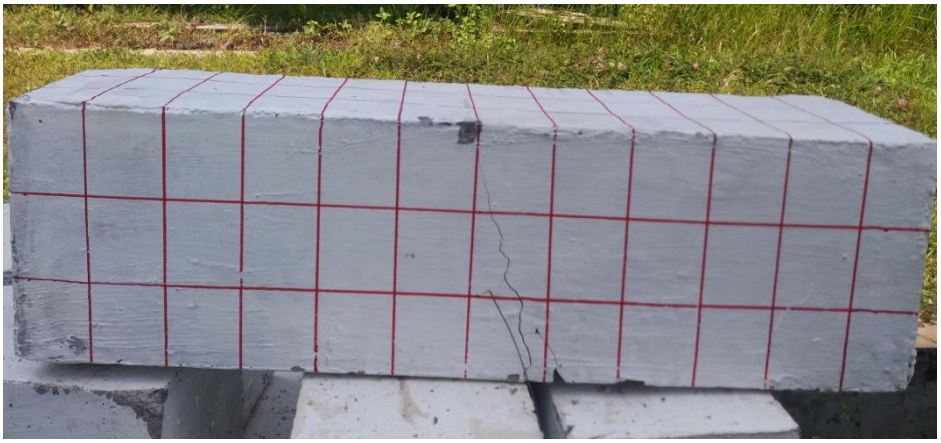
Gambar 4.19 Pola Retak pada balok beton sambungan tanpa lem perekat beton 3

Gambar 4.20 Pola Retak pada balok beton sambungan dengan tambahan lem perekat beton 1

Gambar 4.21 Pola Retak pada balok beton sambungan dengan tambahan lem perekat beton 2



Gambar 4.22 Pola Retak pada balok beton sambungan dengan tambahan lem perekat beton 3



Gambar 4.23 Pola Retak pada balok beton normal tanpa sambungan 1

Gambar 4.24 Pola Retak pada balok beton normal tanpa sambungan 2

Gambar 4.25 Pola Retak pada balok beton normal tanpa sambungan 3