

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas mengenai pengujian yang dilakukan serta analisa dari pengujian yang ada. Pembahasan yang ada akan membandingkan dari hasil-hasil dari peneitian yang sebelumnya dengan penelitian yang saya lakukan. Pengujian ini juga membahas mengenai masalah tentang perlakuan pada balok *Bernoulli* jika diberikan beban titik pada balok tersebut.

Adapun standar pengujian yang dilakukan untuk pengujian penelitian saya meliputi pengujian agregat dan beton ringan yang telah mengeras. Prosedur pengujian material yang dilakukan terhadap agregat kasar ringan dan agregat halus normal, dan beton ringan yang telah mengeras pada balok *Bernoulli* telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Hasil pengujian ini akan dianalisa dalam bentuk perhitungan, tabel dan grafik yang disertai dengan analisa.

4.1 HASIL DAN PEMBAHASAN PEMBUATAN AGREGAT

Perbandingan dari hasil pembuatan agregat kasar ringan dari plastic jenis *Poly Ethylen Terephthalate (PET)* mengenai karakteristik geometric yang didapat dari penelitian sekarang dengan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut ini :

Tabel 4.1. Karakteristik Agregat Kasar Ringan Plastik *PET*

Karakteristik Agregat	Agregat Handoro	Agregat Dwisetyowati	Agregat Wiryawan
Bentuk	Tidak Beraturan, Bersudut	Tidak Beraturan, Bersudut	Tidak Beraturan, Bersudut
Tekstur Permukaan	Licin (Halus)	Licin (Halus)	Licin (Halus)
Ukuran Maksimum Agregat	25 - 30 mm	25 - 30 mm	25 - 30 mm
Warna	Abu-abu agak hitam dan Cokelat	Abu-abu dan Hijau	Cokelat
Tebal Maksimum Agregat	3 cm	3 cm	3 cm

Bila melihat dari tabel 4.1 yang disajikan di atas, pada umumnya agregat yang berasal dari pembakaran plastic jenis *PET* ini memiliki bentuk yang tidak beraturan dan bersudut. Bentuknya yang tidak beraturan dan bersudut ini

disebabkan karena pemacahan agregat yang dilakukan secara manual yaitu dengan menggunakan palu. Tekstur permukaan yang licin (*smooth*) juga perlu diperhatikan mengingat hal ini mengkhawatirkan karena dapat mengurangi ikatan antara material yang menjadi komposisi pada beton ringan. Lalu untuk perbedaan warna antara ketiga agregat tersebut mungkin saja disebabkan oleh perbedaan minyak tanah yang digunakan untuk membakarnya dimana minyak tanah ini memiliki nilai oktan yang berbeda juga dikarenakan lamanya pembakaran yang dilakukan pada plastic ini untuk menghasilkan agregat yang ada.

4.2 HASIL DAN PEMBAHASAN PENGUJIAN AGREGAT

4.2.1 Hasil Pengujian Agregat Kasar Ringan

Berikut ini adalah hasil dari pengujian yang dilakukan di laboratorium dengan mengambil sampel bahan baku secara acak dan kemudian dilakukan penelitian sesuai standar ASTM C.330-00, “*Standard Spesification for Lightweight for Structural Concrete*”, dan SNI 03-2461-1991, “Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Struktur”, sehingga menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 4.2. Hasil Pengujian pada Agregat Ringan Plastik

Pengujian	Hasil Handoro	Hasil Dwisetyowati	Hasil Wiryawan	Perbedaan I	Perbedaan II
Apperent Specific Gravi	1,355	1,346	1,322	0,67%	2,50%
Bulk Specific Gravity	1,325	1,321	1,316	0,30%	0,68%
Absorpsi (%)	0,944	1,42	1,14	33,50%	17,19%
Kadar Air (%)	0	0	0	-	-

Pengolahan data selengkapnya terdapat dalam lampiran 2

Pada tabel 4.2 menunjukkan perbedaan yang cukup besar pada kadar absorpsi pada agregat ringan plastic antara hasil penelitian yang sekarang dilakukan dengan penelitian-penelitian yang dilakukan sebelumnya. Perbedaan I yang dimaksud pada table kolom kelima dari kiri, merupakan table perbedaan yang menunjukkan perbedaan hasil yang diperoleh dari Bid Handoro dengan hasil yang diperoleh oleh Shinta Dwisetyowati. Sedangkan Perbedaan II yang dimaksud pada table keenam dari kiri, merupakan table yang menunjukkan perbedaan antara hasil yang diterima oleh Bid Handoro dengan Sony Aria

Wiryawan. Sehingga hal ini dapat kita lihat bahwa kemampuan agregat Bid dalam menyerap air lebih rendah dibandingkan kemampuan agregat Shinta dan Sony dalam menyerap air. Hal ini tidaklah mengherankan dimana pada saat melakukan pengecoran, banyak air yang perlu ditambahkan untuk mendapatkan nilai dari *slump* yang ingin dicapai.

Mengacu pada syarat-syarat yang telah ditetapkan oleh ASTM C.300-00, “*Standard Specification for Lightweight for Structural Concrete*”, dan SNI 03-2461-1991, “*Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Struktur*”, untuk agregat ringan yang digunakan dalam campuran beton ringan, diantaranya adalah sebagai berikut :

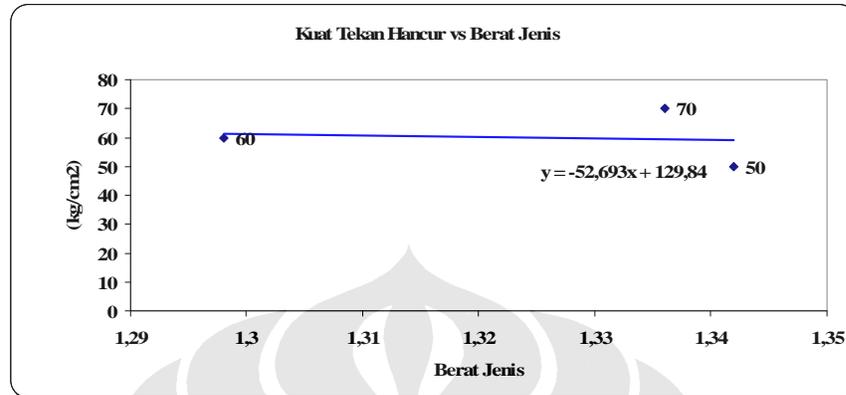
- Berat jenis agregat ringan 1,0 – 1,8 : dari hasil pengujian terhadap agregat kasar ringan plastik didapat berat jenis sebesar 1,325.
- Penyerapan air maksimum 20% : dari hasil pengujian terhadap agregat kasar ringan plastik didapat penyerapan air (absorpsi) sebesar 0,944 %.

4.2.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Hancur Agregat

Pada pengujian kali ini dilakukan untuk memperoleh data kuat tekan hancur agregat yang akan digunakan sebagai konfirmasi dari kuat tekan agregat yang telah dilakukan oleh Shinta dan Sony pada penelitian sebelumnya. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah kuat tekan hancur agregat yang digunakan pada pengujian ini sama dengan kuat tekan hancur agregat yang digunakan pada skripsi terdahulu. Kuat tekan hancur agregat ini akan digunakan dalam perhitungan rancang campur, sehingga apabila diperoleh kuat tekan hancur agregat yang berbeda secara signifikan maka akan mengubah rancang campur yang telah ditetapkan sebelumnya.

Pengujian kuat tekan agregat ini dilakukan di laboratorium struktur untuk kuat tekan hancur pada kubus agregat plastik dengan ukuran $(5 \times 5 \times 5)$ cm sebanyak 3 buah. Pada pengujian kuat tekan hancur agregat ini tidak dibuat sampel kubus dengan ukuran $(15 \times 15 \times 15)$ cm karena keterbatasan pengumpulan limbah botol plastik *PET*. Sehingga untuk kuat tekan hancur agregat plastik untuk kubus yang berukuran $(15 \times 15 \times 15)$ cm, akan menggunakan cara yang sama yang dilakukan oleh Shinta untuk mendapatkan nilai dari kuat tekan kubus

berukuran $(15 \times 15 \times 15)$ cm dengan menggunakan data pengujian kuat tekan hancur pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Sony.



Gambar 4.1. Regresi Hubungan Kuat Tekan Hancur Agregat vs Berat Jenis Kubus Agregat Plastik Ukuran $(5 \times 5 \times 5)$ cm

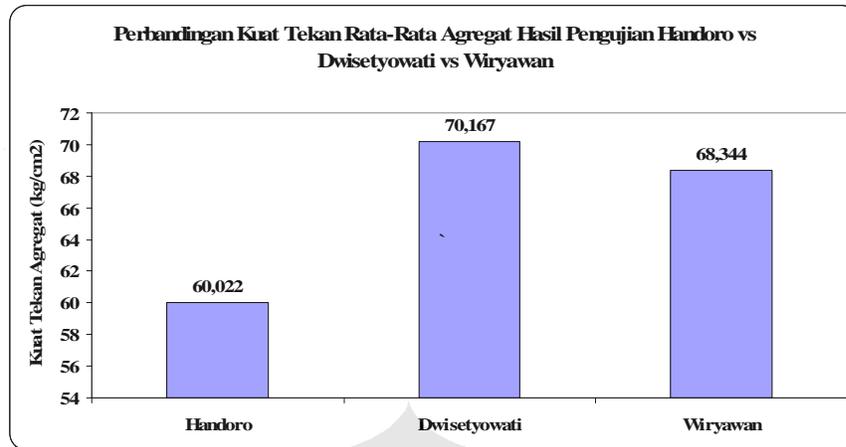
Dari gambar 4.1 dengan menggunakan metode regresi linier didapat tekan hancur kubus agregat plastic. Hasil pengujian sifat fisik agregat kasar ringan di Laboratorium didapat berat jenis agregat ringan plastic (Bulk specific gravity) sebesar 1,325. Sehingga bila nilai dari *bulk specific gravity* ini disubstitusikan dengan nilai x pada persamaan regresi di atas, didapat kuat tekan hancur agregat (f'_{CA}) untuk agregat dengan kubus ukuran $(5 \times 5 \times 5)$ cm, sebesar $60,022 \text{ kg/cm}^2$, dimana perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$y = -52,693x + 129,84$$

$$y = -52,693 (1,325) + 129,84$$

$$y = 60,022 \text{ kg/cm}^2$$

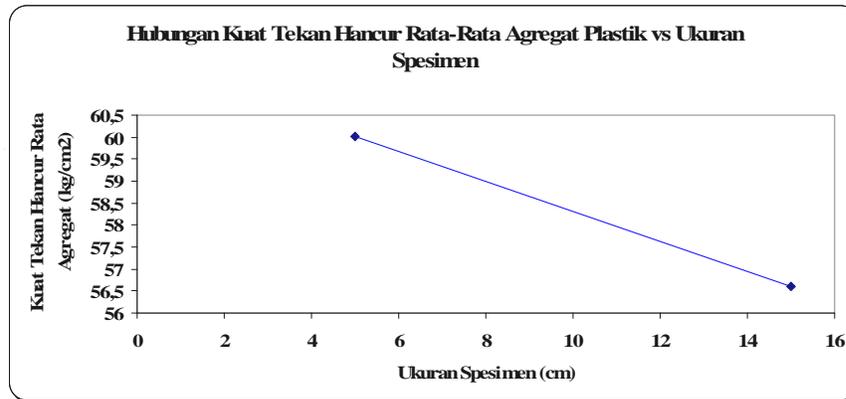
Maka hasil dari pengujian untuk kubus berukuran $(5 \times 5 \times 5)$ cm yang didapat bila dibandingkan dengan hasil dari penelitian sebelumnya, yaitu sebesar $70,167 \text{ kg/cm}^2$ untuk hasil Shinta dan $68,344 \text{ kg/cm}^2$ untuk hasil Sony, dapat disajikan dalam grafik berikut ini:



Gambar 4.2. Perbandingan Hasil Uji Kuat Tekan Hancur Handoro , Dwisetyowati dan Wiryawan

Dari gambar 4.2 yang disajikan di atas, dapat dilihat perbedaan hasil uji kuat tekan hancur agregat yang cukup besar antara Bid, Shinta dan Sony. Bila melihat grafik tersebut, kuat tekan hancur antara Shinta dan Sony tidaklah terlalu jauh. Tetapi bila melihat kuat tekan hancur antara Bid dengan Shinta atau Bid dengan Sony, terjadi perbedaan yang signifikan. Perbedaan kuat tekan hancur antara Bid dengan Shinta sebesar 14,46%. Sedangkan perbedaan kuat tekan hancur antara Bid dengan Sony adalah 12,18%.

Hasil yang diperoleh dari pengujian Sony untuk kubus berukuran $(15 \times 15 \times 15) \text{ cm}$ adalah $64,456 \text{ kg/cm}^2$. Sedangkan untuk kubus berukuran $(15 \times 15 \times 15) \text{ cm}$ milik Shinta adalah sebesar $66,178 \text{ kg/cm}^2$. Dari hasil pengujian Sony diperoleh hubungan antara kuat tekan hancur agregat kubus berukuran $(5 \times 5 \times 5) \text{ cm}$ dan $(15 \times 15 \times 15) \text{ cm}$, dimana kuat tekan hancur agregat untuk kubus $(5 \times 5 \times 5) \text{ cm}$ lebih besar dibandingkan kubus $(15 \times 15 \times 15) \text{ cm}$ dengan faktor konversi dari kubus ukuran $(5 \times 5 \times 5) \text{ cm}$ menjadi $(15 \times 15 \times 15) \text{ cm}$ adalah sebesar 0,919. Sehingga bila faktor konversi ini digunakan dalam perhitungan kuat tekan hancur kubus berukuran $(15 \times 15 \times 15) \text{ cm}$ untuk Bid adalah sebesar $56,601 \text{ kg/cm}^2$. Maka nilai tersebut yang akan digunakan dalam memprhitungkan rancang campur sebagai nilai kuat tekan hancur. Berikut merupakan grafik yang menunjukkan hubungan antara kuat tekan agregat dengan ukuran spesimen, adalah :



Gambar 4.3. Hubungan Kuat Tekan Hancur Agregat Plastik dengan Ukuran Spesimen

Bila melihat gambar 4.3 di atas, bisa dikatakan bahwa semakin besar ukuran specimen, maka semakin kecil pula kuat tekan hancur yang dihasilkan oleh agregat. Ini terjadi akibat adanya pori-pori yang lebih banyak yang terdapat pada ukuran specimen yang lebih besar dibandingkan dengan ukuran specimen yang lebih kecil. Bila pada ukuran specimen yang kecil saja mempunyai banyak pori-pori, maka ukuran specimen yang besar pun akan lebih banyak. Sehingga menghasilkan kuat tekan hancur yang relative kecil.

4.2.3 Hasil Pengujian Agregat Halus Normal

Berdasarkan standar ASTM C 33-02A, “Standard for Concrete Aggregates”, dan SII 0052-80, “Mutu dan Uji Agregat Beton”, maka dapat diperoleh sifat-sifat fisik agregat halus normal dengan pengujian yang dilakukan di dalam Laboratorium dengan mengambil bahan baku sample secara acak adalah sebagai berikut :

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian	Hasil Dwisetyowati	Hasil Wiryawan	Hasil Handoro	Perbedaan I (%)	Perbedaan II (%)
Apperent Specific Gravity	2,806	2,672	2,438	13,11%	8,76%
Bulk Specific Gravity (SSD)	2,755	2,645	2,279	17,28%	13,84%
Bulk Specific Gravity	2,728	2,629	2,169	20,49%	46%
Absorpsi (%)	1,011	0,604	5,195	413,85%	760,10%
Fine Modulus (FM)	3,52	3,42	2,33	33,81%	31,87%

Pengolahan data selengkapnya terdapat dalam lampiran 2

Pada tabel 4.3 menunjukkan perbedaan nilai absorpsi yang sangat besar dibandingkan dengan hasil uji yang lain. Hal ini menandakan bahwa kemampuan menyerap air dari agregat halus yang digunakan Bid, Shinta dan Sony berbeda dimana kemampuan menyerap air dari agregat halus Bid lebih besar dibandingkan dengan Shinta dan Sony.

Berdasarkan pada standar mutu dan syarat pengujian ASTM C 33-02A, “*Standard for Concrete Aggregates*”, dan SII 0052-80, “Mutu dan Cara Uji Agregat Beton” yang dilakukan terhadap agregat halus normal, bahwa pasir alam pada table 4.3 tersebut dapat digunakan dengan baik untuk campuran beton ringan pada penelitian ini.

Adapun syarat-syarat yang telah ditetapkan oleh , “*Standard for Concrete Aggregates*”, dan SII 0052-80, “Mutu dan Cara Uji Agregat Beton” untuk agregat halus normal yang digunakan dalam campuran beton, diantaranya adalah sebagai berikut :

- Modulus halus butir (*Fine Modulus*).
Syarat modulus halus butir agregat halus normal adalah 1,5 sampai 3,8. Dari hasil pengujian terhadap agregat halus normal didapat modulus halus butir sebesar 2,33.
- Kadar lumpur pada agregat halus normal.
Kandungan lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0.074 mm) maksimum 5 %. Dari hasil pengujian terhadap agregat halus normal didapat kadar material lolos saringan no.200 atau kadar lumpurnya sebesar 1,8 %.
- Kadar zat organik.
Kadar zat organik yang ditentukan dengan mencampur agregat halus dengan larutan natrium sulfat (NaSO_4) 3 %, tidak menghasilkan warna yang lebih tua dibandingkan dengan warna standar yaitu No.3. Dari hasil pengujian terhadap agregat halus normal didapat warna yang sama dengan warna yang menjadi standar berupa nomor warna tergolong No.3.

4.3 HASIL DAN PEMBAHASAN PENGUJIAN BETON RINGAN MENERAS

Pada skripsi ini akan lebih mendetail membahas mengenai beton ringan yang diaplikasikan dalam bentuk balok yang mempunyai ukuran $(100 \times 50 \times 1300)mm$ dan balok berukuran $(120 \times 60 \times 1600)mm$. Tipe campuran yang digunakan dalam skripsi ini adalah campuran beton ringan berpasir (*sand-lightweight*) yang menggunakan agregat kasar ringan tertahan pada skala ayakan $(25,4 - 9,5) mm$ dan agregat halus normal dengan gradasi normal $(4,75 - 0,075) mm$. Pemilihan tipe campuran ini berdasarkan hasil kuat tekan yang terbaik dari skripsi yang dilakukan oleh Sony dan juga tipe campuran yang dilakukan oleh Shinta.

Pada beton ringan yang telah mengeras dilakukan beberapa pengujian untuk mengetahui sifat-sifat mekanis beton ringan yang dibuat dengan menggunakan agregat kasar dari limbah botol jenis *PET*. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis beton ringan antara lain adalah pengujian kuat tekan beton, modulus elastisitas, kuat tarik beton, rangkai beton dan sifat struktural beton ringan berupa pengujian momen lentur pada balok *Bernoulli*. Adapun hasil pengujian sifat-sifat mekanis beton ringan akan dibahas berikut ini.

4.3.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Hasil pengujian kuat tekan beton untuk bentuk yang silinder disini, merupakan hasil dari pengujian kuat tekan beton yang mempunyai umur selama 28 hari. Tujuan dari pengujian kuat tekan beton disini adalah untuk melakukan pengecekan ulang (konfirmasi) mengenai hasil kuat tekan beton untuk silinder berukuran $(15 \times 30) cm$ yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya oleh Shinta dan Sony. Adapun hasil dari pengujian untuk kuat tekan silinder yang dilakukan pada penelitian kali ini adalah :

Tabel 4.4. Data Kuat Tekan Beton Ringan

No	Kode	Kuat Tekan (kg/cm ²)	Rata-Rata (kg/cm ²)
1	I	82,0948	83,0385
2	II	87,7565	
3	III	79,264	

Pengolahan data selengkapnya terdapat dalam lampiran 3

Hasil kuat tekan yang didapat yang disajikan pada table 4.4 telah mengalami berbagai percobaan untuk mendapatkan kuat tekan yang diharapkan atau minimal mendekati kuat tekan yang diharapkan. Sebelum akhirnya mendapatkan kuat tekan yang diharapkan, penelitian ini melakukan trial mix yang dilakukan untuk mendapatkan kuat tekan rencana yang diharapkan. Adapun kuat tekan rencana yang diharapkan dalam bentuk silinder ukuran (15×30) cm adalah sekitar 12 MPa. Maka untuk mendapatkan kuat tekan tersebut bila menggunakan sample benda uji berupa silinder kecil berukuran (10×15) cm, kuat tekan yang diharapkan sekitar 8,4 MPa. Hasil ini didapat melalui proses konversi dimana :

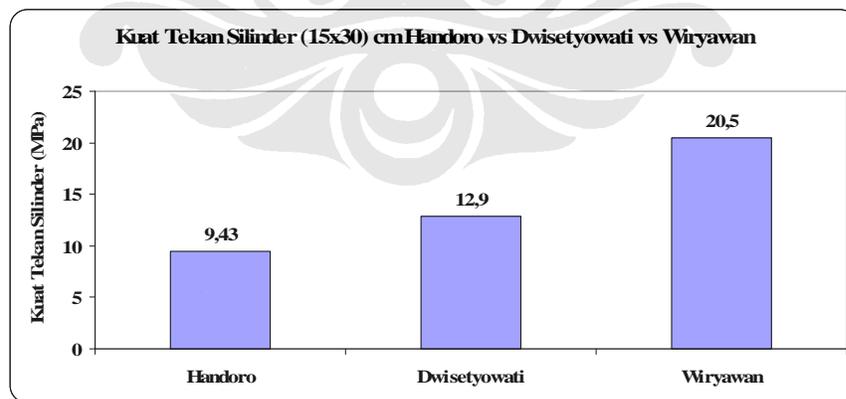
- Kuat tekan silinder ukuran (15×30) cm selama 28 hari yang diharapkan adalah 12 MPa.
- Kuat tekan silinder ukuran (10×15) cm selama 7 hari yang harus didapat adalah 8,4 MPa.
- Sehingga konversi ke kuat tekan silinder (15×30) adalah $12MPa \times 0,7 = 8,4MPa$.

Dari hubungan konversi inilah kuat tekan silinder ukuran (10×15) cm harus mendapatkan kuat tekan yang diharapkan sebesar 8,4 MPa. Untuk mendapatkan kuat tekan silinder kecil yang diinginkan tidaklah perkara mudah. Sampai akhirnya mendapatkan kuat tekan silinder kecil yang diinginkan atau minimal mendekati yang diinginkan perlu melalui proses trial mix yang cukup panjang. Dimana sebelumnya dilakukan trial mix sebagai berikut :

Tabel 4.5. Hasil Pengujian Silinder (10×15) cm umur 7 hari

Tanggal Tes	Berat Benda Uji (kg)	Beban Maksimal yang diberikan (kg)	Kuat Tekan (kg/cm ²)
15/04/2008	2,716	1,75	2,23
15/04/2008	2,618	2,75	3,5
15/04/2008	2,758	2,5	3,18
18/04/2008	2,768	3,75	4,8
18/04/2008	2,748	4,5	5,7
18/04/2008	2,711	5,1	6,5
18/04/2008	2,734	5,2	6,62

Sehingga akhirnya didapatkan kuat tekan silinder besar pada umur 28 hari yaitu $6,6\text{MPa} \times \frac{1}{0,7} = 9,43\text{MPa}$. Walaupun hasil yang didapat masih jauh dari yang diharapkan yaitu 20 MPa, akan tetapi karena keterbatasan waktu dan sulitnya pengadaan agregat kasar PET maka percobaan diteruskan dengan kondisi tersebut. Pada penelitian yang dilakukan sebelumnya, hasil yang didapat untuk kuat tekan silinder (15×30) cm adalah sebesar 20,5 MPa untuk hasil Sony dan 12,9 MPa untuk hasil yang diperoleh Shinta. Hal ini menyebabkan terjadinya perbedaan antara hasil yang diperoleh Bid yang sebesar 9,43 MPa yang sebenarnya tidak terlalu jauh dari nilai yang diperoleh Shinta namun sangat jauh terhadap hasil Sony. Berikut adalah gambar yang menyatakan perbandingan kuat tekan yang dihasilkan.



Gambar 4.4. Perbandingan Kuat Tekan Silinder (15×30) cm Handoro, Dwisetyowati dan Wiryawan

Bila melihat adanya perbedaan yang signifikan antar hasil yang diperoleh antara Bid, Shinta dan Sony banyak diakibatkan oleh beberapa perbedaan. Perbedaan yang menyebabkannya antara lain:

- Perbedaan kehalusan permukaan agregat yang dihasilkan.
Agregat yang digunakan pada penelitian kali ini mempunyai permukaan yang sama halus dengan agregat yang dihasilkan oleh Shinta dibandingkan dengan agregat kasar ringan yang digunakan pada percobaan yang dilakukan oleh Sony. Hal ini menyebabkan semakin lemahnya ikatan yang terjadi antara pasta semen dan agregat. Jadi walaupun rancang campur yang ditargetkan sama pada ketiganya namun hasil kuat tekan yang dihasilkan berbeda-beda.
- Perbedaan pada bentuk dan gradasi agregat.
Agregat yang berbentuk pipih mempunyai kekuatan yang lebih rendah dari pada agregat yang tidak pipih, sehingga apabila dalam agregat kasar yang digunakan pada campuran beton memiliki jumlah agregat pipih cukup banyak maka kekuatan beton tersebut lebih rendah dibanding jumlah agregat pipih yang sedikit. Percobaan kali ini dimana dihasilkan agregat berbentuk pipih dengan jumlah yang lebih banyak dari pada percobaan sebelumnya, sehingga kuat tekan yang dihasilkan juga lebih rendah. Gradasi agregat kasar yang digunakan pada percobaan sekarang yaitu 25,4 -9,5 mm. Gradasi agregat ini merupakan gradasi yang digunakan juga pada percobaan Shinta dan Sony. Salah satu faktor yang mempengaruhi kekuatan dari beton adalah gradasi agregat. Kemungkinan besar gradasi agregat kasar yang digunakan pada campuran beton lebih dominan mendekati batas range terendah. Dengan kata lain terdapat kemungkinan bahwa pada penelitian kali ini jumlah agregat yang berukuran besar lebih sedikit dibanding pada penelitian sebelumnya. Sehingga didapat kuat tekan yang lebih rendah.
- Perbedaan pada tipe semen yang digunakan
Pada penelitian yang dilakukan sekarang, tipe semen yang digunakan adalah tipe semen yang beredar pada umumnya di masyarakat, yaitu semen jenis PCC. Sedangkan tipe semen yang digunakan oleh Sony dan Shinta adalah jenis semen OPC tipe I. Sehingga hal ini mengakibatkan pada penelitian kali ini hasil kuat tekan beton yang diperoleh relative kecil. Karena pada semen

tipe PCC, terdapat campuran *fly ash* pada semennya yang mengakibatkan penurunan nilai kuat tekan beton yang dihasilkan walaupun sebenarnya penggunaan *fly ash* ini lebih ramah lingkungan dalam pembuatan semen di pabriknya.

4.3.2 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Untuk menghitung harga modulus elastisitas beton normal maupun beton ringan, dasar yang digunakan adalah mengacu pada rumus hooke [Nawy, Edward. G.,1990][13], yaitu:

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

atau

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Dimana :

E = Modulus Elastisitas

σ = Tegangan pada saat beban kerja

ε = Regangan pada saat beban kerja

Berdasarkan rumus yang diberikan ASTM, terdapat koreksi pada pembacaan dial yang dilakukan. Hal ini terjadi karena pada percobaan yang dilakukan, dial pembacaan tidaklah diletakkan pada tengah specimen melainkan di pinggir specimen. Sehingga dalam membaca dial untuk deformasi arah lateral (horizontal), diperlukan pengoreksian data sebelum akhirnya data tersebut diolah. Adapun pengoreksian data pembacaan dial dalam arah lateral adalah sebagai berikut :

$$d = g e_r / (e_r + e_g)$$

Dimana :

d = deformasi yang telah dikoreksi dengan benar

g = pembacaan dial yang dilakukan

e_r = koreksi lateral, dimana nilainya adalah 10

e_g = koreksi lateral, dimana nilainya adalah 18

Sedangkan pengoreksian data pembacaan dial dalam arah aksial adalah sebagai berikut :

$$d = gh_r / (h_r + h_g)$$

Dimana :

d = deformasi yang telah dikoreksi dengan benar

g = pembacaan dial yang dilakukan

h_r = koreksi aksial, dimana nilainya adalah 14,5

h_g = koreksi aksial, dimana nilainya adalah 14,5

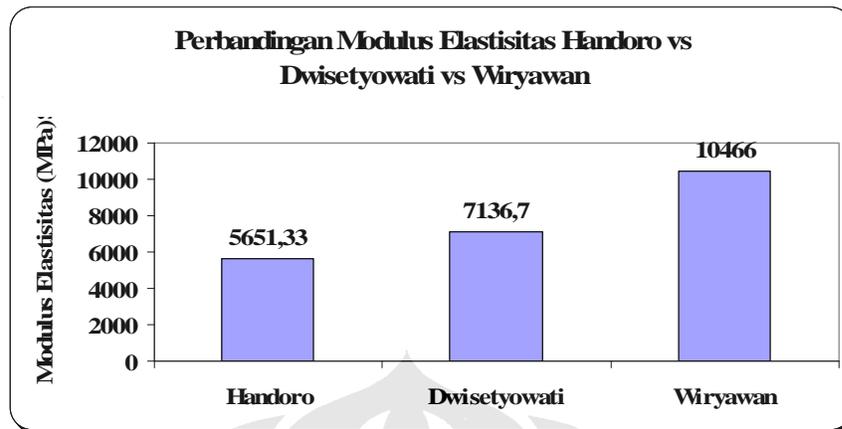
Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM C 469 - 02. Tujuan percobaan ini untuk menentukan modulus elastisitas beton. Benda uji yang dipakai berbentuk silinder dengan dimensi 15 cm x 30 cm. Dari pembebanan secara berulang pada benda uji berbentuk silinder dengan maksimum pembebanan 6000 kg atau 33.970 kg/cm² dapat dikumpulkan data-data mengenai hubungan tegangan regangan yang terjadi pada benda uji. Pemberian beban bertahap sampai beban maksimum secara berulang-ulang, bertujuan untuk mengumpulkan data-data regangan untuk menghitung *poisson ratio*. *Poisson ratio* merupakan perbandingan antara regangan arah lateral dengan regangan arah horizontal.

Tabel 4.6. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas dan Poisson Ratio

Jenis Beton	Modulus Elastisitas (MPa)	Poisson Ratio
Silinder (15x30) cm	5651,33	0,27

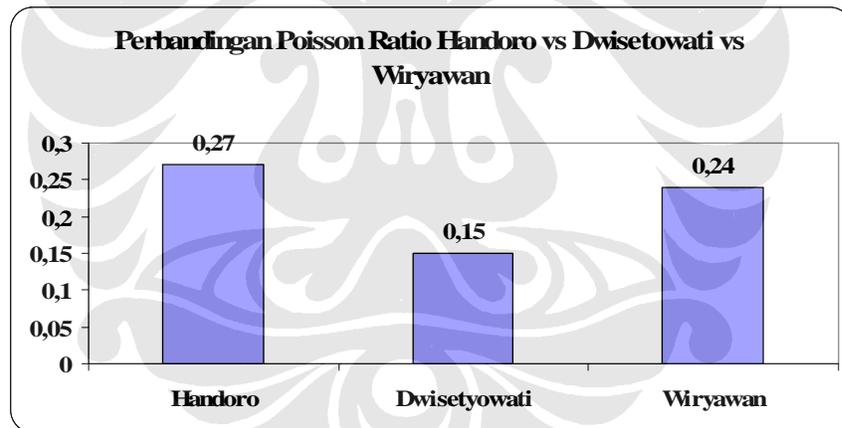
Pengolahan data selengkapnya terdapat dalam lampiran 3

Pada tabel 4.6 di atas, dapat dilihat hasil dari pengujian modulus elastisitas dan poisson ratio. Nilai poisson ratio yang didapat, masih di luar batas normal dimana besarnya nilai dari poisson ratio pada beton normal adalah sekitar 0,15 – 0,20. Pengujian ini juga dilakukan untuk melakukan pengecekan ulang (konfirmasi) terhadap hasil dari penelitian yang dilakukan Sony dan Shinta. Adapun hasil dari perbandingan besarnya nilai modulus elastisitas dan yang didapatkan oleh Bid, Shinta dan Sony adalah sebagai berikut:



Gambar 4.5. Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas Handoro, Dwisetyowati dan Wiryawan

Sedangkan besarnya perbandingan nilai dari poisson ratio adalah sebagai berikut :



Gambar 4.6. Hasil Perbandingan Poisson Ratio Handoro, Dwisetyowati dan Wiryawan

4.3.3 Hasil Pengujian Kuat Tarik Beton

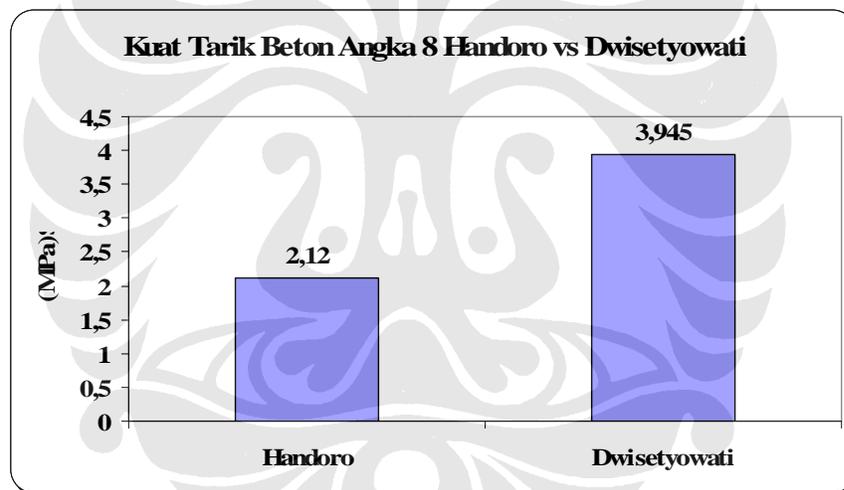
Pengujian yang dilakukan pada penelitian kali ini adalah untuk mendapatkan besarnya nilai dari kuat tarik beton dengan membagi beban maksimum yang menyebabkan benda uji patah dengan luas bidang patahnya. Adapun data pada kuat tarik beton adalah sebagai berikut :

Tabel 4.7. Hasil Pengujian Kuat Tarik Beton

Benda Uji	Berat (kg)	Beban Maksimum (N)	A (mm ²)	Tegangan (MPa)
I	0,118	1200	625	1,92
II	0,113	1450	625	2,32

Pengolahan data selengkapnya terdapat dalam lampiran 3

Pada table 4.7 dapat dilihat hasil dari kuat tarik beton dengan menggunakan specimen berbentuk angka 8 dimana pada pengujian kali ini menghasilkan kuat tarik rata-rata sebesar 2,12 MPa sampai specimen tersebut putus. Sehingga bila melihat dari penelitian yang dilakukan oleh Shinta sebelumnya, dapat disajikan sebagai berikut :



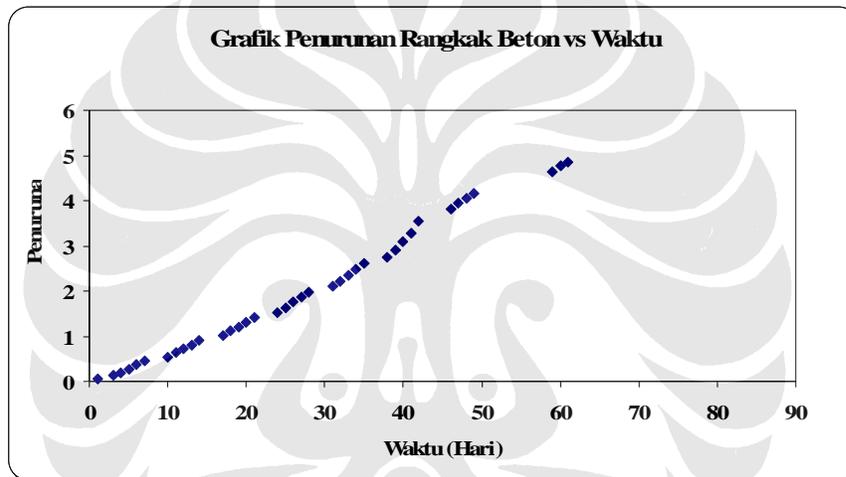
Gambar 4.7. Hasil Perbandingan Kuat Tarik Beton Angka 8

Pada gambar 4.7 diatas dapat dilihat bahwa kuat tarik beton dengan specimen angka 8 yang dihasilkan dari penelitian yang dilakukan oleh Shinta lebih besar daripada kuat tarik penelitian yang dilakukan oleh Bid. Hal ini mungkin disebabkan oleh penggunaan semen yang berbeda pada kedua penelitian. Sama seperti halnya kuat tekan beton, kuat tarik beton juga dipengaruhi oleh campuran semen yang digunakan. Karena pada kedua penelitian ini, beton yang digunakan sebagai specimen merupakan beton polos tanpa adanya tulangan,

sehingga yang menahan kuat tarik beton merupakan beton itu sendiri. Dimana bila beton polos menahan kuat tarik, nilai dari kuat tarik beton sama dengan nilai dari kuat tekan beton itu sendiri.

4.3.4 Hasil Pengujian Rangkak

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui rangkak beton akibat pembebanan dalam waktu yang lama. Beban yang diberikan pada benda uji rangkak ini sebesar 5 ton, ini disebabkan oleh kuat tekan beton yang rendah. Berikut adalah grafik antara waktu terhadap regangan yang terjadi.



Gambar 4.8. Grafik Regangan Rangkak Beton Terhadap Waktu

Agregat dari bahan PET merupakan agregat yang cukup elastis sehingga rangkak yang terjadi pada benda uji ini cukup besar bila dibandingkan dengan rangkak beton normal. Untuk membandingkan hasil rangkak beton ringan dengan beton normal dapat menggunakan persamaan Branson sebagai pembandingnya. Persamaan branson yang digunakan, yaitu :

$$C_t = \frac{t^c}{d + t^c} C_u \times f_k$$

Dimana :

C_t = Koefisien rangkak, yaitu perbandingan antara regangan rangkak pada umur t dengan regangan rangkak awal

t = Waktu setelah pembebanan (hari)

d = Konstanta (digunakan nilai 10)

c = Konstanta (digunakan nilai 0.6)

C_u = Koefisien rangkai batas :

1.30 untuk batas bawah

2.35 untuk nilai rata-rata

4.15 untuk batas atas

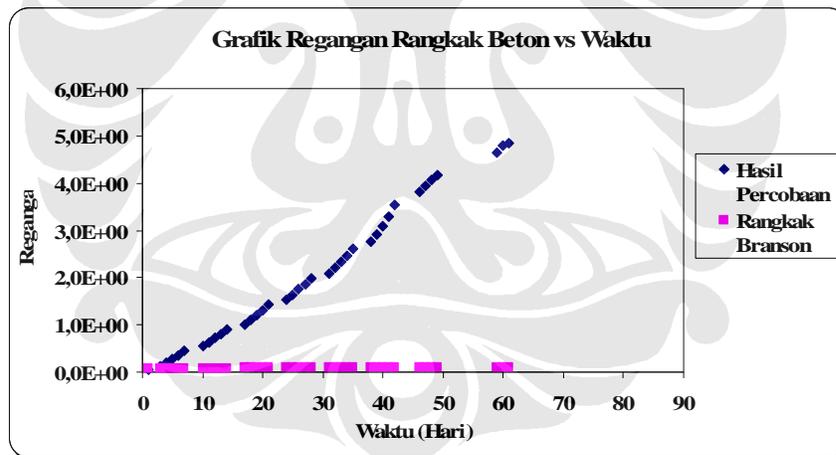
f_k = Faktor koreksi untuk berbagai kondisi

umur pembebanan 28 hari : 0.84

nilai slump : $0.82 + 0.067 \times \text{slump (inci)}$

%pasir /agregat : $0.88 + 0.0024 \times (\% \text{pasir})$

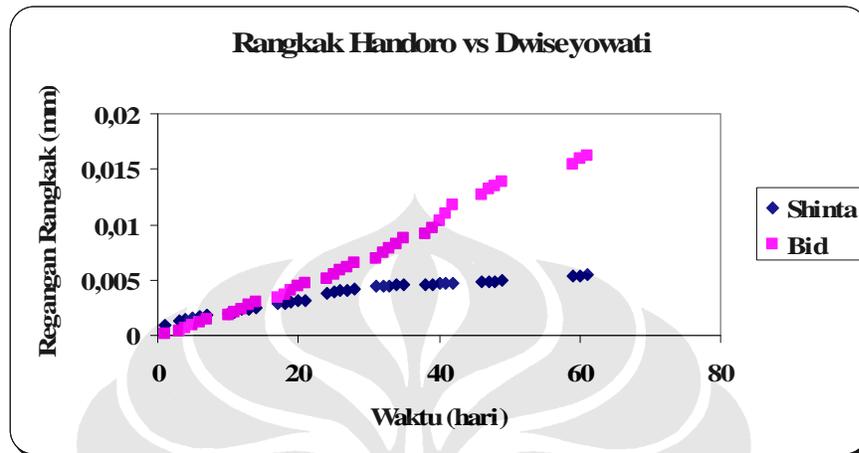
Berikut ini adalah grafik perbandingan antara regangan akibat rangkai yang terjadi pada beton ringan dengan regangan yang dihasilkan dari persamaan branson.



Gambar 4.9. Grafik Regangan Rangkai Beton Terhadap Waktu dengan Branson

Pada gambar 4.9 dapat dilihat bahwa regangan rangkai yang dihasilkan dari percobaan jauh lebih besar dari regangan rangkai yang dihasilkan pada persamaan Branson. Hal ini disebabkan oleh persamaan branson adalah persamaan yang digunakan untuk beton normal dan regangan yang dihasilkan pada beton ringan akan lebih besar dari regangan beton normal. Karena kekakuan pada beton ringan lebih rendah dari kekakuan beton normal. Hal ini dapat terlihat

dari modulus elastisitas yang dihasilkan. Sedangkan berikut adalah grafik yang menggambarkan perbandingan rangkai yang terjadi antara Bid dengan Shinta dalam rentan waktu yang sama adalah :



Gambar 4.10. Perbandingan Rangkai antara Bid dengan Shinta pada Rentan yang Sama

Hasil dari regangan rangkai yang ada, didapatkan persentase hubungan antara kuat tarik dengan kuat tekan beton sebesar 22,5 % untuk Bid dan 30,6 % untuk Shinta. Sedangkan perbedaan hasil regangan rangkai yang didapat antara Bid dengan Shinta pada saat umur pembebanan yang sama (61 hari) adalah sebesar 68 %. Hal ini disebabkan oleh rongga pada agregat Bid lebih besar dan banyak dibandingkan dengan rongga agregat pada Shinta yang terkonfirmasi oleh kuat tekan beton dimana kuat tekan beton Shinta lebih besar dibandingkan dengan kuat tekan beton Bid. Selain itu, dapat juga disebabkan oleh perbedaan cara pembebanan pada pengujian rangkai dimana pada pengujian oleh Bid beban tetap konstan pada 5 ton. Sehingga setiap beban mengalami penurunan, maka beban akan ditambahkan hingga 5 ton kembali.

4.3.5 Hasil Pengujian Balok *Bernoulli*

Pada pengujian dengan menggunakan sample berbentuk balok *Bernoulli*, pembebanannya menggunakan tiga cara yang berbeda. Pembebanan yang dilakukan dengan cara yang berbeda tersebut dengan menggunakan perbedaan

pada pola pembebanan yang berbeda. Perbedaan pola pembebanan tersebut adalah :

- Pola pembebanan dengan melihat lendutan, disebut tipe A
- Pola pembebanan dengan menambahkan beban setiap 45 menit, disebut tipe B
- Pola pembebanan dengan menambahkan beban setiap 24 jam, disebut tipe C

Perbedaan pada pengujian balok *Bernoulli* ini dimaksudkan untuk dapat melihat perbedaan mendasar pada hasil dari tiga pembebanan yang berbeda, yaitu untuk dapat melihat munculnya fenomena rangkak pada ketiga balok dengan tipe pembebanan yang berbeda. Pada pengujian balok *Bernoulli* ini menggunakan sebanyak dua buah balok yang berbeda ukurannya sehingga pada pengujian kali ini menggunakan balok berjumlah 6 buah seluruhnya.

Setiap tipe pengujian pembebanan menggunakan balok berukuran $(10 \times 5 \times 130)$ cm juga dapat disebut sebagai balok 1 dan balok berukuran $(12 \times 6 \times 160)$ cm yang juga dapat disebut sebagai balok 2. Hal ini dimaksudkan untuk dapat melihat perbedaan bila pada satu tipe pembebanan menggunakan dua jenis ukuran yang berbeda. Sehingga pada akhirnya nanti, dapat dilihat perbandingan antara satu balok dengan balok yang lain pada satu tipe pembebanan dan juga dengan tipe pembebanan yang berbeda. Perbandingan yang dimaksud disini adalah perbandingan kelengkungan, modulus elastisitas dan lendutan maksimal yang terjadi.

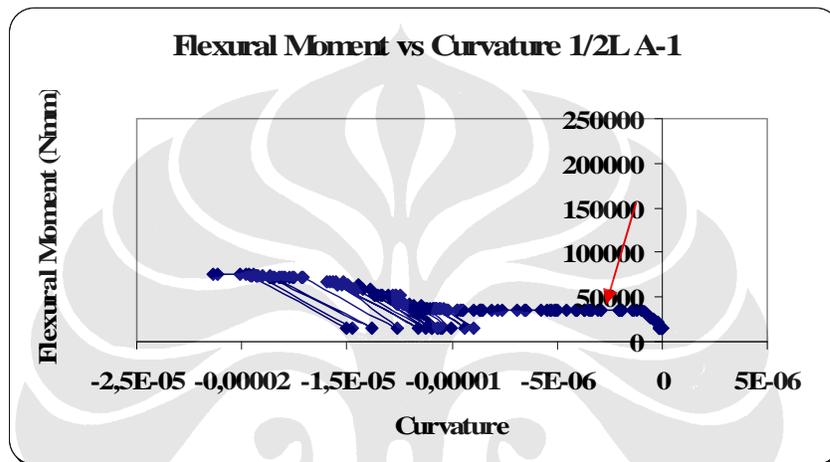
4.3.5.1 Pengujian Balok *Bernoulli* Tipe A

Pada pengujian balok tipe yang pertama ini berdasarkan pada pembebanan yang cukup lama. Pola pembebanannya dilakukan berdasarkan besarnya nilai lendutan yang terjadi. Beban akan ditambahkan pada balok bila lendutan yang terjadi melebihi lendutan yang diasumsikan sebagai syarat bahwa beban dapat ditambahkan pada balok atau tidak. Pada dasarnya, untuk satu tipe pembebanan tetapi berbeda ukuran benda ujinya, beban yang ditambahkan juga berbeda. Bila balok berukuran $(10 \times 5 \times 130)$ cm mengalami penambahan beban sekitar 5 N, maka untuk balok berukuran $(12 \times 6 \times 160)$ cm mengalami penambahan beban sekitar 6 N. Berarti dalam hal ini, balok yang berukuran lebih besar mengalami

penambahan beban sebesar 1,2 kali dari balok yang berukuran lebih kecil. Untuk lebih jelasnya akan dipaparkan sebagai berikut :

- Balok *Bernoulli* ukuran $(10 \times 5 \times 130)$ cm disebut balok 1

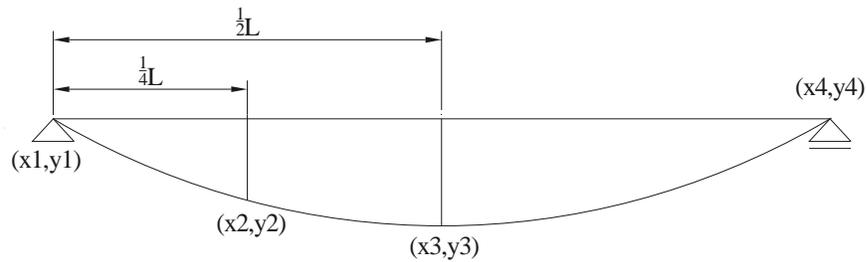
Pada balok berukuran ini, penambahan beban akan dilakukan setiap kelipatan 5 N bila lendutan yang terbaca pada dial pembacaan kurang dari 0,005 mm ($\delta \leq 0,005\text{mm}$) pada dial seperempat bentang ataupun setengah bentang.



Gambar 4.11. Flexural Moment vs Curvature Balok 1 di Setengah Bentang dengan Tipe A

Pada gambar 4.11 di atas merupakan grafik yang menggambarkan adanya penambahan *curvature* (kelengkungan) pada setiap penambahan *flexural curvature* (momen lentur) pada setiap penambahan bebannya. Grafik linier horizontal yang ditunjukkan oleh panah berwarna merah di atas adalah merupakan garis yang menunjukkan fenomena dimana rangkai telah terjadi dan pada sepanjang garis ini momen lentur yang terjadi konstan atau tetap, yang artinya pada tahap pembebanan ini tidak ada penambahan beban karena besarnya deformasi yang terjadi masih lebih besar dari penambahan deformasi yang ditetapkan. Sehingga pada tahap ini, momen lenturnya tetap tetapi terjadi penambahan nilai pada kelekungannya.

Besarnya nilai kelengkungan yang ada pada gambar 4.11 didasarkan pada rumus :



Dimana :

x_1 = merupakan titik awal balok, yaitu nol

y_1 = merupakan lendutan di perletakan, yaitu nol

x_2 = merupakan jarak x sebesar seperempat bentang ($1/4L$) (mm)

y_2 = merupakan pembacaan dial pada seperempat bentang (lendutan) (mm)

x_3 = merupakan jarak x sebesar setengah bentang ($1/2L$) (mm)

y_3 = merupakan pembacaan dial pada setengah bentang (lendutan) (mm)

x_4 = merupakan titik akhir atau panjang bentang balok (L) (mm)

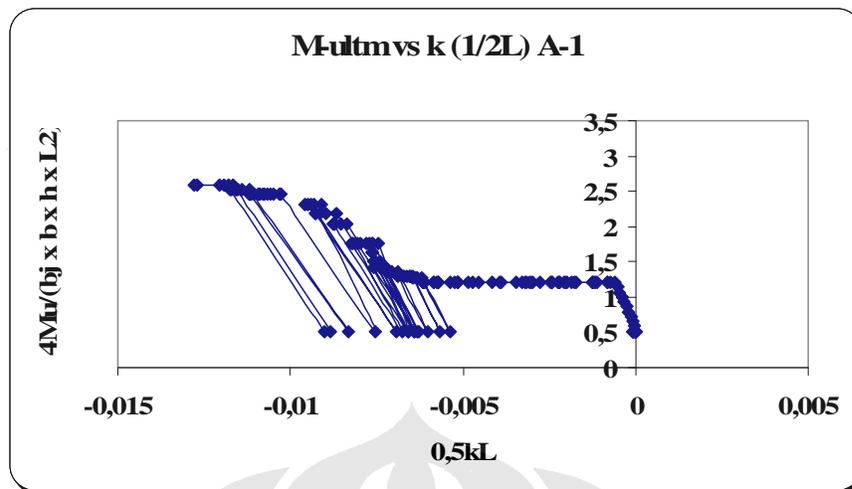
y_4 = merupakan lendutan di perletakan, yaitu nol

Sehingga dengan menggunakan asumsi diatas akan didapat empat persamaan yang berbeda, dimana rumus yang digunakan adalah :

$$y = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D$$

Setelah mendapatkan besarnya nilai dari masing A, B dan C maka akan mendapatkan persamaan garis berupa *polynomial*. Turunan kedua dari persamaan garis *polynomial* yang didapat adalah merupakan besarnya kelengkungan yang didapat pada masing-masing bentang.

Berikut ini adalah grafik yang menggambarkan hubungan momen ultimate dan kelengkungan yang tidak berdimensi :

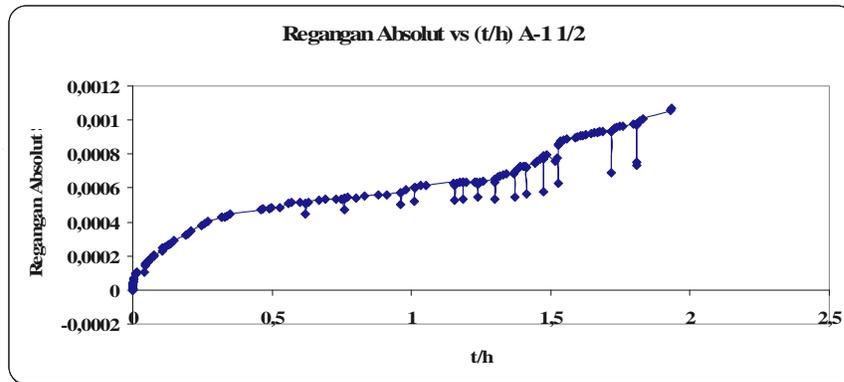


Gambar 4.12. Momen Ultimate Terhadap Kelengkungan Tidak Berdimensi pada Balok 1 Tipe A di Setengah Bentang

Bila melihat gambar 4.12 di atas, untuk mendapatkan besarnya perbandingan dari momen ultimate yang tidak berdimensi adalah dengan membagi besarnya momen ultimate yang didapat dari jumlah momen akibat berat sendiri ditambah dengan momen akibat beban luar berupa beban terpusat P pada sepertiga bentang balok dengan besarnya reaksi diperletakkan dikalikan dengan setengah bentang. Sedangkan untuk mendapatkan besarnya kelengkungan tidak berdimensi adalah dengan cara mengalikan kelengkungan yang didapatkan melalui perhitungan menggunakan lendutan dari pembacaan dial dengan besarnya setengah bentang.

Sehingga hasil dari besarnya perbandingan yang didapat untuk momen ultimate tidak berdimensi adalah sebesar 2,59. Sedangkan untuk kelengkungan tidak berdimensi adalah sebesar 0,012. Dimana besarnya berat jenis (γ) dari balok ini adalah $1,615 \times 10^{-5} \text{ N/mm}^3$.

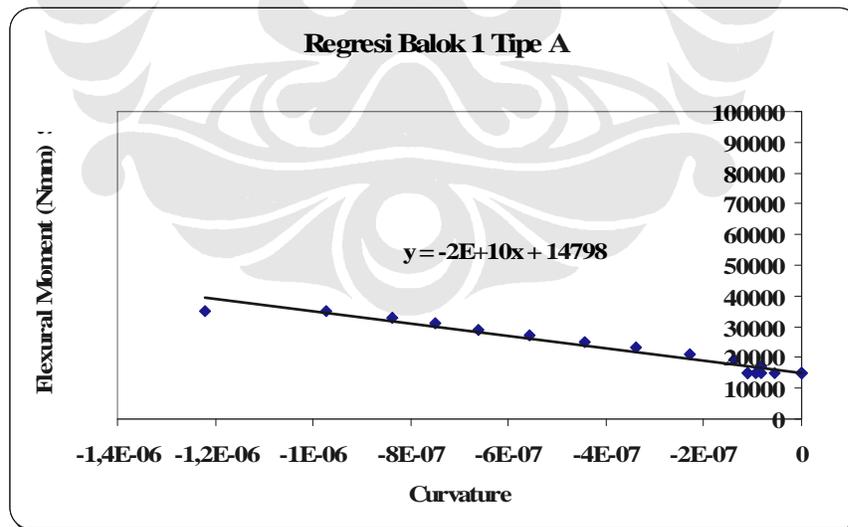
Berikut adalah grafik yang menggambarkan hubungan antara regangan absolute dengan waktu per tinggi balok pada setengah bentang adalah :



Gambar 4.13. Regangan Rangkak Absolut vs (t/h) Balok 1 Tipe A di Setengah Bentang

Pada gambar 4.13 di atas dapat dilihat bahwa pada titik terakhir pada kurva ini, regangan absolute yang terakhir adalah 0,001 pada saat waktu dibagi dengan tinggi balok (t/h), dimana t dalam hari dan h adalah 10 cm, sebesar 1,93 (penjelasan lengkap pada gambar pada lampiran 3).

Berikut adalah grafik yang menggambarkan regresi linier dari momen lentur terhadap kelengkungan untuk mendapatkan besarnya nilai modulus elastisitas pada setengah bentang yang masih berada dalam tahap elastis :

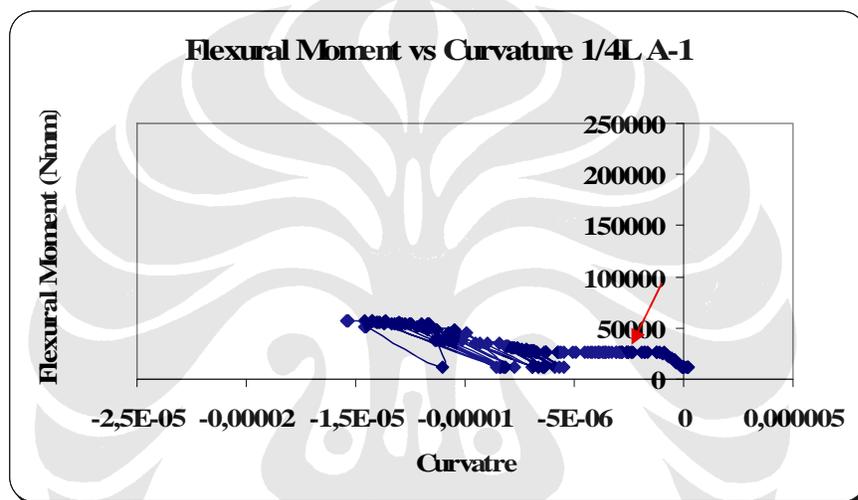


Gambar 4.14. Regresi Balok 1 Tipe A

Bila melihat gambar 4.14 di atas, maka didapatkan persamaan dari regresi adalah $y = -2E10x + 14798$. Sehingga untuk mendapatkan besarnya nilai dari

modulus elastisitas adalah turunan pertama dari persamaan yang didapat dibagi dengan besarnya momen inersia dari balok. Dengan besarnya momen inersia dari balok sebesar 4166667 mm^4 , maka besarnya modulus elastisitas yang didapat adalah sebesar 4800 MPa .

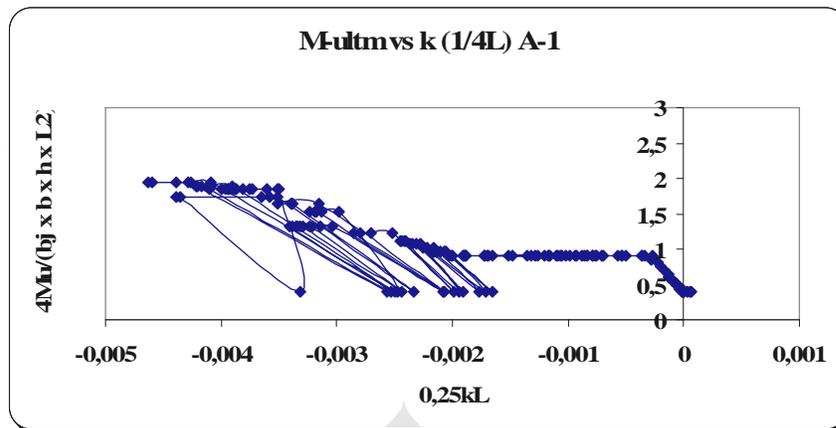
Untuk perhitungan balok ini pada seperempat bentang, sama halnya dengan perhitungan balok ini pada setengah bentang. Grafik momen lentur terhadap kelengkungan pada seperempat bentang, disajikan dalam bentuk grafik dibawah ini.



Gambar 4.15. Flexural Moment vs Curvature Balok 1 di Seperempat Bentang dengan Tipe A

Pada grafik 4.15 di atas, dapat terlihat juga fenomena yang terjadi pada setengah bentang, yaitu fenomena dimana kelengkungan bertambah pada tahap momen lentur yang tetap. Ini menyebabkan adanya rangkai pada tahap ini. Fenomena ini ditunjukkan oleh panah berwarna merah pada grafik berbentuk garis lurus berupa horizontal.

Berikut ini adalah grafik yang menggambarkan hubungan momen ultimate dan kelengkungan yang tidak berdimensi :

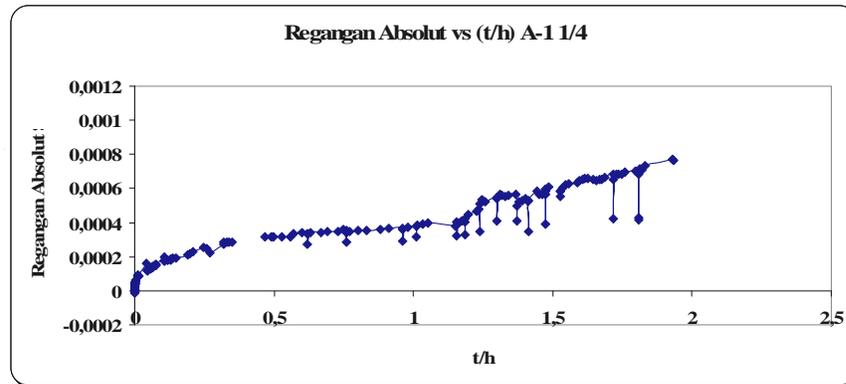


Gambar 4.16. Momen Ultimate Terhadap Kelengkungan Tidak Berdimensi pada Balok 1 Tipe A di Seperempat Bentang

Berdasarkan gambar 4.16 di atas, hasil dari besarnya perbandingan yang didapat untuk momen ultimate tidak berdimensi adalah sebesar 1,95. Sedangkan untuk kelengkungan tidak berdimensi adalah sebesar 0,004. Bila melihat hubungan besarnya nilai perbandingan ini antara setengah bentang dan seperempat bentang, maka dapat diketahui besarnya perbandingan di setengah bentang dan seperempat bentang.

Dimana besarnya perbandingan momen ultimate di setengah bentang dan di seperempat bentang adalah $2,59 : 1,95 = 1,33 : 1$. Maka besarnya nilai momen ultimate untuk setengah bentang adalah 1,33 kali dari besarnya momen ultimate untuk seperempat bentang. Sedangkan untuk besarnya perbandingan kelengkungan di setengah bentang dengan seperempat bentang adalah $0,012 : 0,004 = 3 : 1$. Maka besarnya nilai kelengkungan untuk setengah bentang adalah 3 kali dari besarnya kelengkungan untuk seperempat bentang.

Berikut adalah grafik yang menggambarkan hubungan regangan absolute terhadap waktu per tinggi balok pada balok ini di seperempat bentang adalah :



Gambar 4.17. Regangan Absolut Terhadap (t/h) Balok 2 Tipe A di Seperempat Bentang

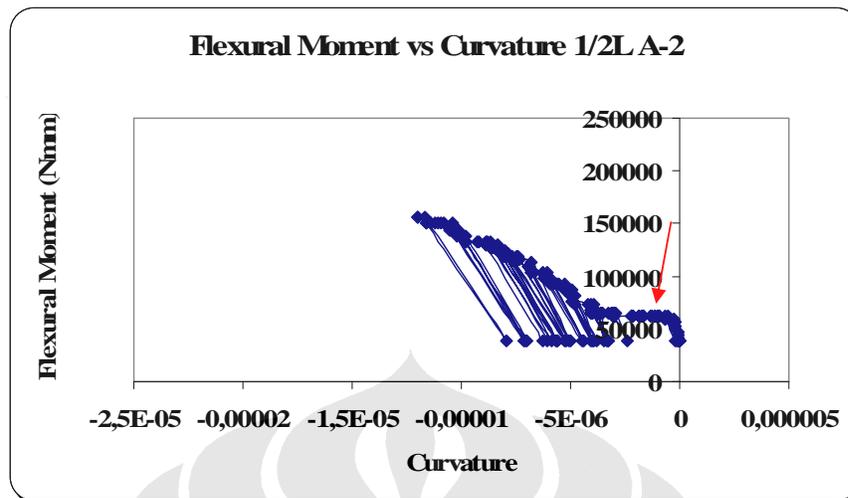
Pada gambar 4.17 di atas dapat diketahui bahwa regangan absolut yang didapat adalah sebesar 0,0007 pada saat (t/h) sebesar 1,93. Bila melihat pada gambar di atas, dapat terlihat adanya beberapa titik yang kosong. Hal ini disebabkan terdapat kesalahan dalam pengambilan data pada saat penelitian (dapat dilihat dalam lampiran 3).

Pada balok berukuran ini dengan tipe pembebanan A, didapatkan besarnya beban ultimate untuk menghancurkan balok ini adalah sebesar 151 N.

- Balok *Bernoulli* ukuran $(12 \times 6 \times 160)$ cm

Pengujian pada balok *Bernoulli* ukuran ini, pada umumnya sama dengan pengujian pada balok ukuran yang lebih kecil. Hanya saja yang membedakan kedua balok tersebut adalah ukurannya, dimana balok *Bernoulli* ukuran $(12 \times 6 \times 160)$ cm ini mempunyai porsi ukuran 1,2 kali lebih besar dari balok *Bernoulli* ukuran $(10 \times 5 \times 130)$ cm. Sehingga penambahan setiap pembebanannya pun mengikuti dari porsi dari ukurannya yaitu sebesar 1,2 kali yang menyebabkan penambahan beban sebesar 6 N setiap penambahan pembebanan yang dilakukan. Untuk deformasi yang dipakai sebagai acuan syarat untuk dapat menambahkan beban pun juga bertambah, yaitu sekitar 0,006 mm ($\delta \leq 0,006$ mm). Yang artinya beban setiap kelipatan 6 N akan ditambahkan pada balok bila deformasi (lendutan) yang terbaca pada setiap dial pembacaan besarnya kurang dari 0,006 mm.

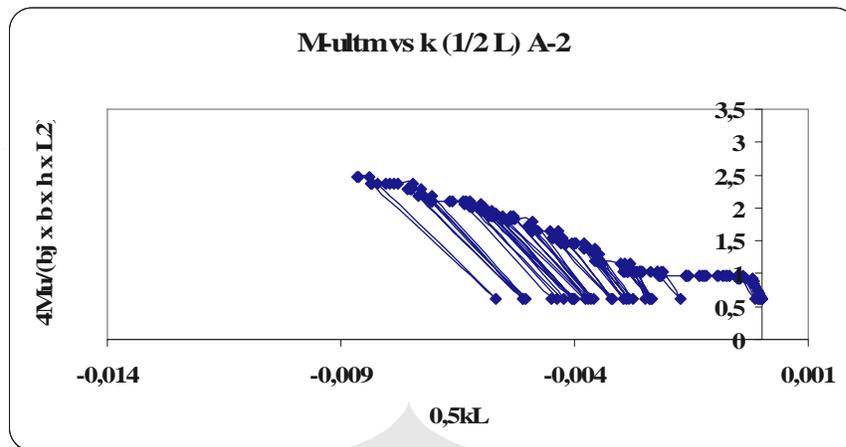
Adapun grafik yang menggambarkan hubungan antara momen lentur dengan besarnya kelengkungan yang terjadi adalah sebagai berikut.



Gambar 4.18. Flexural Moment vs Curvature Balok 2 di Setengah Bentang dengan Tipe Pembebanan A

Pada gambar 4.18 di atas, dapat dilihat terjadi fenomena yang dialami seperti balok yang berukuran lebih kecil yang ditunjukkan oleh panah berwarna merah. Hal ini disebabkan tipe pembebanan yang sama seperti yang dialami oleh balok yang lebih kecil. Sehingga pada balok ini terjadi juga fenomena dimana dengan besarnya momen lentur yang tetap tetapi besarnya kelengkungan yang terjadi bertambah besar.

Berikut ini adalah grafik yang menggambarkan hubungan momen ultimate dan kelengkungan yang tidak berdimensi :

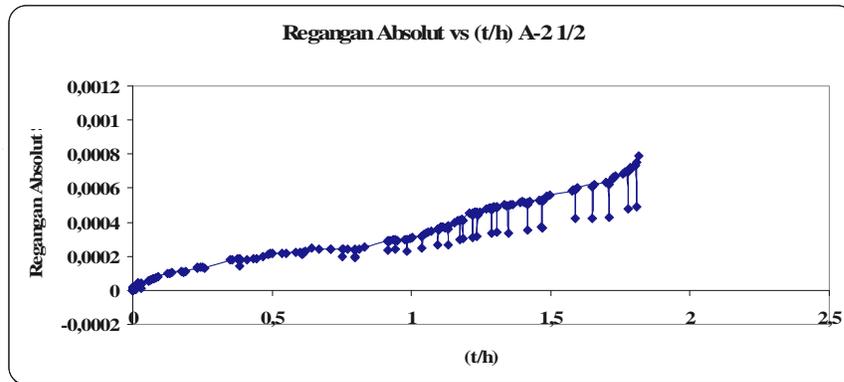


Gambar 4.19. Momen Ultimate Terhadap Kelengkungan Tidak Berdimensi pada Balok 2 Tipe A di Setengah Bentang

Berdasarkan gambar 4.19 di atas, untuk mendapatkan besarnya perbandingan dari momen ultimate yang tidak berdimensi dan besarnya kelengkungan tidak berdimensi sama dengan balok berukuran kecil. Sehingga hasil dari besarnya perbandingan yang didapat untuk momen ultimate tidak berdimensi adalah sebesar 2,47. Sedangkan untuk kelengkungan tidak berdimensi adalah sebesar 0,009.

Bila besarnya nilai perbandingan yang didapat pada balok berukuran kecil dibandingkan dengan balok berukuran besar adalah $2,59 : 2,47 = 1 : 0,95$ untuk momen ultimatanya. Sedangkan besarnya perbandingan kelengkungan yang didapat antara balok kecil dengan balok besar adalah $0,012 : 0,009 = 1 : 0,75$. Dapat dilihat bahwa besarnya nilai perbandingan menunjukkan besarnya nilai untuk balok berukuran besar lebih kecil dibandingkan dengan nilai balok berukuran besar. Hal ini dapat juga terlihat dengan bentuk grafik momen lentur pada balok berukuran kecil lebih renggang dibandingkan dengan balok berukuran besar.

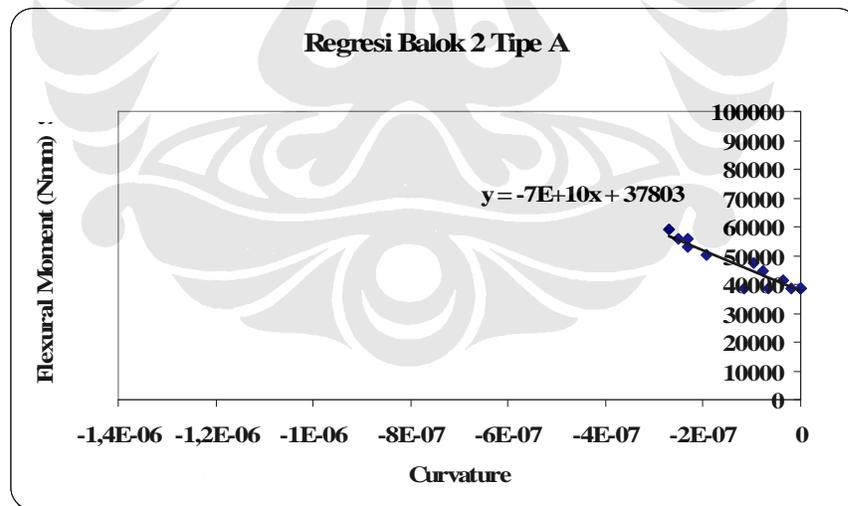
Berikut adalah grafik yang menggambarkan hubungan regangan absolute terhadap waktu per tinggi balok pada balok ini di setengah bentang :



Gambar 4.20. Regangan Absolut vs (t/h) Balok 2 Tipe A di Setengah Bentang

Pada gambar 4.20 di atas dapat terlihat bahwa besarnya regangan absolute terakhir sebesar 0,0008 pada saat (t/h) sebesar 1,82 (penjelasan lengkap gambar pada lampiran 3).

Berikut adalah grafik yang menggambarkan regresi linier dari momen lentur terhadap kelengkungan untuk mendapatkan besarnya nilai modulus elastisitas pada setengah bentang yang masih berada dalam tahap elastis :

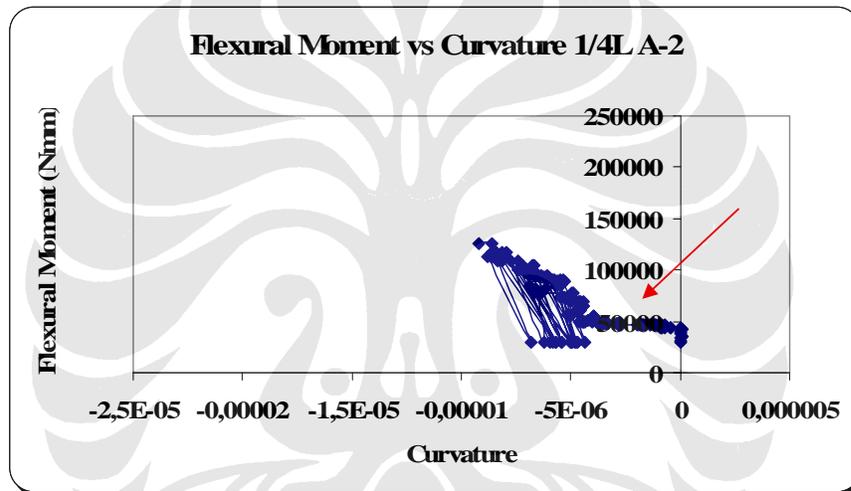


Gambar 4.21. Regresi Balok 2 Tipe A

Bila melihat gambar 4.21 di atas, maka didapatkan persamaan dari regresi adalah $y = -7E10x + 37803$. Sehingga untuk mendapatkan besarnya nilai dari modulus elastisitas adalah turunan pertama dari persamaan yang didapat dibagi

dengan besarnya momen inersia dari balok. Dengan besarnya momen inersia dari balok sebesar 8640000 mm^4 , maka besarnya modulus elastisitas yang didapat adalah sebesar $8101,85 \text{ MPa}$. Sehingga besarnya perbandingan nilai dari modulus elastisitas yang didapat antara balok berukuran kecil dengan balok berukuran besar adalah $4800 : 8101,85 = 1 : 1,69$.

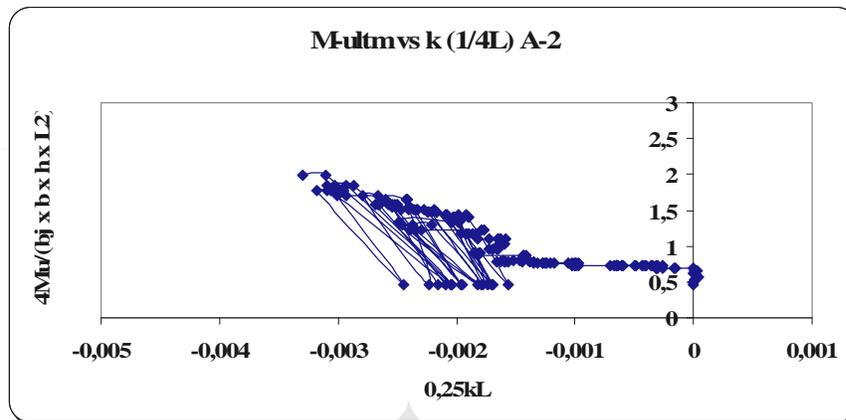
Untuk perhitungan balok ini pada seperempat bentang, sama halnya dengan perhitungan balok ini pada setengah bentang. Grafik momen lentur terhadap kelengkungan pada seperempat bentang, disajikan dalam bentuk grafik dibawah ini.



Gambar 4.22. Flexural Moment vs Curvature Balok 2 di Seperempat Bentang dengan Tipe Pembebanan A

Pada gambar 4.22 di atas, dapat dilihat bahwa data yang disajikan dalam bentuk grafik tidak terdapat data yang lengkap pada saat-saat awal pengangkatan beban (*unloading*). Hal ini disebabkan oleh adanya factor yang menyebabkan pengambilan data pada saat pembacaan dial untuk lendutan seperempat bentang tidak akurat.

Berikut ini adalah grafik yang menggambarkan hubungan momen ultimate dan kelengkungan yang tidak berdimensi :



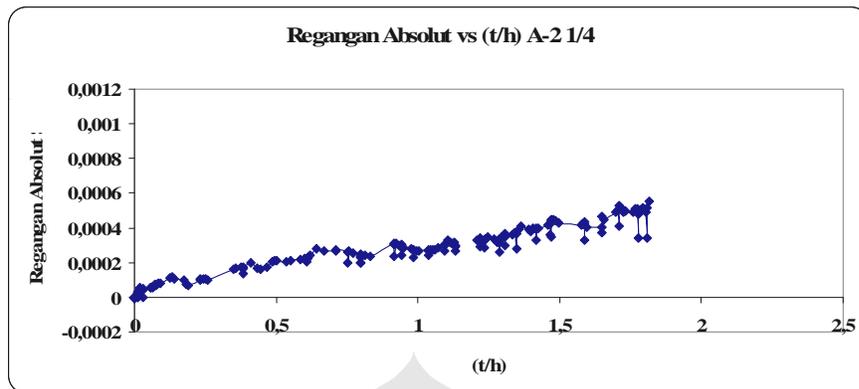
Gambar 4.23. Momen Ultimate Terhadap Kelengkungan Tidak Berdimensi pada Balok 2 Tipe A di Seperempat Bentang

Berdasarkan gambar 4.23 di atas, hasil dari besarnya perbandingan yang didapat untuk momen ultimate tidak berdimensi adalah sebesar 1,85. Sedangkan untuk kelengkungan tidak berdimensi adalah sebesar 0,003. Bila melihat hubungan besarnya nilai perbandingan ini antara setengah bentang dan seperempat bentang, maka dapat diketahui besarnya perbandingan di setengah bentang dan seperempat bentang.

Dimana besarnya perbandingan momen ultimate di setengah bentang dan di seperempat bentang adalah $2,47 : 1,85 = 1,34 : 1$. Maka besarnya nilai momen ultimate untuk setengah bentang adalah 1,34 kali dari besarnya momen ultimate untuk seperempat bentang. Sedangkan untuk besarnya perbandingan kelengkungan di setengah bentang dengan seperempat bentang adalah $0,009 : 0,003 = 3 : 1$. Maka besarnya nilai kelengkungan untuk setengah bentang adalah tiga kali dari besarnya kelengkungan untuk seperempat bentang.

Sedangkan untuk besarnya perbandingan momen ultimate di seperempat bentang antara balok berukuran kecil dengan balok berukuran besar adalah $1,95 : 1,85 = 1 : 0,95$. Untuk besarnya perbandingan kelengkungan di seperempat bentang antara balok berukuran kecil dengan balok berukuran besar adalah $0,004 : 0,003 = 1 : 0,75$. Hal ini sama terjadi seperti pada setengah bentang.

Berikut adalah grafik yang menggambarkan hubungan antara regangan absolute terhadap waktu per tinggi balok pada balok ini di seperempat bentang adalah :



Gambar 4.24. Regangan Absolut vs (t/h) Balok 2 Tipe A di Seperempat Bentang

Pada gambar 4.24 di atas dapat terlihat bahwa regangan absolute terakhir adalah sebesar 0,0006 pada saat (t/h) sebesar 1,82. Gambar yang ada tidak lengkap dalam penyajian, hal ini disebabkan adanya kesalahan dalam pengambilan data yang ada (penjelasan lengkap gambar pada lampiran 3).

Balok ini runtuh di beban 270 N akibat adanya beban kejut yang disebabkan adanya pemancangan tiang pancang di sekitar tempat penelitian. Bila melihat dari besarnya perbandingan yang ada antara balok berukuran kecil dengan berukuran besar, nilai dari balok berukuran kecil lebih besar dari nilai balok berukuran besar baik di setengah bentang maupun di seperempat bentang. Hal ini mungkin terjadi akibat dari besarnya material yang sama terutama material agregat kasar yang dalam hal ini adalah plastic. Balok besar yang dicampur dengan material yang mempunyai gradasi yang sama dengan balok kecil maka akan mengalami pemadatan yang lebih cepat. Sehingga rongga yang terdapat dalam balok besar jadi lebih sedikit. Sehingga hal ini mengakibatkan kuat tekan pada balok besar meningkat dan lebih getas dibandingkan dengan balok berukuran kecil.

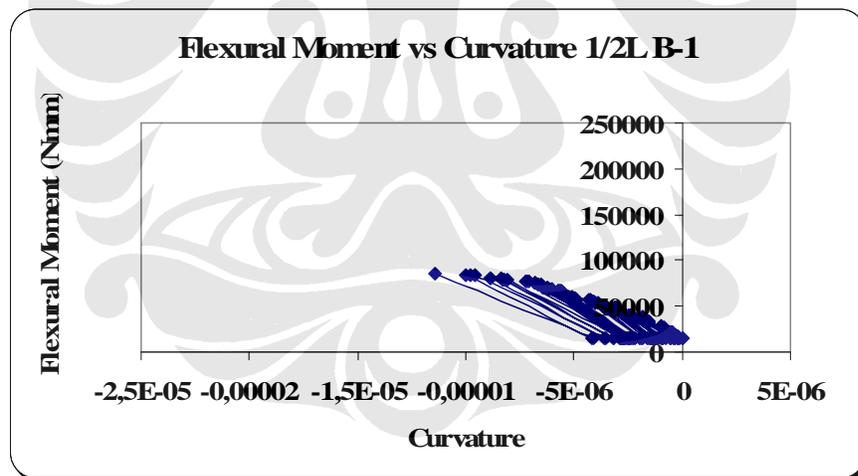
4.3.5.2 Pengujian Balok *Bernoulli* Tipe B

Pada pengujian balok *Bernoulli* untuk tipe yang kedua ini, pembeban diberikan pada balok, menggunakan metode fungsi waktu terbatas cepat yang artinya bahwa beban akan diberikan (*loading*) selama sekitar 45 menit dan beban

diangkat (*unloading*) selama sekitar 30 menit. Pola pembebanan yang ditambahkan sama dengan pola pembebanan yang dilakukan pada pembebanan tipe pertama. Beban akan diberikan sebesar 5 N dan kelipatannya untuk balok *Bernoulli* berukuran $(10 \times 5 \times 130)$ cm dan 6 N serta kelipatannya untuk balok *Bernoulli* berukuran $(12 \times 6 \times 160)$ cm. Selama masa pembebanan (*loading*) dan pengangkatan beban (*unloading*), pembacaan dial seharusnya dibaca minimal tiga kali. Tetapi karena adanya beberapa factor, maka untuk beberapa data hanya dibaca sekali. Untuk lebih jelasnya pada kedua balok tersebut, maka akan dibahas sebagai berikut.

- Balok *Bernoulli* ukuran $(10 \times 5 \times 130)$ cm

Pada balok berukuran ini, pembebanan (*loading*) akan ditambahkan kelipatan 5 N selama 45 menit dengan masa pengangkatan beban (*unloading*) selama 30 menit.



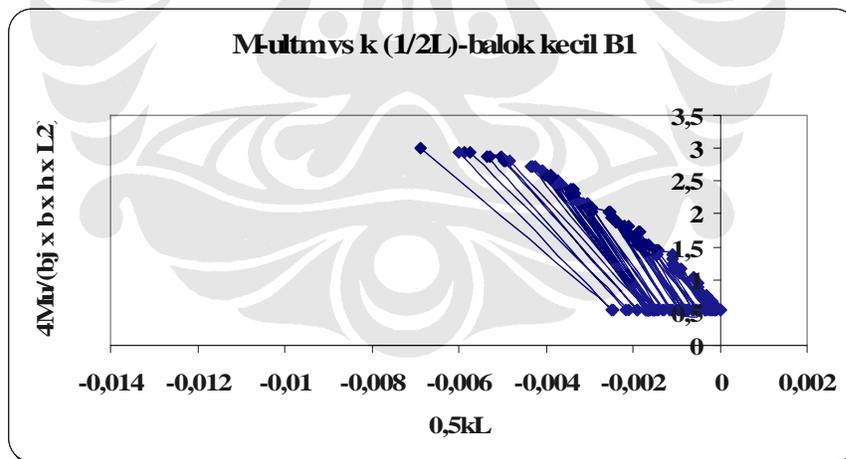
Gambar 4.25. Flexural Moment vs Curvature Balok 1 di Setengah Bentang dengan Tipe Pembebanan B

Pada gambar 4.25 di atas, dapat dilihat bahwa bentuk grafik yang ada tidaklah sama dengan bentuk grafik pada pembebanan tipe pertama di setengah bentang. Hal ini terjadi karena pada tipe pembebanan ini, penambahan beban yang ada relative cepat sehingga tidak terdapat adanya fenomena rangkai yang terlihat

dengan jelas. Sehingga bentuk grafik yang ada lebih mendekati grafik elastisitas beton sebelum akhirnya balok tersebut runtuh. Pengangkatan beban pun dilakukan dengan waktu yang relative cepat, sehingga terdapat kemungkinan balok dalam masa elastis tetapi langsung diberikan beban yang lebih besar lagi karena adanya pembatasan waktu pengangkatan beban (*unloading*).

Pada pembebanan (*loading*) dengan cara static yang cukup cepat ini, balok telah mengalami keruntuhan. Balok mengalami keruntuhan pada beban 175 N dengan pembacaan dial pada setengah bentang sebesar 2,06 mm. Pada waktu sebelum terjadinya keruntuhan, terjadi retak pada balok sebesar $\pm 3\text{cm}$, dan sampai akhirnya langsung runtuh seketika. Bila melihat dari pola keruntuhannya yang begitu cepat, keruntuhan pada balok ini mengalami keruntuhan getas (*brittle*). Sehingga pada akhirnya balok itu runtuh seketika dengan putaran dial pada setengah bentang yang cepat sebelum akhirnya menyentuh pembacaan dial 2,06 mm.

Berikut ini adalah grafik yang menggambarkan hubungan momen ultimate dan kelengkungan yang tidak berdimensi :



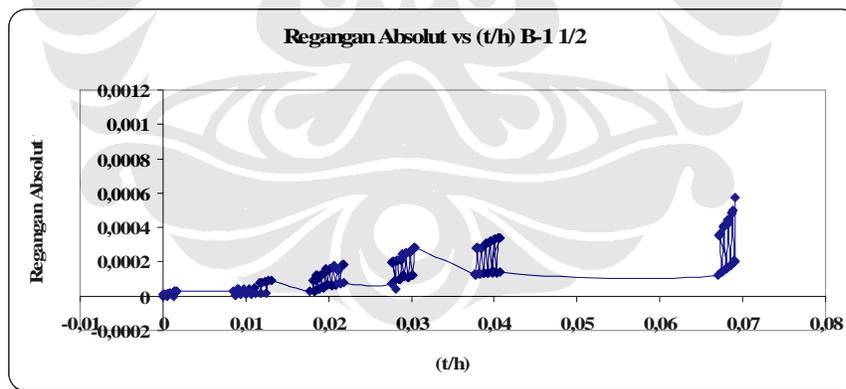
Gambar 4.26. Momen Ultimate Terhadap Kelengkungan Tidak Berdimensi pada Balok 1 Tipe B di Setengah Bentang

Bila melihat gambar 4.26 di atas, untuk mendapatkan besarnya perbandingan dari momen ultimate yang tidak berdimensi adalah dengan membagi besarnya momen ultimate yang didapat dari jumlah momen akibat berat

sendiri ditambah dengan momen akibat beban luar berupa beban terpusat P pada sepertiga bentang balok dengan besarnya reaksi diperletakkan dikalikan dengan setengah bentang. Sedangkan untuk mendapatkan besarnya kelengkungan tidak berdimensi adalah dengan cara mengalikan kelengkungan yang didapatkan melalui perhitungan menggunakan lendutan dari pembacaan dial dengan besarnya setengah bentang.

Sehingga hasil dari besarnya perbandingan yang didapat untuk momen ultimate tidak berdimensi adalah sebesar 3,01. Sedangkan untuk kelengkungan tidak berdimensi adalah sebesar 0,007. Maka besarnya perbandingan momen ultimate balok berukuran kecil antara tipe A dengan tipe B adalah $2,59 : 3,01 = 1 : 1,16$. Sedangkan untuk besarnya perbandingan kelengkungan antara tipe A dengan tipe B adalah $0,012 : 0,007 = 1 : 0,58$. Dimana pada balok ini, besarnya berat jenis (ρ) balok adalah $1,569 \times 10^{-5} \text{ N/mm}^3$.

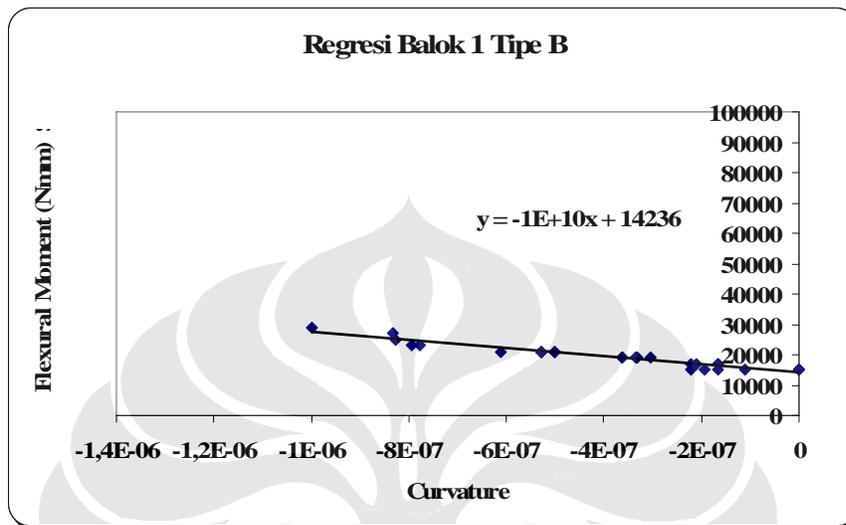
Berikut adalah grafik yang menggambarkan hubungan antara regangan absolut terhadap waktu per tinggi balok pada balok ini di setengah bentang adalah :



Gambar 4.27. Regangan Absolut vs (t/h) Balok 1 Tipe C di Setengah Bentang

Pada gambar 4.27 di atas dapat terlihat bahwa pembacaan regangan absolute terakhir adalah sebesar 0,0006 pada saat (t/h) sebesar 0,07 (penjelasan lengkap pada gambar terdapat dalam lampiran 3).

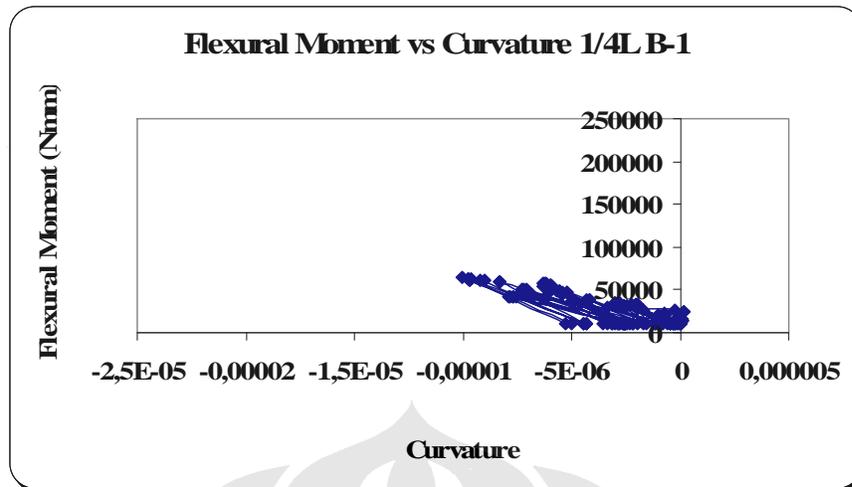
Berikut adalah grafik yang menggambarkan regresi linier dari momen lentur terhadap kelengkungan untuk mendapatkan besarnya nilai modulus elastisitas pada setengah bentang yang masih berada dalam tahap elastis :



Gambar 4.28. Regresi Balok 1 Tipe B

Bila melihat gambar 4.28 di atas, maka didapatkan persamaan dari regresi adalah $y = -1E10x + 14798$. Sehingga untuk mendapatkan besarnya nilai dari modulus elastisitas adalah turunan pertama dari persamaan yang didapat dibagi dengan besarnya momen inersia dari balok. Dengan besarnya momen inersia dari balok sebesar 4166667 mm^4 , maka besarnya modulus elastisitas yang didapat adalah sebesar 2400 MPa . Sehingga besarnya perbandingan modulus elastisitas balok kecil antara tipe A dan tipe B pada setengah bentang adalah $4800 : 2400 = 1 : 0,5$

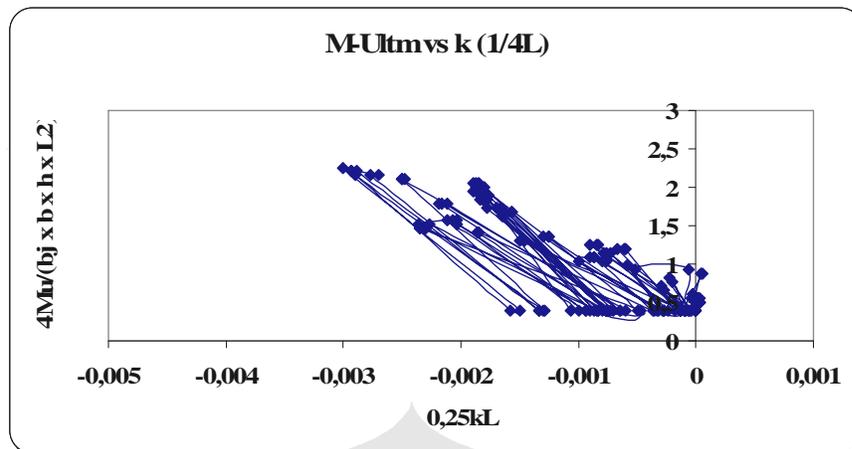
Untuk perhitungan balok ini pada seperempat bentang, sama halnya dengan perhitungan balok ini pada setengah bentang. Grafik momen lentur pada seperempat bentang, disajikan dalam bentuk grafik dibawah ini.



Gambar 4.29. Flexural Moment vs Curvature Balok 1 di Seperempat Bentang dengan Tipe Pembebanan B

Pada gambar 4.29 di atas dapat dilihat bahwa grafik yang menggambarkan kelengkungan di atas sama seperti gambar 4.25 yang menggambarkan momen lentur pada setengah bentang dimana pada tipe pembebanan ini tidak terlihat jelas adanya rangkai pada balok. Bentuk grafiknya pun kurang beraturan, hal ini mungkin saja disebabkan oleh adanya gaya lintang yang mempengaruhi lendutan yang didapat dari hasil pembacaan dial serta pengambilan data yang kurang akurat. Bila pada setengah bentang dimana gaya lintang yang terjadi adalah nol, maka pada seperempat bentang terdapat gaya lintang yang mempengaruhi besarnya lendutan.

Berikut ini adalah grafik yang menggambarkan hubungan momen ultimate dan kelengkungan yang tidak berdimensi :



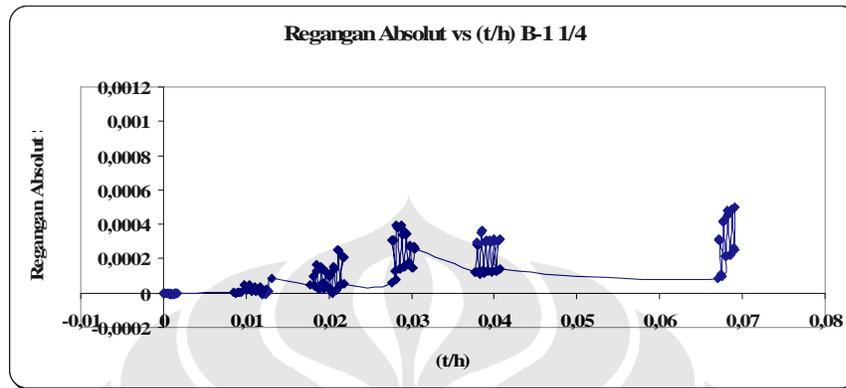
Gambar 4.30. Momen Ultimate Terhadap Kelengkungan Tidak Berdimensi pada Balok 1 Tipe B di Seperempat Bentang

Bila melihat gambar 4.30 di atas, untuk mendapatkan besarnya perbandingan dari momen ultimate yang tidak berdimensi adalah dengan membagi besarnya momen ultimate yang didapat dari jumlah momen akibat berat sendiri ditambah dengan momen akibat beban luar berupa beban terpusat P pada sepertiga bentang balok dengan besarnya reaksi diperletakkan dikalikan dengan setengah bentang. Sedangkan untuk mendapatkan besarnya kelengkungan tidak berdimensi adalah dengan cara mengalikan kelengkungan yang didapatkan melalui perhitungan menggunakan lendutan dari pembacaan dial dengan besarnya setengah bentang.

Sehingga hasil dari besarnya perbandingan yang didapat untuk momen ultimate tidak berdimensi adalah sebesar 2,26. Sedangkan untuk kelengkungan tidak berdimensi adalah sebesar 0,003. Maka besarnya perbandingan momen ultimate balok berukuran kecil antara tipe A dengan tipe B di seperempat bentang adalah $1,95 : 2,26 = 1 : 1,16$. Sedangkan untuk besarnya perbandingan kelengkungan antara tipe A dengan tipe B adalah $0,004 : 0,003 = 1 : 0,75$.

Untuk perbandingan besarnya momen ultimate di seperempat bentang dan di setengah bentang adalah $2,26 : 3,01 = 1 : 1,33$. Sedangkan untuk besarnya perbandingan kelengkungan di seperempat bentang dengan di setengah bentang adalah $0,003 : 0,006 = 1 : 2$.

Berikut adalah grafik yang menggambarkan hubungan antara regangan absolut terhadap waktu per tinggi balok pada balok ini di seperempat bentang adalah :

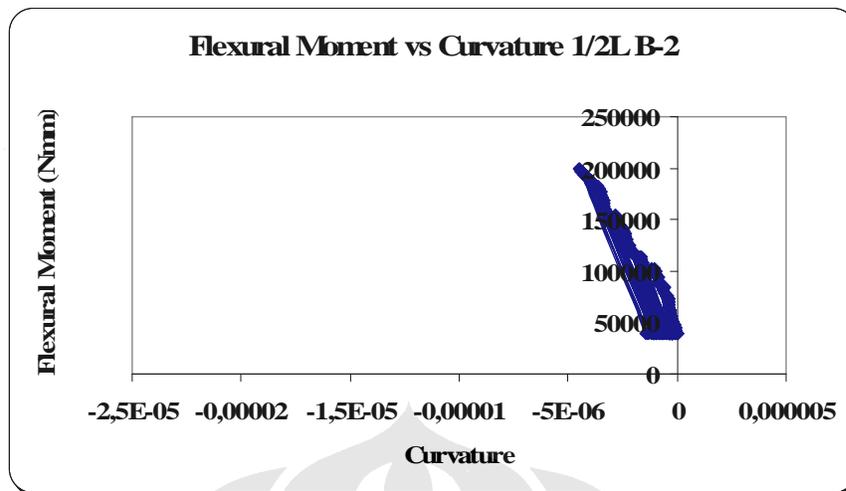


Gambar 4.31. Regangan Absolut vs (t/h) Balok B Tipe 1 di Seperempat Bentang

Pada gambar 4.31 di atas dapat terlihat bahwa besarnya regangan absolute terakhir yang didapat adalah sebesar 0,0005 pada saat (t/h) adalah sebesar 0,07 (penjelasan lengkap pada gambar terdapat dalam lampiran 3).

- Balok *Bernoulli* ukuran $(12 \times 6 \times 160)$ cm

Pada balok berukuran ini, pembebanan (*loading*) akan ditambahkan kelipatan 6 N selama 45 menit dengan masa pengangkatan beban (*unloading*) selama 30 menit. Seperti halnya pada tipe pembebanan yang pertama, maka besarnya beban yang ditambahkan pada balok berukuran $(12 \times 6 \times 160)$ cm ini juga 1,2 kali besarnya penambahan beban pada balok berukuran $(10 \times 5 \times 130)$ cm.



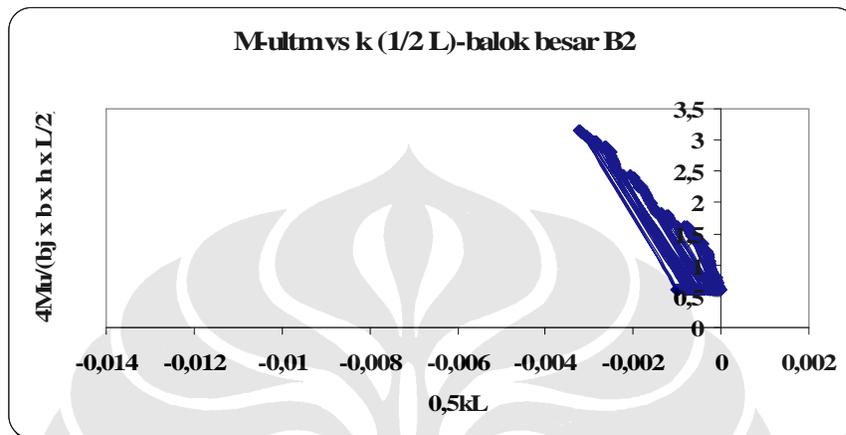
Gambar 4.32. Flexural Moment vs Curvature Balok 2 di Setengah Bentang dengan Tipe Pembebanan B

Pada gambar 4.32 di atas, dapat terlihat bentuk grafik yang ada tidaklah jauh berbeda dengan bentuk grafik pada balok dengan ukuran $(10 \times 5 \times 130)$ cm. Pada balok ini, terjadi keruntuhan balok (*rupture*) pada beban 336 N pada pembacaan dial yang didapat pada setengah bentang adalah 1,17 mm. Sehingga untuk perbandingan perbedaan antara balok berukuran kecil dengan balok berukuran besar pada tipe pembebanan yang sama juga dengan balok besar yang lain dengan tipe pembebanan yang berbeda dimana terjadi perbedaan besarnya beban saat kedua balok tersebut runtuh dapat dibuat beberapa hasil sebagai berikut :

- Besarnya momen ultimate tidak berdimensi yang menyebabkan balok runtuh pada balok berukuran kecil adalah 3,01 sedangkan balok berukuran besar adalah 3,16. Sehingga perbandingan momen ultimate yang menyebabkan runtuh antara kedua balok tersebut adalah $3,01 : 3,16 = 1 : 1,05$. Sedangkan untuk perbandingan antara tipe A dan tipe B pada ukuran balok yang sejenis adalah $2,47 : 3,16 = 1 : 1,28$.
- Besarnya kelengkungan tidak berdimensi akhir yang terjadi antara kedua balok tersebut adalah 0,006 untuk balok kecil dan 0,003 untuk balok besar. Sehingga perbandingan kelengkungan kedua balok tersebut adalah $1 : 0,5$. Sedangkan

untuk perbandingan antara tipe A dan tipe B pada ukuran yang sejenis adalah $0,009 : 0,003 = 1 : 0,33$.

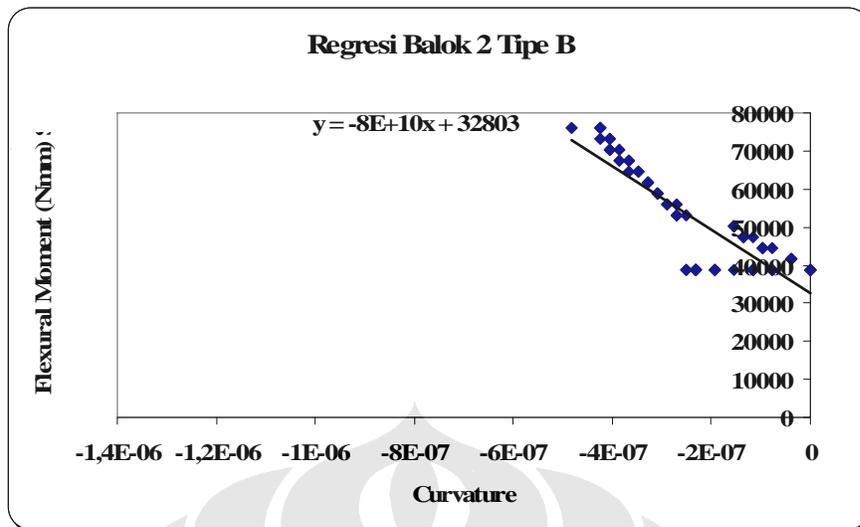
Besarnya perbandingan pada momen ultimate dan kelengkungan tidak berdimensi pada balok 2 tipe B dapat dilihat melalui grafik berikut :



Gambar 4.33. Momen Ultimate Terhadap Kelengkungan Tidak Berdimensi pada Balok 2 Tipe B di Setengah Bentang

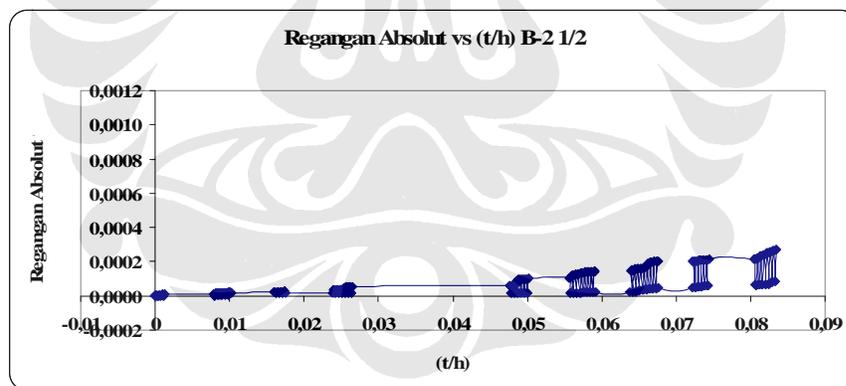
- Besarnya modulus elastisitas yang ada sekitar 2400 MPa untuk balok berukuran kecil dan sekitar $9259,26 \text{ MPa}$ untuk balok berukuran besar. Sehingga besarnya perbandingan yang ada sekitar $1 : 3,86$. Sedangkan besarnya perbandingan modulus elastisitas balok 2 antara tipe A dan tipe B adalah $8101,85 : 9259,26 = 1 : 1,143$.

Besarnya modulus elastisitas untuk balok 2 tipe B yang didapat berdasarkan dari regresi grafik sebagai berikut :



Gambar 4.34. Regresi Balok 2 Tipe B

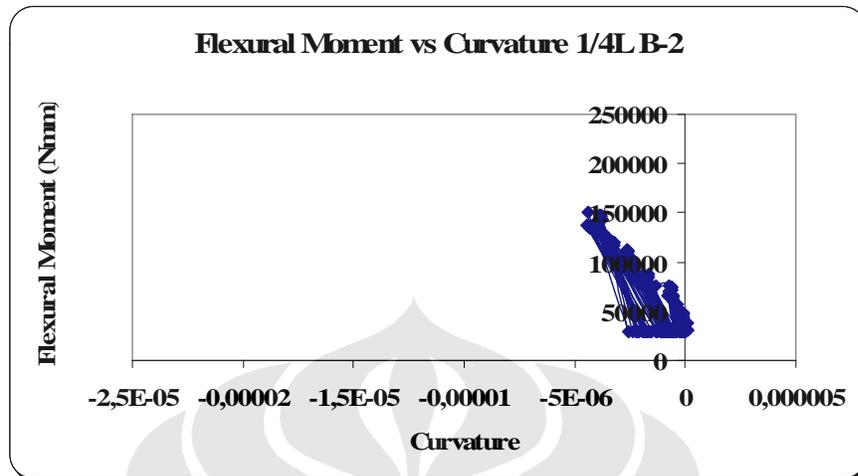
Berikut adalah grafik yang menggambarkan hubungan antara regangan absolut terhadap waktu per tinggi balok pada balok ini selama pembebanan di setengah bentang adalah :



Gambar 4.35. Regangan Absolut vs (t/h) Balok 2 Tipe B di Setengah Bentang

Pada gambar 4.35 di atas dapat terlihat bahwa besarnya regangan absolute adalah sebesar 0,0003 pada saat (t/h) sebesar 0,08 (penjelasan lengkap pada gambar terdapat dalam lampiran 3).

Untuk perhitungan balok ini pada seperempat bentang, sama halnya dengan perhitungan balok ini pada setengah bentang. Grafik momen lentur pada seperempat bentang, disajikan dalam bentuk grafik dibawah ini.



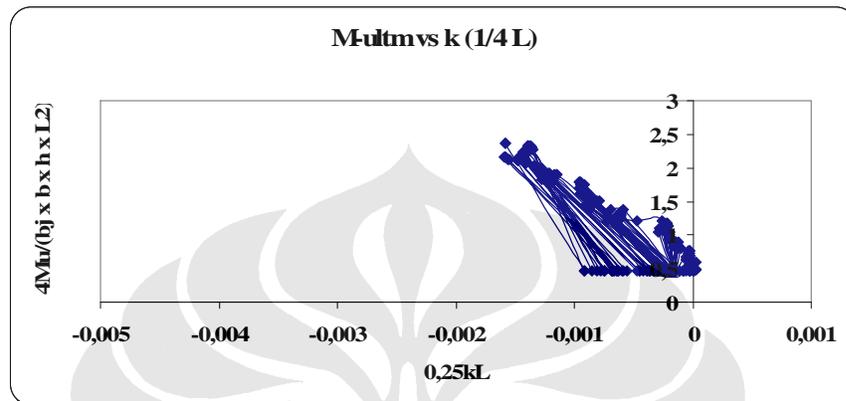
Gambar 4.36. Flexural Moment vs Curvature Balok 2 di Seperempat Bentang dengan Tipe Pembebanan B

Pada gambar 4.36 di atas, dapat terlihat bentuk grafik yang ada tidaklah jauh berbeda dengan bentuk grafik pada balok dengan ukuran $(10 \times 5 \times 130)$ cm. Pada balok ini, terjadi keruntuhan balok (*rupture*) pada beban 336 N pada pembacaan dial yang didapat pada seperempat bentang adalah 0,87 mm. Sehingga untuk perbandingan perbedaan antara balok berukuran kecil dengan balok berukuran besar pada tipe pembebanan yang sama juga antar balok besar dengan tipe pembebanan yang berbeda dimana terjadi perbedaan besarnya beban saat kedua balok tersebut runtuh dapat dibuat beberapa hasil sebagai berikut :

- Besarnya perbandingan kelengkungan akhir tidak berdimensi yang terjadi pada balok tersebut di seperempat bentang dengan di setengah bentang adalah $0,0015 : 0,003 = 1 : 2$. Untuk besarnya perbandingan antara balok 1 dan balok 2 dengan tipe pembebanan B adalah $0,003 : 0,0015 = 1 : 0,5$. Sedangkan untuk besarnya perbandingan balok besar antara tipe pembebanan A dan tipe pembebanan B adalah $0,003 : 0,0015 = 1 : 0,5$.
- Besarnya perbandingan momen ultimate yang tidak berdimensi yang terjadi pada balok tersebut di seperempat bentang dengan di setengah bentang adalah $2,37 : 3,16 = 1 : 1,33$. Untuk besarnya perbandingan antara balok 1 dan balok 2 dengan tipe pembebanan B adalah $2,09 : 2,37 = 1 : 1,13$. Untuk besarnya

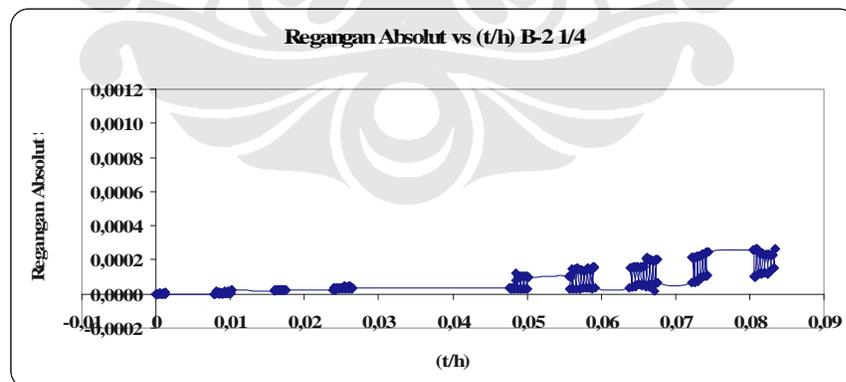
perbandingan balok besar antara tipe pembebanan A dan tipe pembebanan B adalah $1,85 : 2,37 = 1 : 1,28$.

Besarnya perbandingan pada momen ultimate dan kelengkungan tidak berdimensi pada balok 2 tipe B dapat dilihat melalui grafik berikut :



Gambar 4.37. Momen Ultimate Terhadap Kelengkungan Tidak Berdimensi pada Balok 2 Tipe B di Seperempat Bentang

Berikut adalah grafik yang menggambarkan hubungan antara regangan absolut terhadap waktu per tinggi balok pada balok ini di seperempat bentang selama masa pembebanan adalah :



Gambar 4.38. Regangan Absolut vs (t/h) Balok 2 Tipe B di Seperempat Bentang

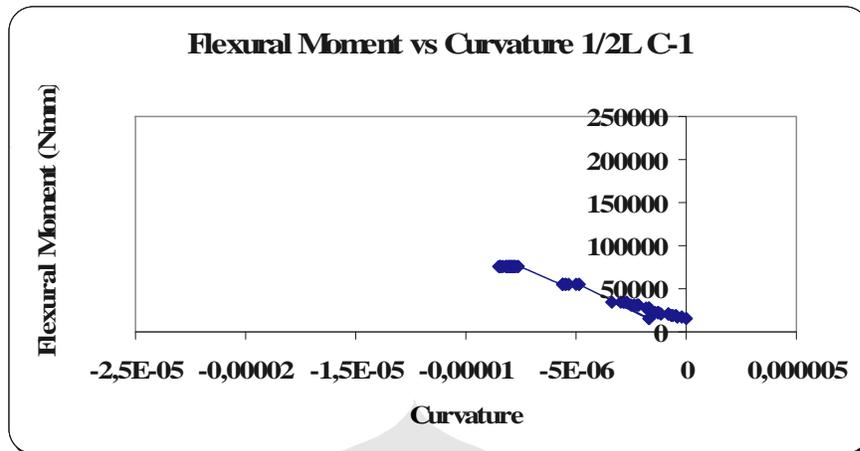
Pada gambar 4.38 di atas dapat terlihat bahwa besarnya regangan absolute yang didapat adalah sebesar 0,0003 pada saat (t/h) sebesar 0,08 (penjelasan lengkap gambar terdapat dalam lampiran 3).

4.3.5.3 Pengujian Balok *Bernoulli* Tipe C

Pada pengujian balok *Bernoulli* untuk tipe yang ketiga ini, pembeban diberikan pada balok, menggunakan metode fungsi waktu terbatas cukup lama yang artinya bahwa beban akan diberikan (*loading*) selama sekitar 24 jam dan beban diangkat (*unloading*) maksimal dua kali dengan kisaran waktu maksimal sekitar 6 jam. Pola pembebanan yang ditambahkan sama dengan pola pembebanan yang dilakukan pada pembebanan tipe pertama. Beban akan diberikan sebesar 5 N dan kelipatannya untuk balok *Bernoulli* berukuran $(10 \times 5 \times 130)$ cm dan 6 N serta kelipatannya untuk balok *Bernoulli* berukuran $(12 \times 6 \times 160)$ cm . Selama masa pembebanan (*loading*) dan pengangkatan beban (*unloading*), pembacaan dial seharusnya dibaca minimal tiga kali. Untuk lebih jelasnya pada kedua balok tersebut, maka akan dibahas sebagai berikut.

- Balok berukuran $(10 \times 5 \times 130)$ cm

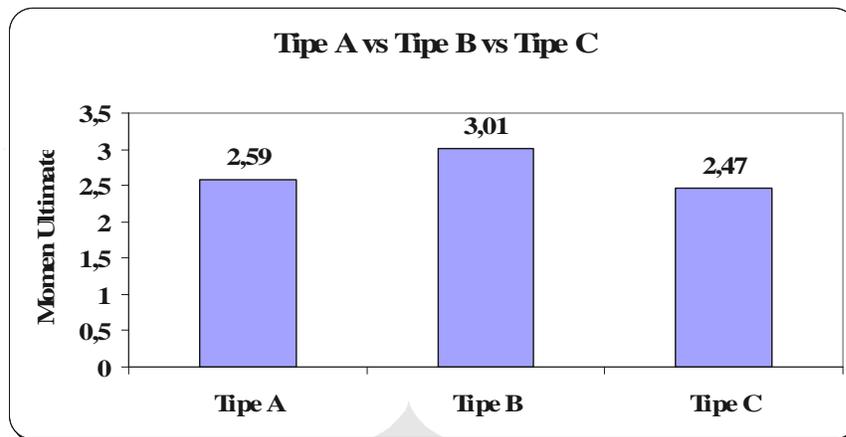
Pada balok 1 tipe pembebanan C ini balok telah runtuh di beban maksimal sebesar 151 N dengan pembacaan dial terakhir pada setengah bentang adalah sebesar 1,53 mm . Berikut adalah grafik yang menggambarkan *flexural moment* terhadap *curvature* pada setengah bentang untuk balok 1 tipe C :



Gambar 4.39. Flexural Moment vs Curvature Balok 1 di Setengah Bentang dengan Tipe Pembebanan C

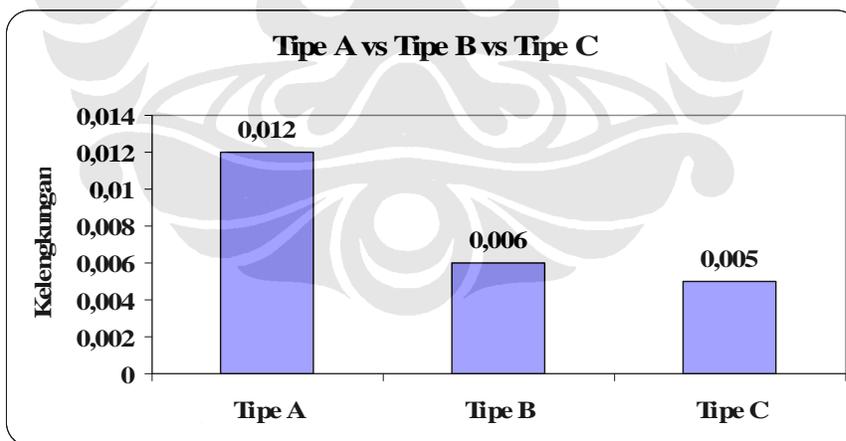
Pada gambar 4.39 di atas, dapat terlihat bahwa pada tipe pembebanan ini sama halnya dengan tipe pembebanan B dimana pada kedua tipe pembebanan ini tidak terlihat adanya fenomena rangkai seperti tipe pembebanan A. Pada tipe pembebanan ini juga pengangkatan beban (*unloading*) hanya dilakukan sekali pada tahap pembebanan 50 N ke tahap pembebanan 100 N. Hal ini dilakukan karena pada tahap pembebanan 100 N memerlukan beban yang cukup banyak. Sehingga untuk menghemat penggunaan beban maka *unloading* dilakukan untuk mengganti beban sebelumnya dengan beban sebesar 100 N yang lebih efisien. Sehingga untuk perbandingan perbedaan antar balok berukuran kecil tipe pembebanan yang berbeda dimana terjadi perbedaan besarnya beban saat kedua balok tersebut runtuh dapat dibuat beberapa hasil sebagai berikut :

- Besarnya momen ultimate tidak berdimensi yang menyebabkan balok runtuh pada balok dengan tipe pembebanan A adalah 2,59. Untuk tipe pembebanan B adalah 3,01. Dan untuk tipe pembebanan C adalah 2,47. Sehingga perbandingan balok kecil untuk ketiga tipe pembebanan adalah $2,59 : 3,01 : 2,47 = 1 : 1,16 : 0,95$. Ketiga perbedaan ini dapat dibuat dalam bentuk diagram sebagai berikut :



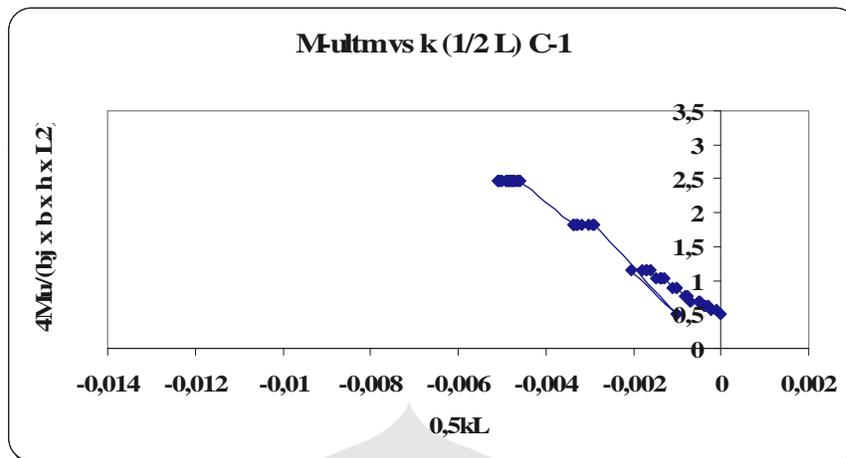
Gambar 4.40. Perbandingan Momen Ultimate Ketiga Pembebanan pada Balok 1 di Setengah Bentang

- Besarnya kelengkungan tidak berdimensi akhir yang terjadi pada tipe pembebanan A adalah 0,012. Untuk tipe pembebanan B adalah 0,006. Dan untuk tipe pembebanana C adalah 0,005. Sehingga perbandingan untuk ketiga tipe pembebanan adalah $0,012 : 0,006 : 0,005 = 1 : 0,5 : 0,42$. Ketiga perbedaan ini dapat dibuat dalam bentuk diagram sebagai berikut :



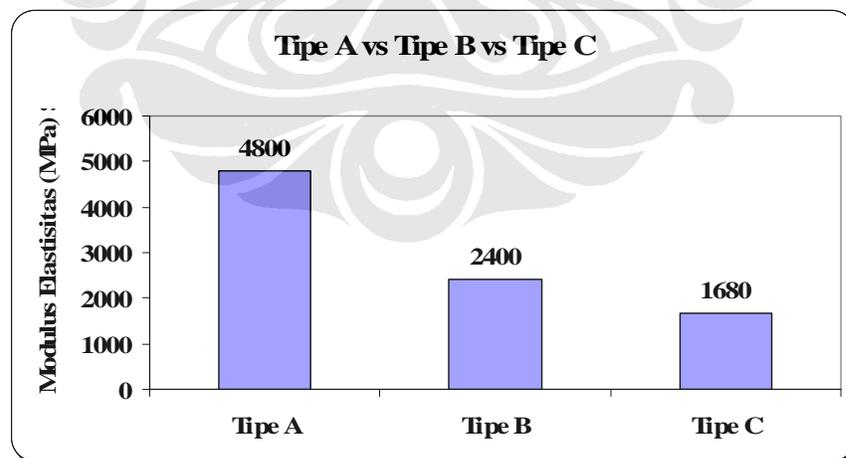
Gambar 4.41. Perbandingan Kelengkungan Ketiga Pembebanan pada Balok 1 di Setengah Bentang

Besarnya perbandingan pada momen ultimate dan kelengkungan tidak berdimensi pada balok 1 tipe C dapat dilihat melalui grafik berikut :



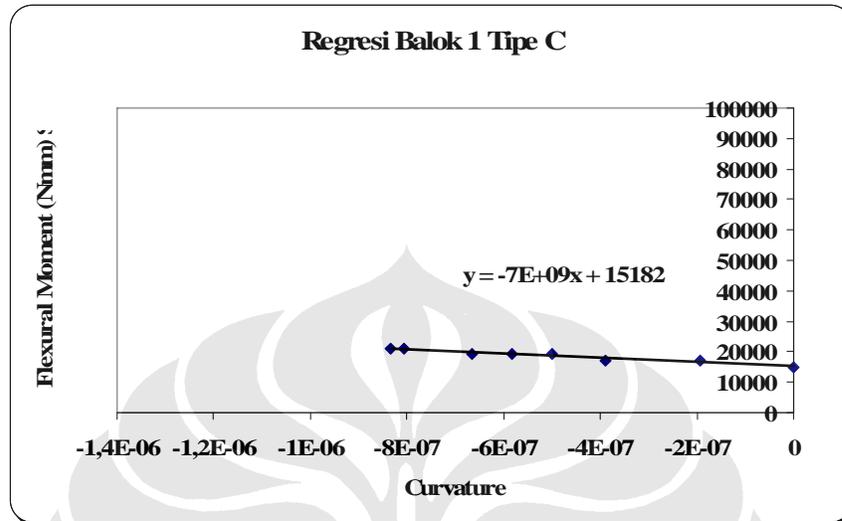
Gambar 4.42. Momen Ultimate Terhadap Kelengkungan Tidak Berdimensi pada Balok 1 Tipe C di Setengah Bentang

- Besarnya modulus elastisitas yang didapat pada tipe pembebanan A adalah 4800 MPa. Untuk tipe pembebanan B adalah sebesar 2400 MPa. Sedangkan untuk tipe pembebanan C adalah 1680 MPa. Sehingga perbandingan modulus elastisitas untuk ketiga tipe pembebanan adalah $4800 : 2400 : 1680 = 1 : 0,5 : 0,35$. Ketiga perbedaan ini dapat dibuat dalam bentuk diagram sebagai berikut :



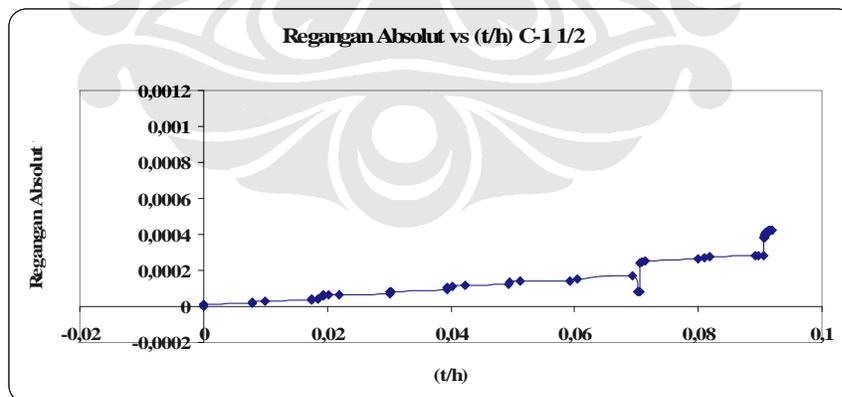
Gambar 4.43. Perbandingan Modulus Elastisitas Ketiga Pembebanan pada Balok 1 di Setengah Bentang

Besarnya modulus elastisitas untuk balok 1 tipe C yang didapat berdasarkan dari regresi grafik sebagai berikut :



Gambar 4.44. Regresi Balok 1 Tipe C

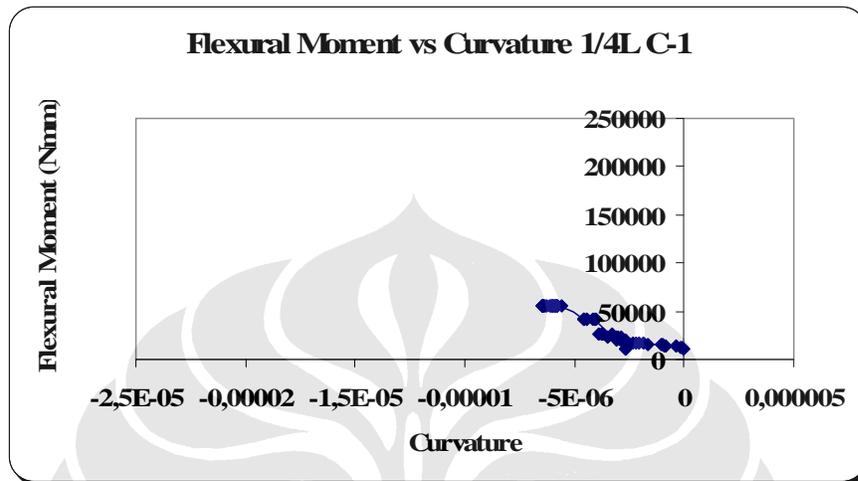
Berikut adalah grafik yang menggambarkan hubungan antara regangan absolut terhadap waktu per tinggi balok selama masa pembebanan pada balok ini di setengah bentang adalah :



Gambar 4.45. Regangan Absolut vs (t/h) Balok 1 Tipe C di Setengah Bentang

Pada gambar 4.45 di atas dapat terlihat bahwa besarnya regangan absolute yang didapat adalah sebesar 0,0004 pada saat (t/h) adalah sebesar 0,09 (penjelasan lengkap pada gambar terdapat dalam lampiran 3).

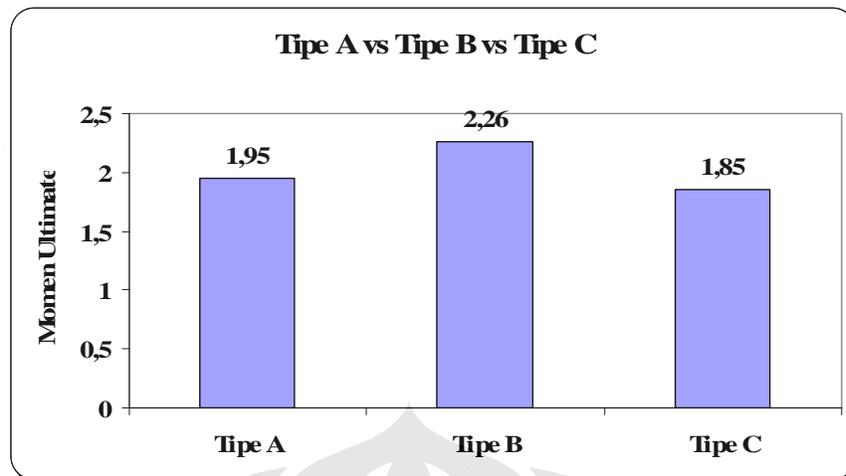
Untuk perhitungan balok ini pada seperempat bentang, sama halnya dengan perhitungan balok ini pada setengah bentang. Grafik momen lentur pada seperempat bentang, disajikan dalam bentuk grafik dibawah ini.



Gambar 4.46. Flexural Moment vs Curvature Balok 1 di Seperempat Bentang dengan Tipe Pembebanan C

Pada gambar 4.46 di atas, dapat terlihat bahwa bentuk grafik pada seperempat bentang ini juga memiliki bentuk yang mirip dengan grafik pada setengah bentang seperti halnya pada tipe pembebanan A dan tipe pembebanan B. Sehingga untuk perbandingan perbedaan antar balok berukuran kecil tipe pembebanan yang berbeda dimana terjadi perbedaan besarnya beban saat kedua balok tersebut runtuh dapat dibuat beberapa hasil sebagai berikut :

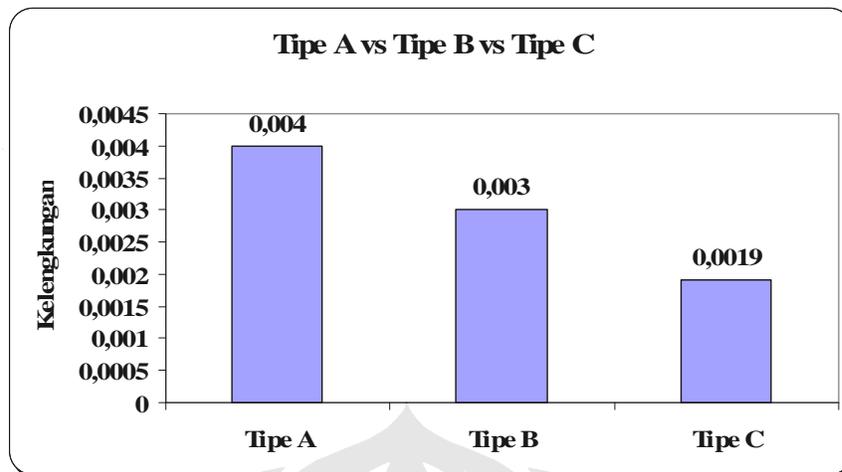
- Besarnya momen ultimate tidak berdimensi yang menyebabkan balok runtuh pada balok dengan tipe pembebanan A adalah 1,95. Untuk tipe pembebanan B adalah 2,26. Dan untuk tipe pembebanan C adalah 1,85. Sehingga perbandingan balok kecil untuk ketiga tipe pembebanan adalah $1,95 : 2,26 : 1,85 = 1 : 1,16 : 0,95$. Ketiga perbedaan ini dapat dibuat dalam bentuk diagram sebagai berikut :



Gambar 4.47. Perbandingan Momen Ultimate Ketiga Pembebanan pada Balok 1 di Seperempat Bentang

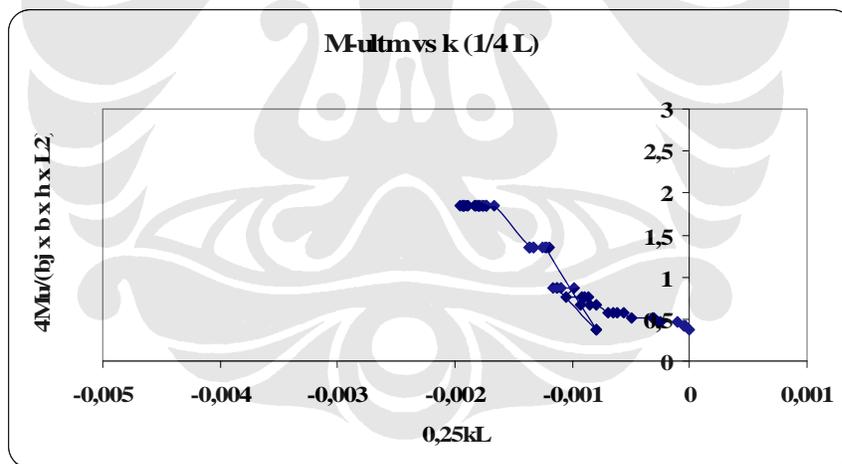
Sedangkan besarnya perbandingan antara momen ultimate pada balok ini di seperempat bentang dan di setengah bentang adalah sebesar $1,85 : 2,47 = 1 : 1,34$.

- Besarnya kelengkungan tidak berdimensi akhir yang terjadi pada tipe pembebanan A adalah 0,004. Untuk tipe pembebanan B adalah 0,003. Dan untuk tipe pembebanana C adalah 0,0019. Sehingga perbandingan untuk ketiga tipe pembebanan adalah $0,004 : 0,003 : 0,0019 = 1 : 0,75 : 0,475$. Ketiga perbedaan ini dapat dibuat dalam bentuk diagram sebagai berikut :



Gambar 4.48. Perbandingan Kelengkungan Ketiga Pembebanan pada Balok 1 di Seperempat Bentang

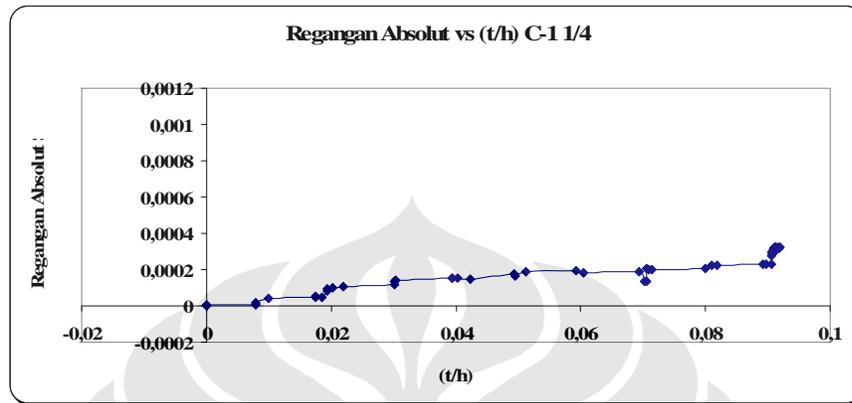
Besarnya perbandingan pada momen ultimate dan kelengkungan tidak berdimensi pada balok 1 tipe C dapat dilihat melalui grafik berikut :



Gambar 4.49. Momen Ultimate Terhadap Kelengkungan Tidak Berdimensi pada Balok 1 Tipe C di Seperempat Bentang

Sedangkan besarnya perbandingan antara kelengkungan pada balok ini di seperempat bentang dan di setengah bentang adalah sebesar $0,0019 : 0,005 = 1 : 2,63$.

Berikut adalah grafik yang menggambarkan hubungan antara regangan absolute terhadap waktu per tinggi balok selama pembebanan di seperempat bentang pada balok ini adalah :

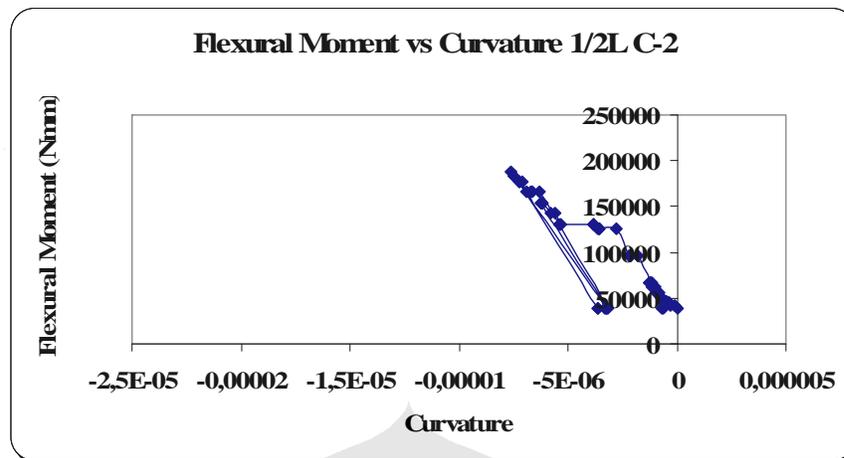


Gambar 4.50. Regangan Absolut vs (t/h) Balok 1 Tipe C Seperempat Bentang

Pada gambar 4.50 di atas dapat terlihat bahwa besarnya regangan absolute yang didapat adalah sebesar 0,0003 pada saat (t/h) sebesar 0,09 (penjelasan lengkap gambar terdapat dalam lampiran 3).

- Balok berukuran ($12 \times 6 \times 160$) cm

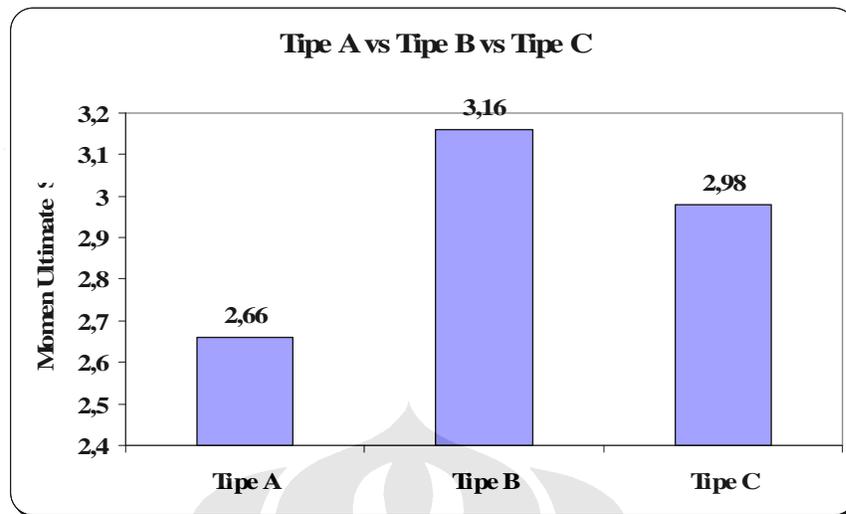
Pada balok 2 tipe pembebanan C ini balok telah runtuh di beban maksimal sebesar 312 N dengan pembacaan dial terakhir pada setengah bentang adalah sebesar 1,975 mm. Berikut adalah grafik yang menggambarkan *flexural moment* terhadap *curvature* pada setengah bentang untuk balok 2 tipe C :



Gambar 4.51. Flexural Moment vs Curvature Balok 2 di Setengah Bentang dengan Tipe Pembebanan C

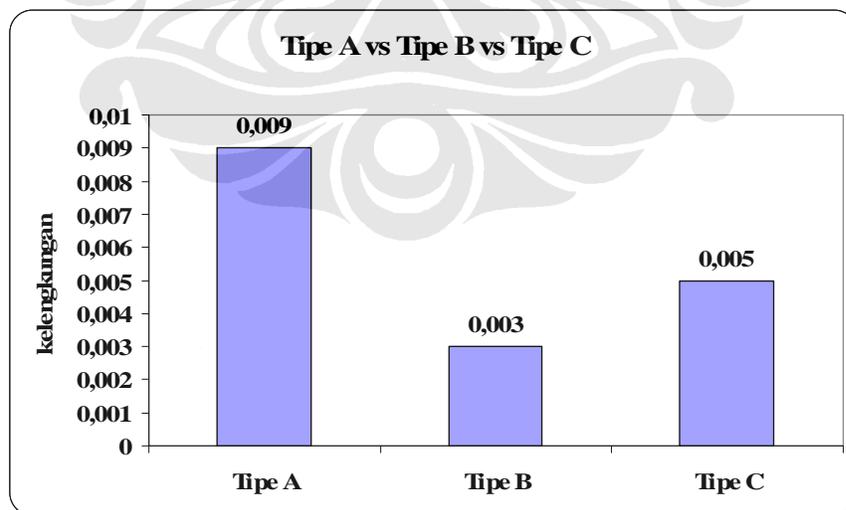
Pada gambar 4.51 di atas, dapat terlihat bahwa pada tipe pembebanan ini sama halnya dengan tipe pembebanan ini pada balok yang kecil dimana tidak terlihat adanya fenomena rangkak. Pada tipe pembebanan ini juga pengangkatan beban (*unloading*) dilakukan sebanyak tiga kali dimana pada tahap pembebanan 288 N ke tahap pembebanan 300 N ingin mengetahui perilaku balok setelah diberikan beban yang sangat besar. Sehingga perbandingan antara balok besar pada setiap tipe pembebanan adalah sebagai berikut :

- Besarnya momen ultimate tidak berdimensi yang menyebabkan balok runtuh pada balok dengan tipe pembebanan A adalah 2,66. Untuk tipe pembebanan B adalah 3,16. Dan untuk tipe pembebanan C adalah 2,98. Sehingga perbandingan balok besar untuk ketiga tipe pembebanan adalah $2,66 : 3,16 : 2,98 = 1 : 1,19 : 1,12$. Ketiga perbedaan ini dapat dibuat dalam bentuk diagram sebagai berikut :



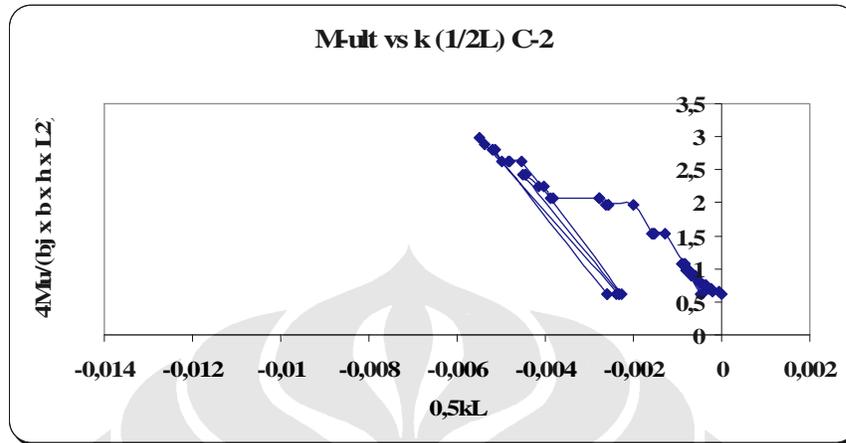
Gambar 4.52. Perbandingan Momen Ultimate Ketiga Pembebanan pada Balok 2 di Setengah Bentang

- Besarnya kelengkungan tidak berdimensi akhir yang terjadi pada tipe pembebanan A adalah 0,009. Untuk tipe pembebanan B adalah 0,003. Dan untuk tipe pembebanana C adalah 0,005. Sehingga perbandingan untuk ketiga tipe pembebanan adalah $0,009 : 0,003 : 0,005 = 1 : 0,33 : 0,56$. Ketiga perbedaan ini dapat dibuat dalam bentuk diagram sebagai berikut :



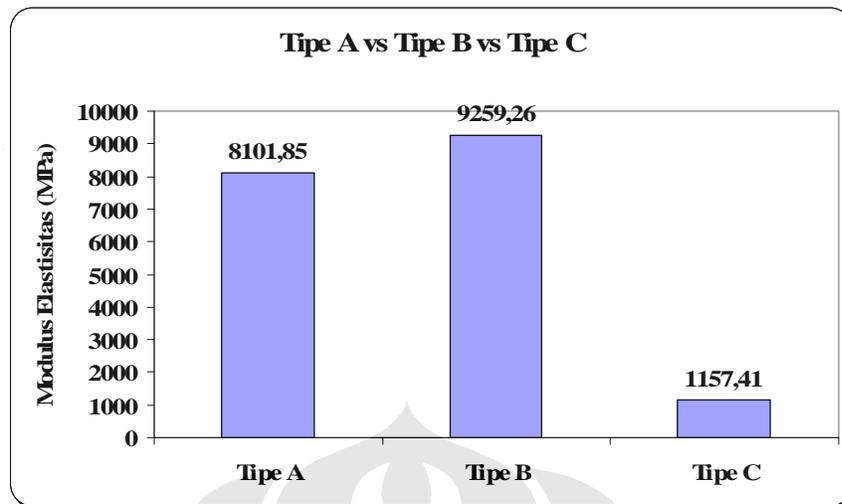
Gambar 4.53. Perbandingan Kelengkungan Ketiga Pembebanan pada Balok 2 di Setengah Bentang

Besarnya perbandingan pada momen ultimate dan kelengkungan tidak berdimensi pada balok 2 tipe C dapat dilihat melalui grafik berikut :



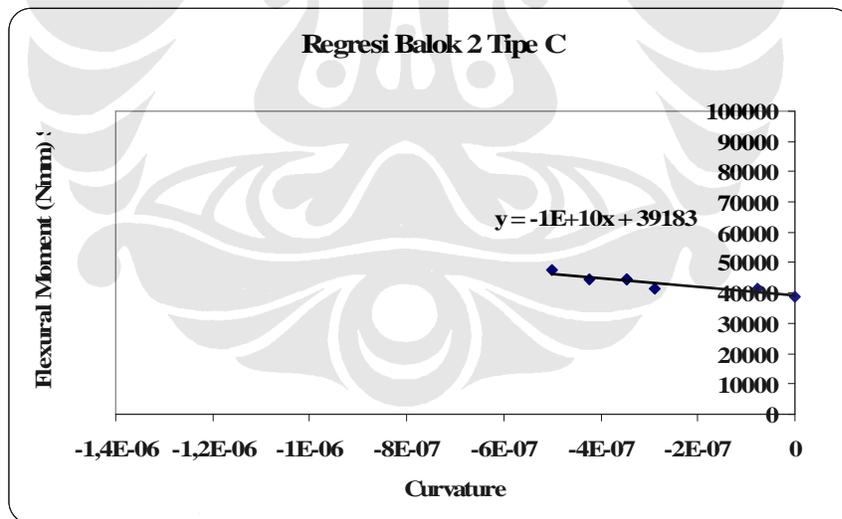
Gambar 4.54. Momen Ultimate Terhadap Kelengkungan Tidak Berdimensi pada Balok 2 Tipe C di Setengah Bentang

- Besarnya modulus elastisitas yang didapat pada tipe pembebanan A adalah 8101,85 MPa. Untuk tipe pembebanan B adalah sebesar 9259,26 MPa. Sedangkan untuk tipe pembebanan C adalah 1157,41 MPa. Sehingga perbandingan modulus elastisitas untuk ketiga tipe pembebanan adalah $8101,85 : 9259,26 : 1157,41 = 1 : 1,14 : 0,14$. Ketiga perbedaan ini dapat dibuat dalam bentuk diagram sebagai berikut :



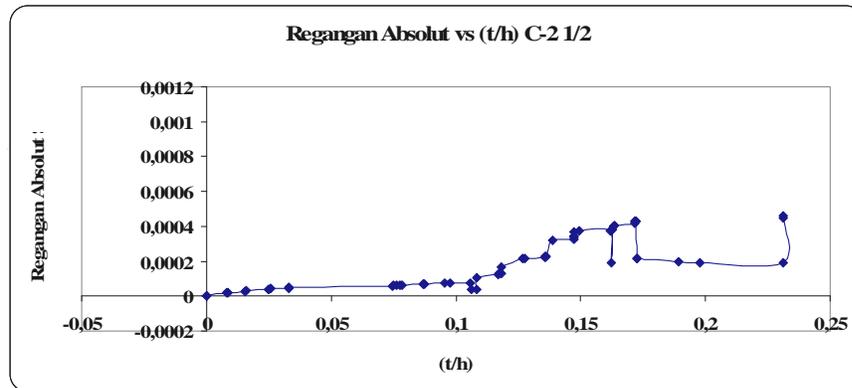
Gambar 4.55. Perbandingan Modulus Elastisitas Ketiga Pembebanan pada Balok 2 di Setengah Bentang

Besarnya modulus elastisitas untuk balok 2 tipe C yang didapat berdasarkan dari regresi grafik sebagai berikut :



Gambar 4.56. Regresi Balok 2 Tipe C

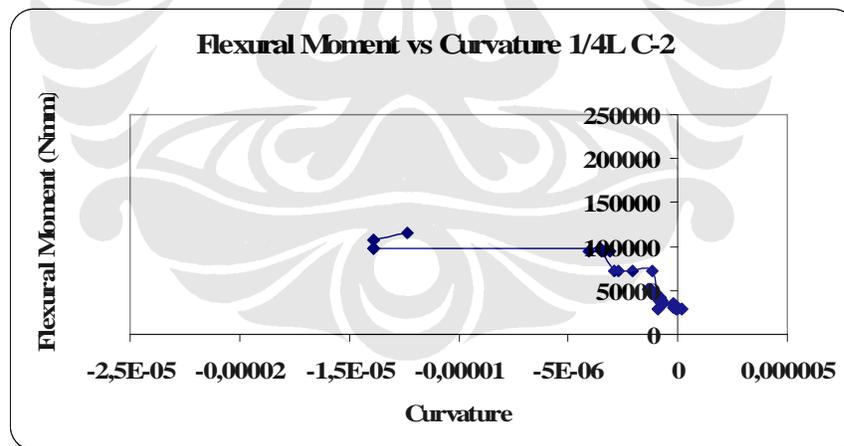
Berikut adalah grafik yang menggambarkan hubungan antara regangan absolut terhadap waktu per tinggi balok selama masa pembebanan pada balok ini di setengah bentang adalah :



Gambar 4.57. Regangan Absolut vs (t/h) Balok 2 Tipe C di Setengah Bentang

Pada gambar 4.57 di atas dapat terlihat bahwa besarnya regangan absolute yang didapat adalah sebesar 0,0005 pada saat (t/h) adalah sebesar 0,23 (penjelasan lengkap pada gambar terdapat dalam lampiran 3).

Untuk perhitungan balok ini pada seperempat bentang, sama halnya dengan perhitungan balok ini pada setengah bentang. Grafik momen lentur pada seperempat bentang, disajikan dalam bentuk grafik dibawah ini.

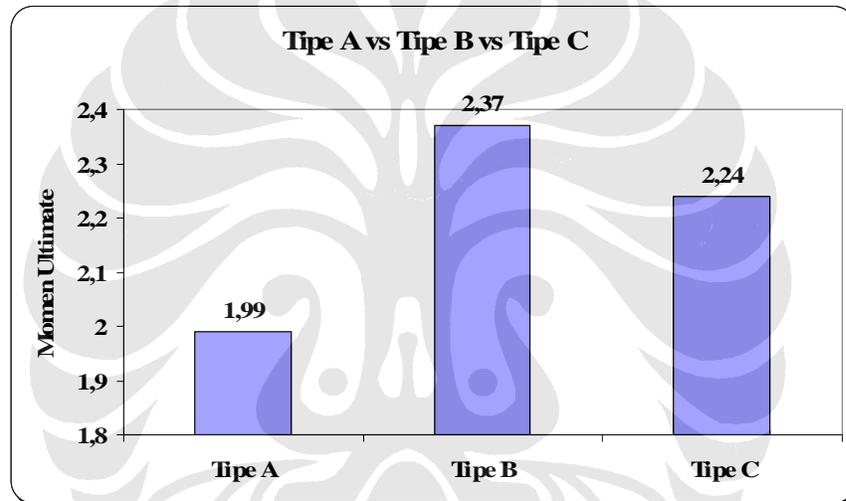


Gambar 4.58. Flexural Moment vs Curvature Balok 2 di Seperempat Bentang dengan Tipe Pembebanan C

Pada gambar 4.58 di atas, dapat terlihat bahwa bentuk grafik pada seperempat bentang ini tidak memiliki bentuk yang mirip dengan grafik pada setengah bentang seperti halnya pada tipe pembebanan A dan tipe pembebanan B.

Sehingga untuk perbandingan perbedaan antar balok berukuran kecil tipe pembebanan yang berbeda dimana terjadi perbedaan besarnya beban saat kedua balok tersebut runtuh dapat dibuat beberapa hasil sebagai berikut :

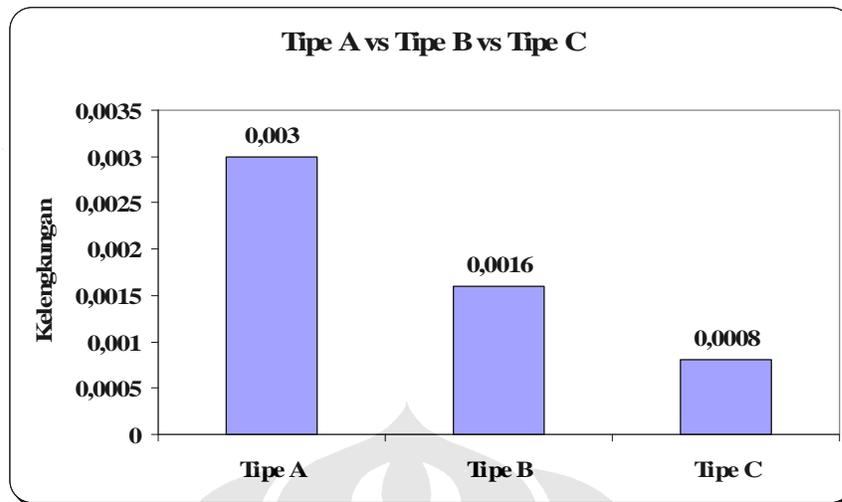
- Besarnya momen ultimate tidak berdimensi yang menyebabkan balok runtuh pada balok dengan tipe pembebanan A adalah 1,99. Untuk tipe pembebanan B adalah 2,37. Dan untuk tipe pembebanan C adalah 2,24. Sehingga perbandingan balok kecil untuk ketiga tipe pembebanan adalah $1,99 : 2,37 : 2,24 = 1 : 1,19 : 1,13$. Ketiga perbedaan ini dapat dibuat dalam bentuk diagram sebagai berikut :



Gambar 4.59. Perbandingan Momen Ultimate Ketiga Pembebanan pada Balok 2 di Seperempat Bentang

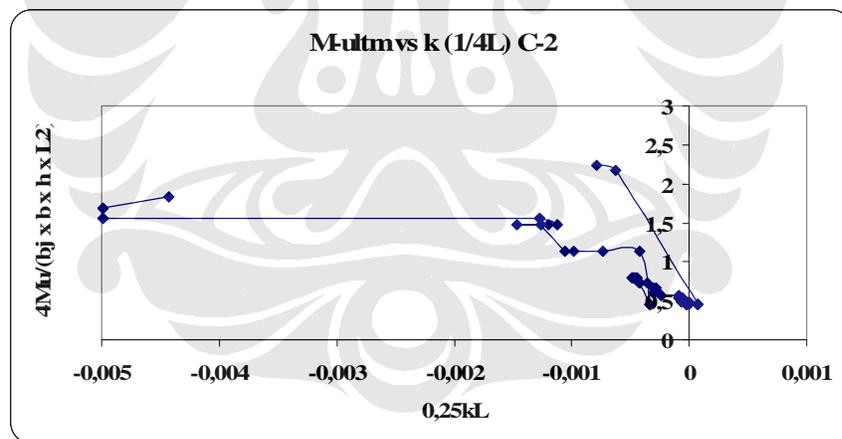
Sedangkan besarnya perbandingan antara momen ultimate pada balok ini di seperempat bentang dan di setengah bentang adalah sebesar $2,24 : 2,98 = 1 : 1,33$.

- Besarnya kelengkungan tidak berdimensi akhir yang terjadi pada tipe pembebanan A adalah 0,003. Untuk tipe pembebanan B adalah 0,0016. Dan untuk tipe pembebanana C adalah 0,0008. Sehingga perbandingan untuk ketiga tipe pembebanan adalah $0,003 : 0,0016 : 0,0008 = 1 : 0,53 : 0,27$. Ketiga perbedaan ini dapat dibuat dalam bentuk diagram sebagai berikut :



Gambar 4.60. Perbandingan Kelengkungan Ketiga Pembebanan pada Balok 2 di Seperempat Bentang

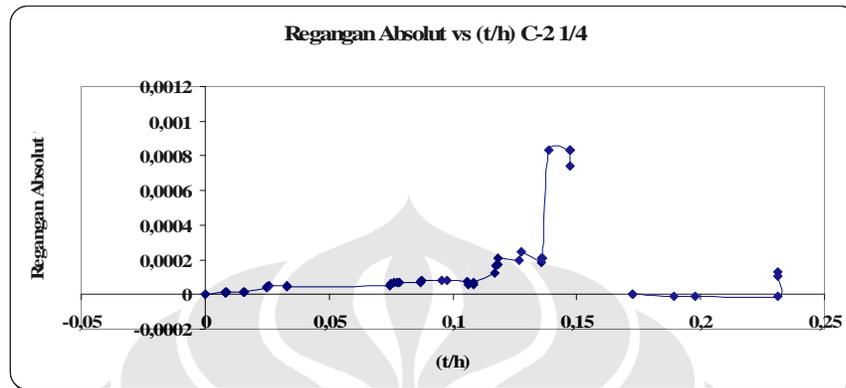
Besarnya perbandingan pada momen ultimate dan kelengkungan tidak berdimensi pada balok 2 tipe C dapat dilihat melalui grafik berikut :



Gambar 4.61. Momen Ultimate Terhadap Kelengkungan Tidak Berdimensi pada Balok 2 Tipe C di Seperempat Bentang

Sedangkan besarnya perbandingan antara kelengkungan pada balok ini di seperempat bentang dan di setengah bentang adalah sebesar $0,0008 : 0,005 = 1 : 6,25$.

Berikut adalah grafik yang menggambarkan hubungan antara regangan absolute terhadap waktu per tinggi balok selama pembebanan di seperempat bentang pada balok ini adalah :

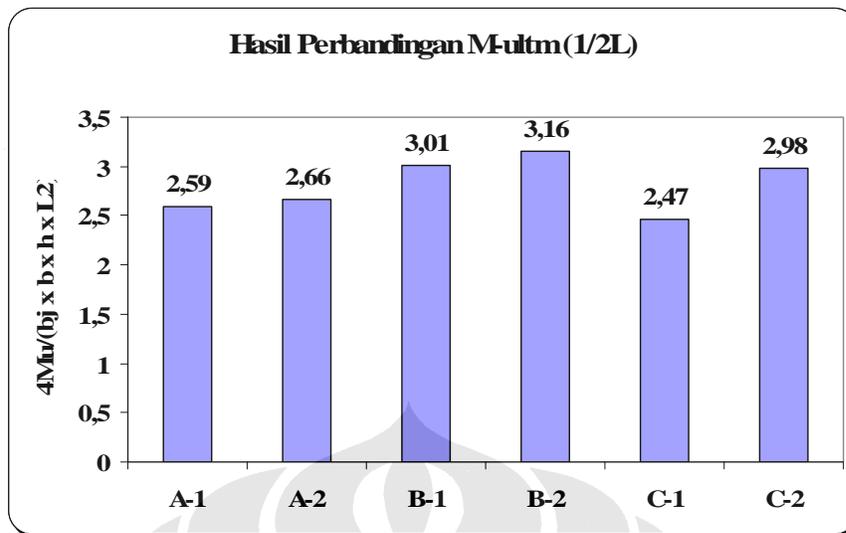


Gambar 4.62. Regangan Absolut vs (t/h) Balok 2 Tipe C Seperempat Bentang

Pada gambar 4.62 di atas dapat terlihat bahwa besarnya regangan absolute yang didapat adalah sebesar 0,00013 pada saat (t/h) sebesar 0,23 (penjelasan lengkap gambar terdapat dalam lampiran 3).

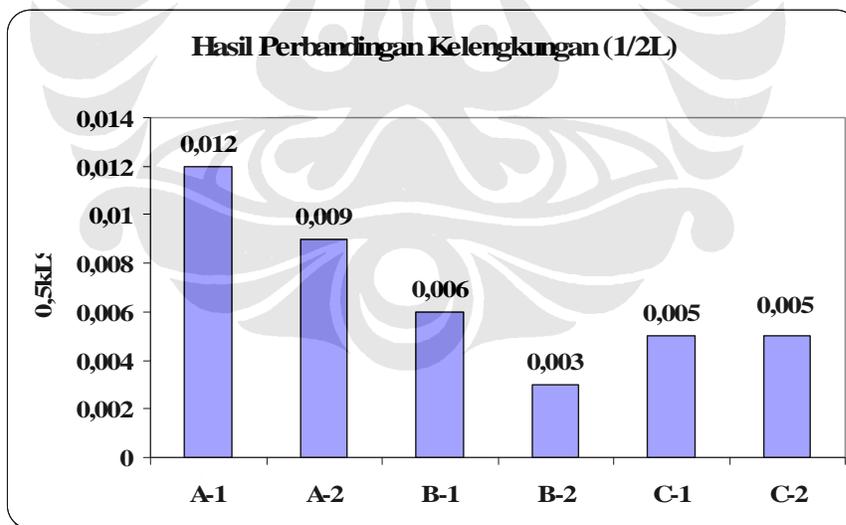
4.3.5.4 Perbandingan Pengujian Balok *Bernoulli*

Hasil perbandingan dari ketiga pola pembebanan pada seluruh balok dimana perbandingan ini melihat dari momen ultimate tidak berdimensi pada setengah bentang, dapat ditunjukkan pada gambar di bawah ini adalah :



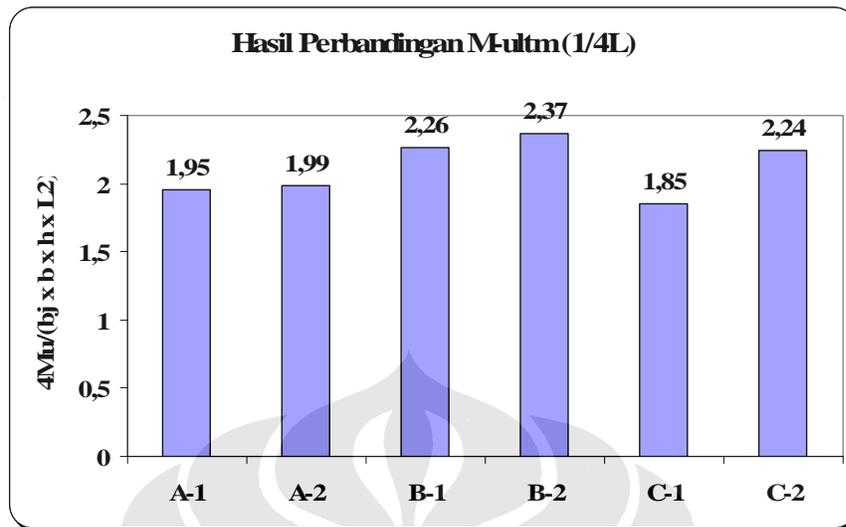
Gambar 4.63. Hasil Perbandingan Momen Tidak Berdimensi Pada Setengah Bentang

Berikut adalah hasil perbandingan dari ketiga pola pembebanan pada seluruh balok berdasarkan dari nilai kelengkungan tidak berdimensi yang terjadi pada setengah bentang, dapat ditunjukkan sebagai berikut.



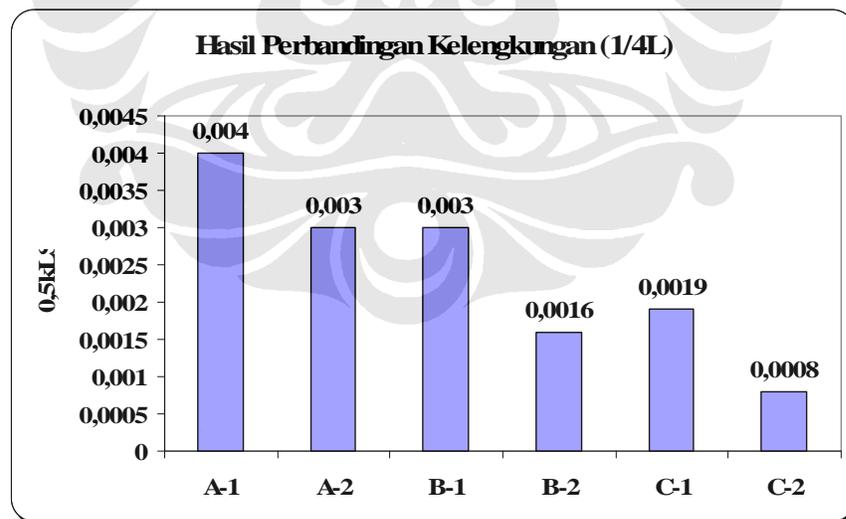
Gambar 4.64. Hasil Perbandingan Kelengkungan Tidak Berdimensi Pada Setengah Bentang

Berikut adalah hasil perbandingan momen ultimate tidak berdimensi pada seperempat bentang untuk seluruh balok yang dilakukan dengan tiga pola pembebanan yang berbeda :



Gambar 4.65. Hasil Perbandingan Momen Tidak Berdimensi Pada Seperempat Bentang

Berikut adalah hasil perbandingan dari kelengkungan tidak berdimensi yang terjadi pada seperempat bentang dengan tiga pola pembebanan yang berbeda :



Gambar 4.66. Hasil Perbandingan Kelengkungan Tidak Berdimensi Pada Seperempat Bentang

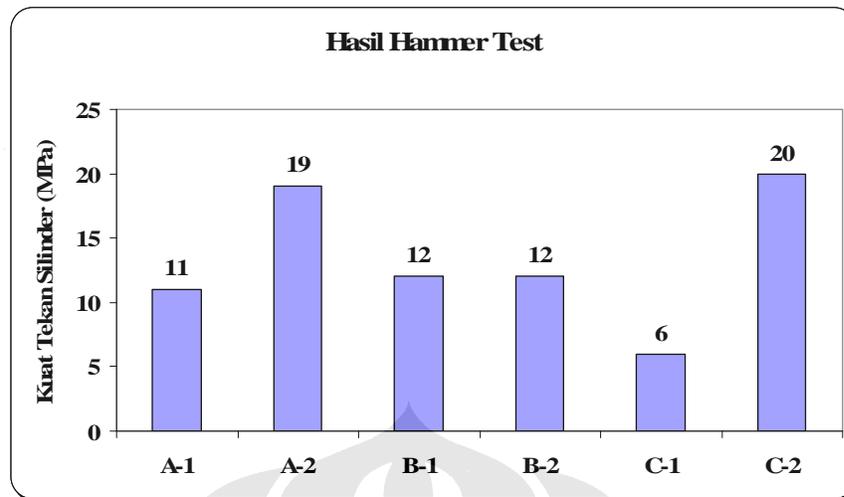
Dari seluruh hasil perbandingan yang ada, dapat diketahui bahwa besarnya momen ultimate tidak berdimensi untuk seluruh balok pada ketiga pola

pembebanan tidaklah terlalu jauh. Hasil perbandingan besarnya momen ultimate tidak berdimensi ini juga terkonfirmasi oleh besarnya nilai kuat tekan masing-masing balok berukuran ini pada setiap pola pembebanan dengan menggunakan *Hammer Test*, dimana besarnya kuat tekan masing-masing balok dengan menggunakan *Hammer Test* yang telah dikonversi ke kuat tekan melalui *Conversion Curves* (terdapat dalam lampiran 3). Adapun hasil dari pengambilan data dengan menggunakan *Hammer Test* pada enam balok yang telah runtuh (lihat lampiran 3) adalah sebagai berikut :

Tabel 4.8. Hasil Pengambilan dan Pengolahan Data *Hammer Test*

No	Kode Balok	Nilai R Akhir	Tegangan Silinder (MPa)
1	A-1	19,3	11
2	A-2	24,8	19
3	B-1	20,8	12
4	B-2	20,5	12
5	C-1	13,1667	6
6	C-2	26,2	20

Atau dengan dengan tampilan *bar chart* besarnya perbandingan dari masing-masing balok yang telah runtuh setelah dilakukan *Hammer Test* adalah sebagai berikut :



Gambar 4.67. Hasil Konversi Kuat Tekan Balok Ke Silinder Dengan *Hammer Test* Pada 3 Pola Pembebanan

Pada setengah bentang dari seluruh balok, gaya dalam yang terjadi pada bentang ini murni akibat oleh momen lentur murni. Pada bentang ini perbandingan momen ultimate yang terjadi tidaklah terlalu jauh dimana pola pembebanan yang kedua (Tipe B) memiliki nilai ultimate yang paling besar diantara ketiganya. Hal ini disebabkan besarnya nilai kuat tarik merupakan fungsi dari nilai kuat tekan, dimana besarnya nilai momen lentur merupakan fungsi dari kekuatan tarik. Sehingga semakin tinggi besarnya nilai kuat tarik yang didapat maka semakin tinggi pula nilai dari momen lentur yang terjadi.

Untuk bentuk dari kelengkungan yang terjadi, dapat dilihat dimana pada tipe pola pembebanan yang pertama (Tipe A) terjadi rangkak. Pada saat satu beban tetap tetapi kelengkungan yang terjadi bertambah besar, maka inilah ciri dari adanya efek rangkak. Hal ini terjadi karena tipe A memberikan waktu yang cukup bagi air (dengan ukuran yang mikroskopis) yang terdapat dalam setiap rongga agregat kasar untuk keluar secara perlahan berdasarkan fungsi waktu. Sedangkan dengan dua tipe pola pembebanan yang lainnya (Tipe B dan Tipe C), tidak memberikan waktu yang cukup. Ini dapat terlihat dengan kecilnya nilai dari kelengkungan yang didapat pada saat momen ultimate-nya terjadi.

Untuk perbandingan dari kelengkungan yang terjadi antara balok berukuran $(10 \times 5 \times 130)$ cm dengan balok berukuran $(12 \times 6 \times 160)$ cm, terjadi

perbedaan yang cukup besar. Dimana pada balok berukuran yang lebih besar memiliki rentang yang lebih kecil atau pendek dari kelengkungan yang terjadi. Hal ini terjadi karena pada balok berukuran yang lebih kecil, besarnya ruang rongga terhadap besarnya volume yang ada lebih besar dibandingkan dengan besarnya ruang rongga terhadap besarnya volume untuk balok berukuran besar. Sehingga kelengkungan yang terjadi pada balok besar lebih pendek dibandingkan dengan kelengkungan pada balok kecil. Besarnya ruang rongga terhadap besarnya volume terjadi akibat dari factor skala material yang ada. Dimana untuk kedua balok menggunakan besarnya material yang sama tetapi digunakan untuk campuran dari jenis ukuran balok yang berbeda.

Untuk seperempat bentang, selain ada pengaruh dari momen lentur, juga terdapat pengaruh dari kuat geser atau gaya lintang pada masing-masing balok tersebut.

Perbedaan seluruh balok tersebut juga dipengaruhi oleh runtuhnya keenam balok tersebut akibat beban static yang diberikan. Sehingga runtuhnya keenam balok tersebut dapat dirangkum sebagai berikut :

- Balok A-1

Pada balok berukuran $(10 \times 5 \times 130) \text{ cm}$ dengan tipe pembebanan A ini, balok runtuh dengan jarak ketinggian antara beban dengan penahan beban di bawahnya relative tinggi, tingginya sekitar 10 cm. Balok runtuh terbagi dua dengan perbedaan panjang antara sisi kanan dan sisi kiri sebesar 15 cm. Sehingga hasil dari *Hammer Test* yang didapat adalah sebesar 11 MPa.

- Balok A-2

Pada balok berukuran $(12 \times 6 \times 160) \text{ cm}$ dengan tipe pembebanan A ini, balok runtuh akibat adanya gangguan di sekitar penelitian. Pada saat balok diberikan beban static yang sangat besar, balok ini juga menerima beban kejut akibat adanya pemancangan tiang pancang di sekitar penelitian. Sehingga beban ultimate yang didapat dari percobaan kali ini tidak dapat mewakili dari beban yang sesungguhnya. Tinggi antara beban menggantung dengan penahan beban dibawahnya sangatlah tipis, tingginya sekitar 1,5 cm. Maka hasil yang didapat dari *Hammer Test* relative besar, yaitu sebesar 19 MPa.

- Balok B-1

Pada balok berukuran $(10 \times 5 \times 130) \text{ cm}$ dengan tipe pembebanan B ini, balok runtuh dengan jarak ketinggian antara beban dengan penahan beban di bawahnya relative tinggi, tingginya sekitar 7 cm. Balok runtuh terbagi dua dengan perbedaan panjang antara sisi kanan dan sisi kiri sebesar 10 cm. Sehingga hasil dari *Hammer Test* yang didapat adalah sebesar 12 MPa.

- Balok B-2

Pada balok berukuran $(12 \times 6 \times 160) \text{ cm}$ dengan tipe pembebanan B ini, balok runtuh dengan jarak ketinggian antara beban dengan penahan beban di bawahnya relative tinggi, tingginya sekitar 7 cm. Balok runtuh terbagi dua dengan perbedaan panjang antara sisi kanan dan sisi kiri sebesar 11 cm. Sehingga hasil dari *Hammer Test* yang didapat adalah sebesar 12 MPa.

- Balok C-1

Pada balok berukuran $(10 \times 5 \times 130) \text{ cm}$ dengan tipe pembebanan C ini, balok runtuh dengan jarak ketinggian antara beban dengan penahan beban di bawahnya relative tinggi, tingginya sekitar 28 cm. Balok runtuh terbagi tiga dengan setiap pecahan dari balok tersebut rusak berat yang menyebabkan akan berpengaruh ke hasil dari kuat tekan *Hammer Test*. Sehingga hasil dari *Hammer Test* yang didapat adalah sebesar 6 MPa.

- Balok C-2

Pada balok berukuran $(12 \times 6 \times 160) \text{ cm}$ dengan tipe pembebanan C ini, balok runtuh dengan jarak ketinggian antara beban dengan penahan beban di bawahnya relative tinggi, tingginya sekitar 4 cm. Balok runtuh terbagi dua dengan perbedaan panjang antara sisi kanan dan sisi kiri sebesar 3 cm dimana pada balok ini juga terdapat tambalan (*plester*) pada sepanjang balok ini. Sehingga hasil dari *Hammer Test* yang didapat adalah sebesar 20 MPa.

Berdasarkan dari penjelasan-penjelasan yang telah diberikan sebelumnya mengenai regangan absolute berbanding dengan lama pembebanan per tinggi dari balok, maka perbandingan grafik regangan absolute terhadap lama pembebanan per tinggi balok dari enam balok di setengah bentang adalah sebagai berikut :

4.4 ANALISA BIAYA

Berdasarkan perhitungan rancang campur yang dilakukan dengan metode SNI 03-3449-2002, diperoleh proporsi campuran beton ringan setiap $1 m^3$ adalah sebagai berikut :

Tabel 4.9. Proporsi Campuran Dengan Metode SNI

Material Campuran	Berat Kebutuhan (kg)
Semen	375
Air Pencampur	97,08
Agregat Halus	736,5
Agregat Kasar	673,92

Mengacu pada proporsi campuran tersebut maka perhitungan biaya per Maret 2008 yang dikeluarkan untuk pembuatan beton ringan setiap $1 m^3$ adalah :

Tabel 4.10. Biaya Proporsi Campuran Beton Ringan

Material Campuran	Berat Kebutuhan (kg)	Biaya (Rp)
Semen	375	384.000
Air Pencampur	97,08	70000
Agregat Halus	736,5	5.054.400
Agregat Kasar	673,92	659600
Total	1882,5	6.168.000

Harga campuran beton ringan setiap $1 m^3$ yang diperoleh berdasarkan perhitungan di atas yaitu sebesar Rp.6.168.000. Nilai tersebut merupakan nilai yang cukup mahal untuk pembuatan rancang campur per m^3 . Biaya terbesar dalam pembuatan beton ringan adalah pada saat penyediaan bahan baku botol plastik *PET*. Proses penyediaan agregat kasar dilakukan dengan membeli botol plastik pada pengumpul, ini menjadi salah satu faktor yang menjadikan besarnya biaya penyediaan agregat. Pada umumnya, harga yang harus dikeluarkan untuk $1 m^3$ beton normal K350 adalah Rp.604.000. Apabila dilakukan perbandingan antara harga beton normal per m^3 dengan harga beton ringan per m^3 akan diperoleh harga beton normal yang jauh lebih murah dari pada beton ringan. Sehingga untuk dapat

membuat 1 m^3 beton ringan, harus mengeluarkan biaya sekitar 10 kali lipat lebih banyak agar dapat membuat yang setara dengan beton normal mutu tinggi bila pembuatan ini menggunakan keuangan secara personal.



