

BAB IV

ANALISA PENELITIAN

4.1 ANALISA AGREGAT

4.1.1 Agregat Halus

4.1.1.1 Pengujian Berat Jenis dan Absorpsi

Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM C 128 - 93. Tujuan pengujian berat jenis dan absorpsi adalah untuk menentukan *bulk* dan *apparent specific gravity* dan absorpsi dari agregat halus menurut ASTM C 128.

Tabel IV.1 Hasil Analisa *Specific Gravity* dan Absorpsi dari Agregat Halus

Analisa <i>Specific Gravity</i> dan Absorpsi dari Agregat Halus	Agregat Daur ulang	Agregat Alam
Rata-rata <i>Bulk Specific Gravity</i>	2.56	2.57
Rata-rata <i>Bulk Specific Gravity (Saturated Surface Dry)</i>	2.58	2.59
Rata-rata <i>Apparent Specific Gravity</i>	2.63	2.61
Rata-rata <i>Absorption (%)</i>	1	0.6

Semakin besar kemampuan agregat halus menyerap kandungan air akan mengurangi nilai kekuatan beton. Nilai absorpsi yang baik dalam hal ini adalah di bawah 2 % (ASTM C 128). Dilihat dari tabel IV.1, absorpsi pada agregat halus daur ulang dan alam memiliki nilai absorpsi di bawah 2 %, sehingga memenuhi standar ASTM C 128.

4.1.1.2 Pengujian Analisa Ayak (*Sieve Analysis*)

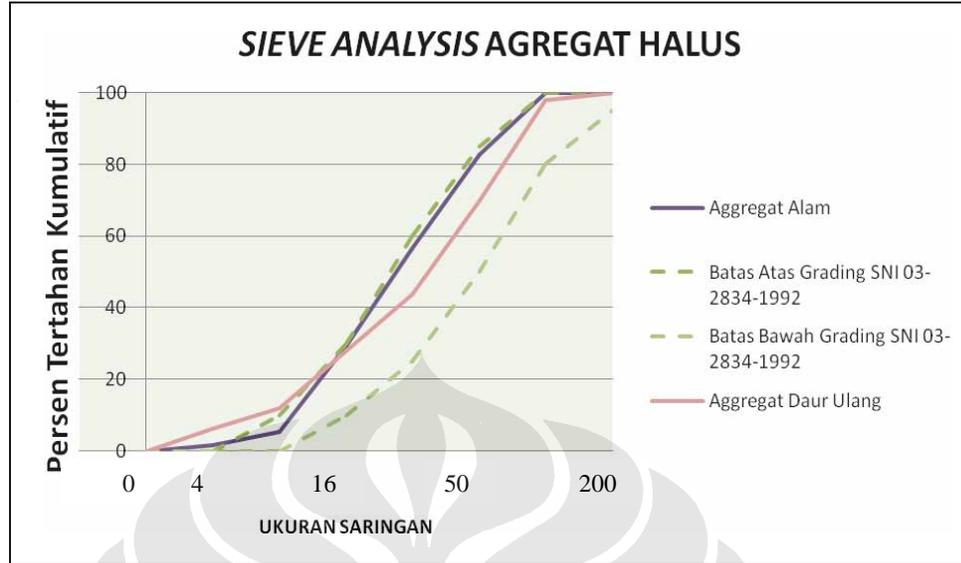
Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat dengan menggunakan saringan. Masing-masing agregat, yaitu agregat halus alam dan daur ulang dilakukan pengujian *sieve analysis* untuk perhitungan *mix design* beton. Gradasi adalah distribusi ukuran agregat. Gradasi diketahui dengan analisa ayakan, kemudian dibuat grafik dengan ukuran butir sebagai absis dan persentase agregat yang tertahan ayakan sebagai ordinat. Gradasi disebut juga dengan modulus kehalusan. Pada pembuatan beton dilakukan

pembatasan gradasi agregat karena gradasi dan ukuran agregat mempengaruhi kebutuhan semen dan air, *workability*, porositas dan kembang susut beton.

Dari percobaan ini, akan didapatkan berat agregat pada tiap-tiap saringan. Sehingga dapat dibuat grafik gradasi agregat dengan menghitung persen agregat yang tertahan pada setiap nomor saringan tersebut.

Tabel IV.2 Hasil *Sieve Analysis* Agregat Halus Daur Ulang dan Alam

Sieve Size (mm)	Average Agregat Daur Ulang		Average Agregat Alam		Gradasi Zone II
	Cum (%) Ret	Cum (%) Passing	Cum (%) Ret	Cum (%) Passing	Cum (%) Passing
4.75 (No.4)	0	100	0	100	90-100
2.36 (No.8)	2.2	97.8	0	100	75-100
1.18 (No.16)	30.13	69.87	17.4	83	55-90
0.6 (No.30)	56.27	43.73	43.3	57	35-59
0.3 (No.50)	71.93	28.07	70.6	29	8-30
0.15 (No.100)	88.2	11.8	94.5	5.5	0-10
0.074 (No.200)	93.73	6.27	98.4	1.6	
Pan	100	0	100	0	
Rata-rata FM	2.49		2.256		



Gambar IV.1 Perbandingan analisa saringan % tertahan antara agregat halus alam, daur ulang dan standar SNI 03-2834-1992

Dilihat dari gradasi keduanya, bahwa kedua agregat halus mendekati dalam kriteria gradasi agregat halus pada zone II menurut SNI 03-2834-1992. Dan menurut ASTM 33 - 78 nilai *fine modulus* yang baik berkisar antara 2.2 sampai 3.1 dan keduanya memenuhi.

4.1.1.3 Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No.200 (ASTM C 117 - 04)

Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No.200 sesuai dengan standar ASTM C 117 - 04. Tujuan penelitian ini untuk menentukan jumlah bahan yang terdapat dalam agregat lewat saringan No.200 dengan cara pencucian.

Tabel IV.3 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus Lewat Saringan No.200

Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No.200	Agregat Daur Ulang	Agregat Alam
Rata – rata (%)	7.5	4.6

Kandungan material halus yang diizinkan untuk agregat halus adalah berkisar 0.2 – 6 % (ASTM C 117). Dilihat dari hasil penelitian pada tabel IV.3 kandungan material halus pada agregat halus daur ulang adalah 7.5 % nilai ini diluar batas izin yaitu 6 %. Sedangkan agregat alam, kandungan material halus dengan nilai 4.6 % berada dalam kisaran batas izin, 0.2 – 6 %. Keberadaan lumpur

dan abu tidak dianjurkan karena sifatnya yang tidak dapat bereaksi dengan semen-air sehingga melemahkan pengikatan yang terjadi dan pada akhirnya akan menurunkan kekuatan beton.

4.1.2 Agregat Kasar

4.1.2.1 Pengujian Berat Jenis dan Absorpsi

Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM C 127- 88. Tujuan penelitian ini untuk menentukan *bulk* , *apparent specific gravity* dan absorpsi dari agregat kasar menurut ASTM C 127.

Tabel IV.4 Hasil Analisa *Specific Gravity* dan Absorpsi dari Agregat Kasar

Hasil Pengamatan	Agregat Daur Ulang	Agregat Alam
Rata-rata <i>Bulk Specific Gravity</i>	2.40	2.51
Rata-rata <i>Bulk Specific Gravity (Saturated Surface Dry)</i>	2.78	2.60
Rata-rata <i>Apparent Specific Gravity</i>	3.86	2.77
Rata-rata <i>Absorption (%)</i>	13.67	3.62

Semakin besar kemampuan agregat kasar menyerap kandungan air akan mengurangi kekuatan beton. Nilai absorpsi yang baik untuk agregat kasar adalah di bawah 4 % (ASTM C 127). Dilihat dari tabel IV.4, absorpsi pada agregat kasar daur ulang sebesar 13.67%, nilai ini melebihi batas yang diizinkan yaitu 4 %. Absorpsi agregat kasar alam sebesar 3.62 %, nilai ini di bawah batas izin yaitu 4 %. Nilai absorpsi yang tinggi pada agregat kasar daur ulang disebabkan oleh pasta semen yang menyelimuti pada agregat kasar daur ulang.

4.1.2.2 Pengujian Analisa Ayak (*Sieve Analysis*)

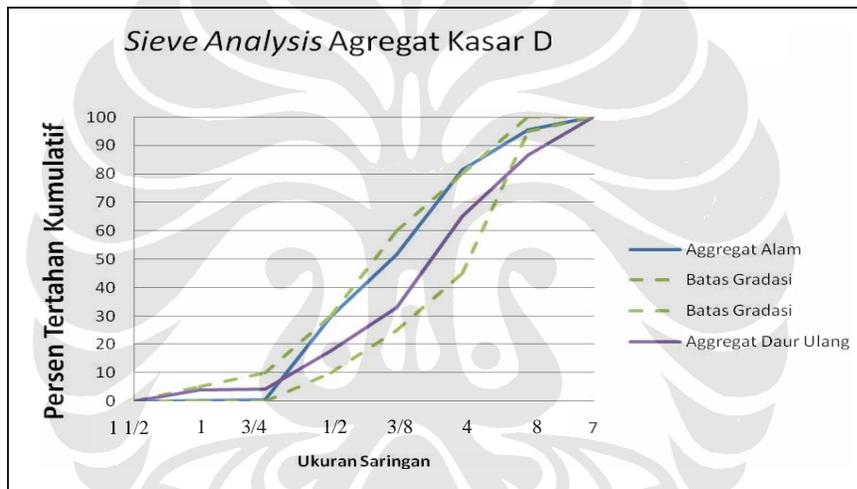
Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat dengan menggunakan saringan. Pengujian *sieve analysis* untuk perhitungan *mix design* beton.

Dari percobaan ini didapatkan berat agregat pada tiap-tiap saringan. Sehingga dapat dibuat grafik gradasi agregat dengan menghitung persen agregat yang tertahan pada setiap nomor saringan tersebut.

Dilihat dari gradasi keduanya, bahwa kedua agregat kasar mendekati kriteria gradasi agregat kasar menurut SNI 03-2834-1992.

Tabel IV.5 Hasil *Sieve Analysis* Agregat Kasar Daur Ulang dan Alam

Sieve Size	Agregat Daur Ulang		Agregat Alam		SNI 02-2384-1992
	Cum (%) Ret	Cum (%) Passing	Cum (%) Ret	Cum (%) Passing	Cum (%) Passing
1 1/2 in	0	100	0	100	90 - 100
1 in	13.26	86.74	4.6	95.40	
3/4 in	34.96	65.04	18.48	81.52	35 - 70
1/2 in	67.16	32.84	48.45	51.55	
3/8 in	82.14	17.86	70.03	29.97	10 - 40
4.75 mm	95.6	4.4	99.36	0.64	
8 mm	96.14	3.86	99.76	0.24	0 - 5
Pan	100	0	99.90	0.1	0



Gambar IV.2 Perbandingan analisa saringan % tertahan antara agregat kasar alam, daur ulang dan standar SNI 02-2384-1992

4.1.2.3 Pengujian Keausan dengan Mesin Los Angeles

Pemeriksaan ini dilakukan berdasarkan standar ASTM C 131 - 89. Tujuan penelitian ini dimaksudkan ini untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan mempergunakan mesin Los Angeles. Keausan agregat tersebut dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan No.12 terhadap berat semula, dalam persen. Karakteristik ini penting bagi struktur yang berfungsi sebagai lantai kerja (*heavy duty floor*) seperti *pavement*, lantai gudang, lantai *workshop* alat-alat berat. Untuk itu dibutuhkan beton tidak hanya kuat tetapi juga tidak cepat aus akibat abrasi atau gesekan antara beton dengan

benda di atasnya. Untuk mengetahui ketahanan agregat terhadap keausan, dapat dilakukan uji kekerasan (*hardness tests*) dengan beberapa cara antara lain bejana tekan Los Angeles. PUBL - 82 mensyaratkan bahwa bagian yang hancur tidak boleh lebih dari 50% berat sedangkan menurut SII - 80 tidak boleh lebih dari 27%.

Tabel IV.6 Hasil Pengujian Keausan Dengan Mesin Los Angeles

Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles	Agregat Daur Ulang	Agregat Alam
Keausan (%)	41.22	19.08

Ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan *Los Angeles Testing Machine*. Kehilangan berat setelah pengujian yang diizinkan berkisar antara 15 – 50 % (ASTM C 131 dan C 535). Dari hasil yang terlihat pada tabel IV.6, kedua agregat mempunyai nilai yang berkisar di antara 15 – 50% sehingga memenuhi standar ASTM C 131 dan C 535.

4.2 ANALISA PENGUJIAN KUAT LENTUR

Pengujian kuat lentur bertujuan untuk mengetahui *modulus of rupture*, yaitu kuat lentur maksimum yang diderita oleh serat bawah balok pada beton yang mengeras dengan umur 28 hari. Pengujian ini menggunakan metode *third point loading*, di mana pengujian dilakukan pada empat campuran beton yang berbeda dengan masing-masing terdiri dari tiga benda uji.

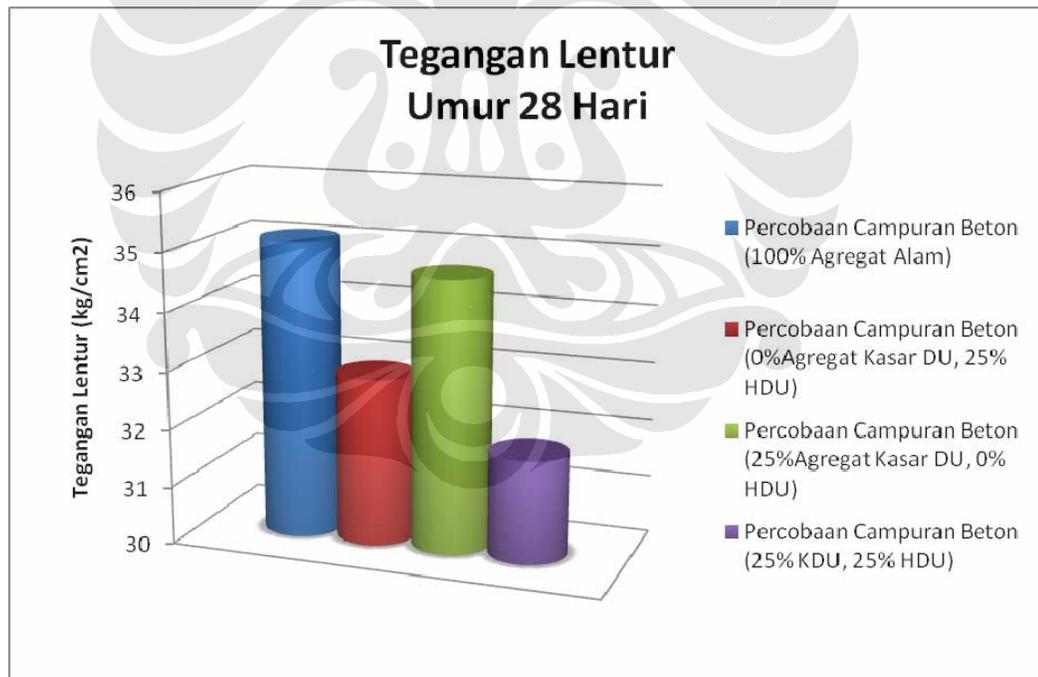
Benda uji dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 55 cm dipasang pada alat penguji kuat lentur dengan diletakkan tepat berada di tengah di antara kedua perletakan. Beban yang bekerja sebanyak dua buah dengan jarak antar titik beban adalah 1/3 panjang bentang ($1/3 L$). Pembebanan dilakukan secara kontinu tanpa adanya goncangan atau kejutan (*shock*). Pengujian dilakukan pada umur 28 hari dengan membebani benda uji secara kontinu hingga benda uji hancur dan tidak dapat menahan beban yang diberikan (jarum penunjuk berhenti kemudian bergerak turun). Sehingga akan didapatkan beban maksimum yang ditahan oleh benda uji tersebut. Hasil pengujian kuat lentur dapat dilihat pada tabel IV.7.

Tabel IV.7 Hasil Uji Kuat Lentur

Kode	Bentang (L) (cm)	Dimensi		P1 (kg)	P2 (kg)	P3 (kg)	P Rata-rata (kg)	W = $1/6 \cdot b \cdot h^2$ (cm ³)	MOMEN LENTUR M = $1/6 \cdot P \cdot L$ (kg.cm)	TEGANGAN LENTUR (M/W) (kg/cm ²)	(% Penurunan Tegangan Lentur Penelitian (Acuan Sampel A))
		b (cm)	h (cm)								
A	45	15	15	2550	2700	2650	2633.33	562.5	19750	35.111	0
B	45	15	15	2500	2550	2350	2466.67	562.5	18500	32.889	6.33
C	45	15	15	2600	2550	2650	2600	562.5	19500	34.667	1.27
D	45	15	15	2450	2300	2400	2383.33	562.5	17875	31.778	9.49

Keterangan :

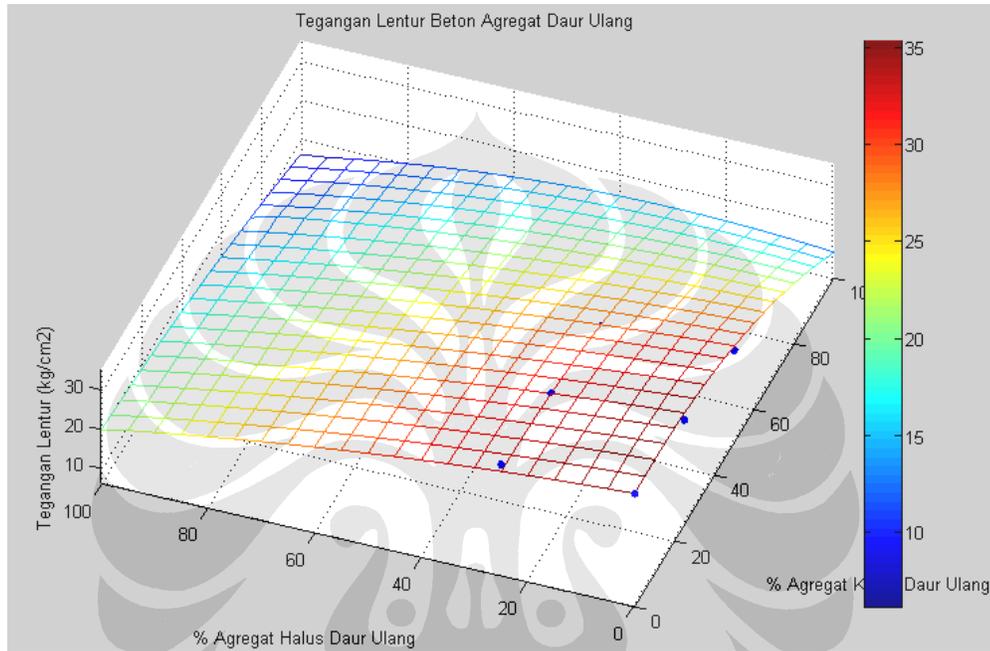
- A : Percobaan Campuran Beton 0 % AKDU – 0 % AHDU
- B : Percobaan Campuran Beton 0 % AKDU – 25 % AHDU
- C : Percobaan Campuran Beton 25 % AKDU – 0 % AHDU
- D : Percobaan Campuran Beton 25 % AKDU – 25 % AHDU



IV.3 Hasil uji kuat lentur beton agregat daur ulang

Dari gambar IV.3 hasil pengujian di atas, nilai kuat lentur rata-rata tertinggi untuk beton agregat daur ulang terdapat pada benda uji dengan Percobaan Campuran Beton 0 % AHDU – 25 % AKDU dan nilai terendah terjadi

pada Percobaan Campuran Beton 25 % AHDU - 25 % AKDU. Nilai persentase penurunan tegangan lentur pada Percobaan Campuran Beton 25 % AHDU – 0 % AKDU lebih tinggi dibandingkan dengan Percobaan Campuran Beton 0 % AHDU – 25 % AKDU. Ini menunjukkan bahwa penggunaan agregat kasar daur ulang dengan persentase 25 % lebih baik dari pada penggunaan agregat halus daur ulang dengan persentase 25 % untuk pengujian kuat lentur beton.



Gambar IV.4 Hasil uji kuat lentur beton agregat daur ulang dengan program MATLAB Vers.7.1

Dari gambar IV.4, merupakan hasil tegangan lentur yang diekstrapolasi dengan polynomial tingkat 2, dengan menggunakan bantuan program MATLAB versi 7.1. Sehingga dapat diprediksi nilai tegangan lentur sampai komposisi 100 % agregat halus daur ulang dan 100% agregat kasar daur ulang.

Dari grafik tersebut, benda uji dengan campuran agregat alam memiliki kuat lentur yang lebih tinggi dibandingkan dengan benda uji dengan campuran agregat alam dan agregat daur ulang. Kualitas agregat pada beton memiliki pengaruh yang cukup besar dalam menentukan kuat lentur benda uji.

Dari hasil penelitian sebelumnya, pada penelitian *analysis specific gravity* dan absorpsi dari agregat halus menunjukkan bahwa nilai absorpsi dari agregat daur ulang baik halus maupun kasar lebih besar dari agregat alam. Sehingga dapat disimpulkan bahwa agregat daur ulang menyerap air lebih besar dari pada agregat

alam. Hal ini akan menyebabkan penurunan pada kekuatan, baik kekuatan tekan maupun kekuatan lentur.

Jika dilihat dari percobaan pemeriksaan agregat halus lewat saringan No.200 menunjukkan bahwa agregat daur ulang memiliki kandungan material halus yang lebih banyak dibandingkan agregat alam. Keberadaan lumpur dan abu tidak dianjurkan karena sifatnya yang tidak dapat bereaksi dengan semen-air sehingga melemahkan pengikatan yang terjadi dan pada akhirnya akan menurunkan kekuatan beton.

Bila dilihat dari kondisi fisiknya bentuk agregat daur ulang memiliki bentuk yang bulat, pipih dan panjang, ini merupakan bentuk yang tidak dianjurkan dalam pembentuk beton, karena akan melemahkan ikatan agregat dengan pasta semen. Sehingga dapat dikatakan bahwa kualitas agregat alam lebih baik dibandingkan agregat daur ulang.

Hubungan antara kuat tekan dan kuat lentur beton menurut standar ACI 318 - 83, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma_{lentur} = 0.62\sqrt{\sigma_{tekan}} \text{ (MPa)} \dots\dots\dots(4.1)$$

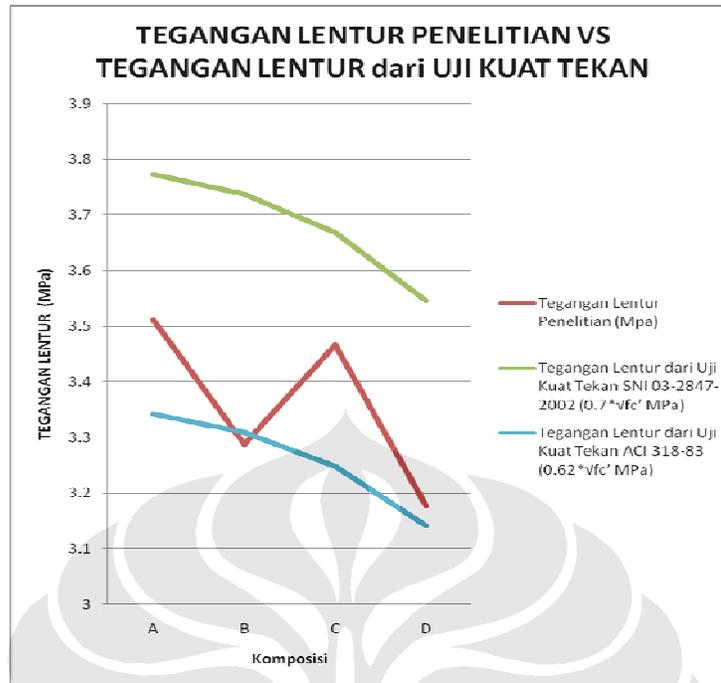
Hubungan antara kuat tekan dan kuat lentur beton menurut standar SNI 03- 2847-2002, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma_{lentur} = 0.7\sqrt{\sigma_{tekan}} \text{ (MPa)} \dots\dots\dots(4.2)$$

Di mana σ_{tekan} pada umur 28 hari yang dihasilkan pada hasil penelitian sebagai berikut :

Tabel IV.8 Perbandingan Hasil Uji Kuat Lentur dengan Kuat Tekan

Kode	Tegangan Lentur Penelitian (MPa)	σ Tekan Penelitian (MPa)	σ Lentur dari Uji Tekan ACI (MPa) = $0.62\sqrt{\sigma_{tekan}}$	KR (%)	σ lentur dari Uji Tekan SNI (MPa) = $0.7\sqrt{\sigma_{tekan}}$	KR (%)
A	3.51	29.06	3.34	5.04	3.773737	6.959317
B	3.29	28.5	3.31	0.63	3.7368	11.98648
C	3.47	27.46	3.25	6.70	3.668114	5.49185
D	3.18	25.66	3.14	1.17	3.546343	10.39283



Gambar IV.5 Tegangan lentur penelitian versus tegangan lentur dari uji kuat tekan.

Dilihat dari tabel di atas, secara umum nilai hubungan antara tegangan lentur dengan tegangan tekan lebih mendekati dengan menggunakan peraturan ACI 318-83 dibandingkan dengan peraturan SNI 03-2847-2002.

4.2.1 Analisa Keretakan Pada Pengujian Kuat Lentur

Dilihat dari gambar IV.5, pola retak pada beton agregat daur ulang untuk persentase maksimum agregat daur ulang 25 % dan beton agregat alam terletak pada daerah momen antara dua titik beban, sehingga didapatkan retak akibat momen lentur murni.

Dilihat dari gambar IV.6, kondisi permukaan retak pada beton agregat daur ulang terdapat banyak rongga kosong. Ini dikarenakan kandungan semen pada agregat daur ulang mempengaruhi ikatan antara matriks penyusun partikel dan agregat itu sendiri. Kandungan semen yang telah melekat pada agregat daur ulang, baik kasar maupun halus memperlemah ikatan matriks yang akan menurunkan kekuatan lentur beton.

Warna pada permukaan retak pada beton agregat daur ulang berwarna abu-abu muda, sedangkan pada permukaan retak pada beton agregat alam berwarna abu-abu tua. Sehingga ini menunjukkan bahwa warna abu-abu muda pada beton

agregat daur ulang berasal dari pasta semen yang telah menyelimuti agregat daur ulang.



Gambar IV.6 Pola retak di antara dua titik pembebanan benda uji



Gambar IV.7 Permukaan retak uji kuat lentur

4.3 ANALISA PENGUJIAN PERUBAHAN PANJANG (SUSUT)

Pengujian ini dilakukan sesuai dengan ASTM C 490 - 04. Pengujian susut ini bertujuan untuk mengetahui perubahan panjang, peningkatan atau pengurangan dalam dimensi linear benda uji, diukur sepanjang sumbu longitudinal, tanpa adanya pembebanan. Pengujian dilakukan selama 56 hari. Ukuran benda uji yang dipakai adalah 10 cm x 10 cm x 50 cm.

Perhitungan perubahan panjang (Susut) :

$$L = \frac{(L_x - L_i)}{G} \times 100 \dots\dots\dots(4.3)$$

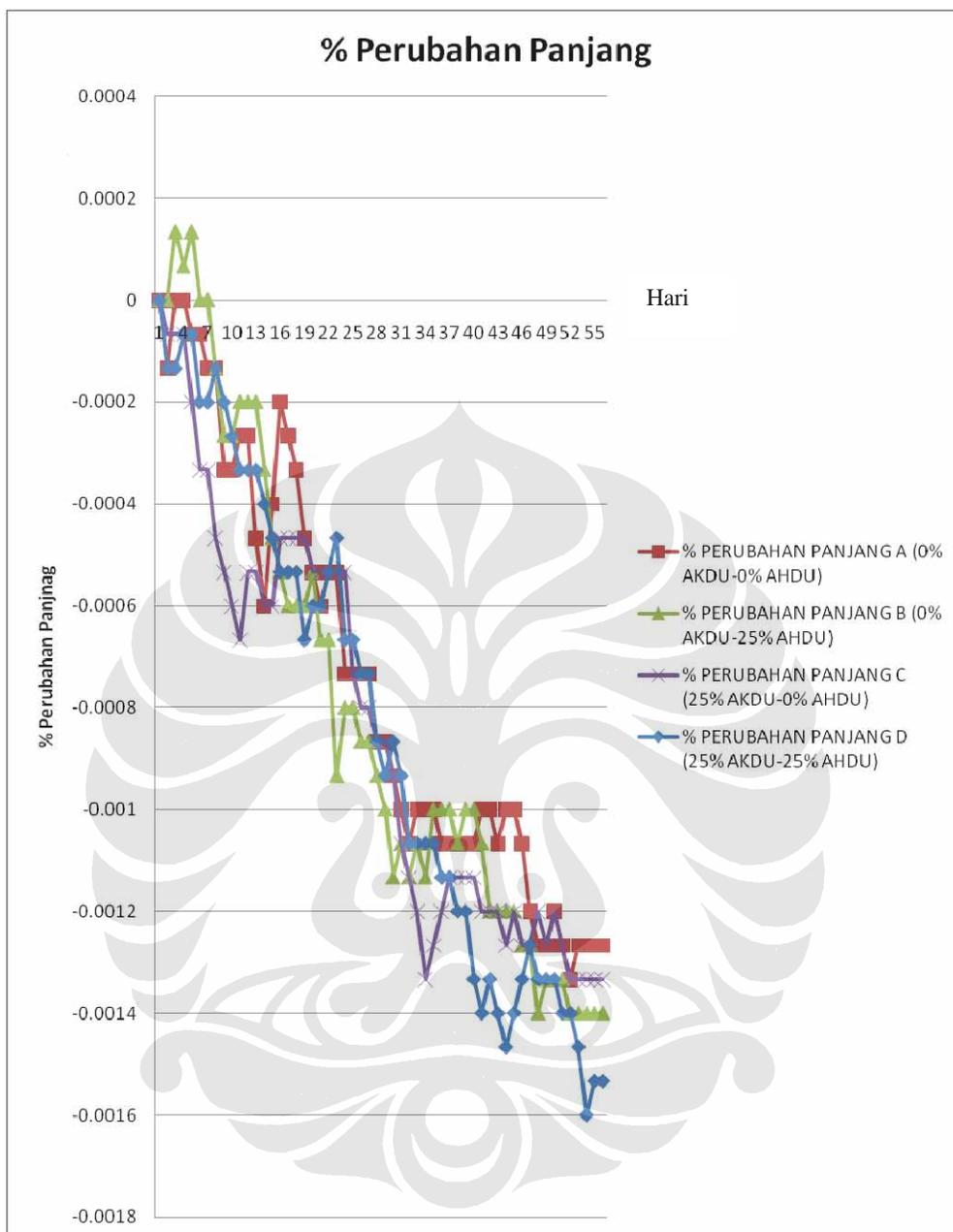
Tabel IV.9 Hasil Perubahan Panjang (Susut)

Umur	Sampel A		Sampel B		Sampel C		Sampel D	
	ΔL	% Shrinkage						
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	7E-05	0.00013	0	0	3.3E-05	6.7E-05	6.7E-05	0.0001
3	0	0	-7E-05	-0.0001	3.3E-05	6.7E-05	6.7E-05	0.0001
4	0	0	-3E-05	-7E-05	3.3E-05	6.7E-05	3.3E-05	7E-05
5	3E-05	6.7E-05	-7E-05	-0.0001	1E-04	0.0002	3.3E-05	7E-05
6	3E-05	6.7E-05	0	0	0.00017	0.00033	0.0001	0.0002
7	7E-05	0.00013	0	0	0.00017	0.00033	0.0001	0.0002
8	7E-05	0.00013	6.7E-05	0.00013	0.00023	0.00047	6.7E-05	0.0001
9	0.0002	0.00033	0.00013	0.00027	0.00027	0.00053	0.0001	0.0002
10	0.0002	0.00033	0.00013	0.00027	0.0003	0.0006	0.00013	0.0003
11	0.0001	0.00027	0.0001	0.0002	0.00033	0.00067	0.00017	0.0003
12	0.0001	0.00027	0.0001	0.0002	0.00027	0.00053	0.00017	0.0003
13	0.0002	0.00047	0.0001	0.0002	0.00027	0.00053	0.00017	0.0003
14	0.0003	0.0006	0.00017	0.00033	0.0003	0.0006	0.0002	0.0004
15	0.0002	0.0004	0.00023	0.00047	0.0003	0.0006	0.00023	0.0005
16	0.0001	0.0002	0.00027	0.00053	0.00023	0.00047	0.00027	0.0005
17	0.0001	0.00027	0.0003	0.0006	0.00023	0.00047	0.00027	0.0005
18	0.0002	0.00033	0.0003	0.0006	0.00023	0.00047	0.00027	0.0005
19	0.0002	0.00047	0.0003	0.0006	0.00023	0.00047	0.00033	0.0007
20	0.0003	0.00053	0.00027	0.00053	0.00027	0.00053	0.0003	0.0006
21	0.0003	0.0006	0.00033	0.00067	0.00027	0.00053	0.0003	0.0006
22	0.0003	0.00053	0.00033	0.00067	0.00027	0.00053	0.00027	0.0005
23	0.0003	0.00053	0.00047	0.00093	0.00027	0.00053	0.00023	0.0005
24	0.0004	0.00073	0.0004	0.0008	0.00027	0.00053	0.00033	0.0007
25	0.0004	0.00073	0.0004	0.0008	0.00037	0.00073	0.00033	0.0007
26	0.0004	0.00073	0.00043	0.00087	0.0004	0.0008	0.00037	0.0007
27	0.0004	0.00073	0.00043	0.00087	0.0004	0.0008	0.00037	0.0007
28	0.0004	0.00087	0.00047	0.00093	0.00043	0.00087	0.00043	0.0009
29	0.0004	0.00087	0.0005	0.001	0.00043	0.00087	0.00047	0.0009
30	0.0005	0.00093	0.00057	0.00113	0.00047	0.00093	0.00043	0.0009
31	0.0005	0.001	0.00053	0.00107	0.00053	0.00107	0.00047	0.0009
32	0.0005	0.00107	0.00057	0.00113	0.00057	0.00113	0.00053	0.0011
33	0.0005	0.001	0.00053	0.00107	0.0006	0.0012	0.00053	0.0011
34	0.0005	0.001	0.00057	0.00113	0.00067	0.00133	0.00053	0.0011
35	0.0005	0.001	0.0005	0.001	0.00063	0.00127	0.00053	0.0011
36	0.0005	0.00107	0.0005	0.001	0.0006	0.0012	0.00057	0.0011
37	0.0005	0.00107	0.0005	0.001	0.00057	0.00113	0.00057	0.0011

38	0.0005	0.00107	0.00053	0.00107	0.00057	0.00113	0.0006	0.0012
39	0.0005	0.00107	0.0005	0.001	0.00057	0.00113	0.0006	0.0012
40	0.0005	0.00107	0.0005	0.001	0.00057	0.00113	0.00067	0.0013
41	0.0005	0.001	0.00053	0.00107	0.0006	0.0012	0.0007	0.0014
42	0.0005	0.001	0.0006	0.0012	0.0006	0.0012	0.00067	0.0013
43	0.0005	0.00107	0.0006	0.0012	0.0006	0.0012	0.0007	0.0014
44	0.0005	0.001	0.0006	0.0012	0.00063	0.00127	0.00073	0.0015
45	0.0005	0.001	0.0006	0.0012	0.0006	0.0012	0.0007	0.0014
46	0.0005	0.00107	0.00063	0.00127	0.00063	0.00127	0.00067	0.0013
47	0.0006	0.0012	0.00063	0.00127	0.00063	0.00127	0.00063	0.0013
48	0.0006	0.00127	0.0007	0.0014	0.0006	0.0012	0.00067	0.0013
49	0.0006	0.00127	0.00067	0.00133	0.00063	0.00127	0.00067	0.0013
50	0.0006	0.0012	0.00067	0.00133	0.0006	0.0012	0.00067	0.0013
51	0.0006	0.00127	0.00067	0.00133	0.00063	0.00127	0.0007	0.0014
52	0.0007	0.00133	0.0007	0.0014	0.00067	0.00133	0.0007	0.0014
53	0.0006	0.00127	0.0007	0.0014	0.00067	0.00133	0.00073	0.0015
54	0.0006	0.00127	0.0007	0.0014	0.00067	0.00133	0.0008	0.0016
55	0.0006	0.00127	0.0007	0.0014	0.00067	0.00133	0.00077	0.0015
56	0.0006	0.00127	0.0007	0.0014	0.00067	0.00133	0.00077	0.0015

Tabel IV.10 % Pertambahan Susut

Sampel	% Susutke-56 Hari	% Pertambahan Susut
A	-0.00127	0
B	-0.0014	10.53
C	-0.00133	5.26
D	-0.00153	21.05



Gambar IV.8 % Perubahan panjang beton

Perubahan panjang adalah fenomena berkurangnya volume beton akibat proses pengeringan dan fenomena deformasi jangka panjang beton yang disebabkan oleh adanya perubahan volume karena menguapnya air dari rongga-rongga mikro struktural beton sebagai akibat adanya proses hidrasi selama proses pengikatan beton.

Susut akibat kondisi kering tergantung pada potensial susut dari pasta semen dan sifat serta jumlah agregat. Faktor yang berhubungan dengan agregat halus dan agregat kasar yang dapat mempengaruhi terjadinya susut pada beton, antara lain:

- Sifat-sifat seperti gradasi, bentuk partikel, kandungan air agregat serta jumlah dari agregat yang dipakai.
- Tekstur, porositas agregat yang berpengaruh pada ikatan pasta semen dengan agregat.
- Kandungan lumpur

Dilihat pada umur 56 hari, persen tertinggi susut pada beton agregat daur ulang terjadi pada sampel D sebesar 0.0015 %, dan yang terkecil pada sampel C sebesar 0.00133 %. Tetapi % susut beton agregat daur ulang pada sampel C lebih besar dari pada agregat alam.

Nilai persentase penambahan susut pada Percobaan Campuran Beton 25 % AH DU – 0 % AK DU lebih tinggi dibandingkan dengan Percobaan Campuran Beton 0 % AH DU – 25 % AK DU. Ini menunjukkan bahwa penggunaan agregat kasar daur ulang dengan persentase 25 % lebih baik dari pada penggunaan agregat halus daur ulang dengan persentase 25 % untuk pengujian perubahan panjang.

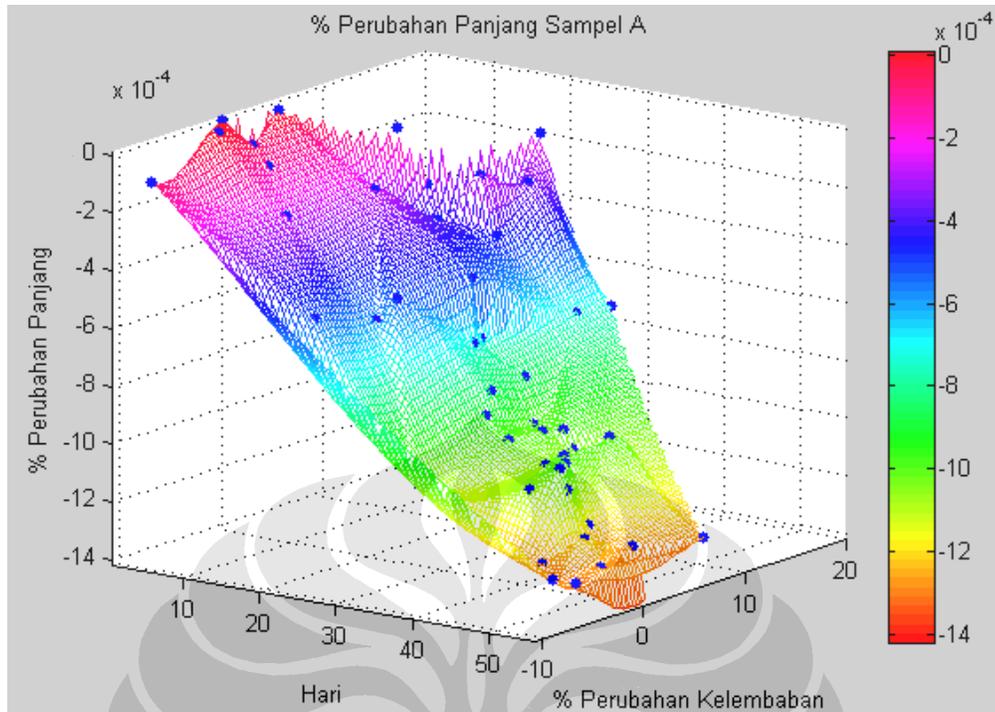
Persentase susut beton agregat daur ulang lebih besar dari pada beton agregat alam, hal ini dapat terjadi akibat perbedaan senyawa penyusunnya. Dilihat dari pengujian sebelumnya, agregat daur ulang baik kasar maupun halus memiliki kualitas yang kurang baik dibandingkan agregat alam.

Dari hasil penelitian sebelumnya, nilai absorpsi dari agregat daur ulang baik halus maupun kasar lebih besar dari agregat alam. Nilai absorpsi yang baik dalam hal ini untuk agregat halus adalah di bawah 2 % (ASTM C 128), pada agregat halus daur ulang nilai ini berkisar 1 %, dan agregat halus alam berkisar 0.6 %. Ini menunjukkan bahwa keduanya memenuhi persyaratan. Untuk agregat kasar, nilai absorpsi yang baik dalam hal ini adalah di bawah 4 % (ASTM C 127), pada agregat kasar daur ulang nilai ini berkisar 13.67 %, nilai ini melebihi batas yang ditentukan oleh ASTM C 127, dan agregat kasar alam berkisar 3.62 %, nilai ini di bawah batas yang ditentukan oleh ASTM C 127. Sehingga dapat disimpulkan bahwa agregat daur ulang menyerap air lebih besar dari pada agregat

alam. Dengan kata lain agregat daur ulang lebih bersifat porous, terutama pada pasta semennya.

Percobaan pemeriksaan agregat halus lewat saringan No.200 menunjukkan bahwa agregat daur ulang memiliki kotoran yang lebih banyak dibandingkan agregat alam. Kadar lumpur yang diizinkan pada agregat halus menurut ASTM C 117 adalah 0.2 – 6 %, pada agregat halus daur ulang rata-rata sebesar 7.5 %, sedangkan pada agregat alam sebesar 4.6 %. Nilai kadar lumpur pada agregat halus daur ulang lebih besar dibandingkan yang diizinkan. Sehingga banyak kotoran yang terdapat pada agregat halus daur ulang yang dapat mempengaruhi kekuatannya. Keberadaan lumpur dan abu tidak dianjurkan karena sifatnya yang tidak dapat bereaksi dengan semen-air sehingga melemahkan pengikatan yang terjadi dan pada akhirnya akan menurunkan kekuatan beton.

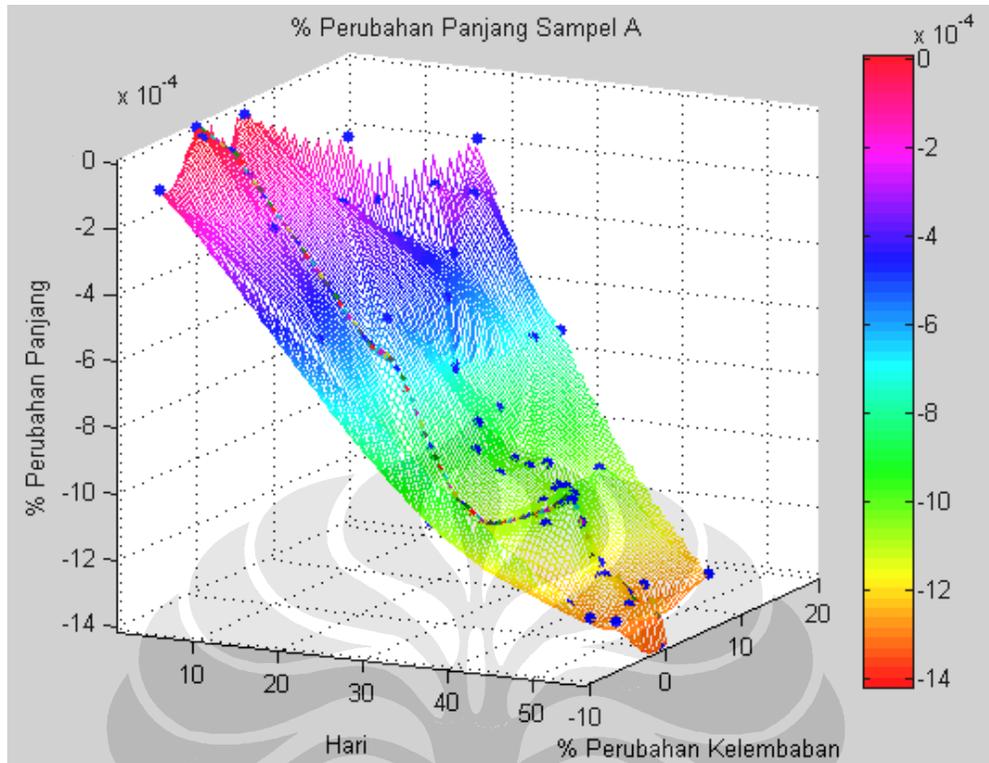
Jika dilihat dari bentuk grafik di atas, grafik yang dihasilkan tidak berbentuk *smooth*, karena setiap pembasahan dan pengeringan dapat pula menyebabkan muai dan susut. Hal ini dapat juga dikarenakan alat tidak dipasangkan pada *comparator* dengan tetap, minimnya peralatan dan jumlah yang diujikan lebih dari alatnya, maka dilakukan pengujian dengan mengangkat dan menurunkan benda uji, sehingga titik pembacaan tidak persis sama pada titik sebelumnya, sehingga dapat mengurangi keakuratan pembacaan. Dan pada dasar plat *comparator*, terlihat sudah berkarat, dan tidak mulus lagi permukaannya, ini juga dapat mengurangi keakuratan dalam pembacaan dial pada *comparator*. Penggunaan kaca dalam pembacaan benda uji, pada sampel B, C dan D mengurangi keakuratan dalam pembacaan, karena seringkali kaca lepas dari permukaan benda uji.



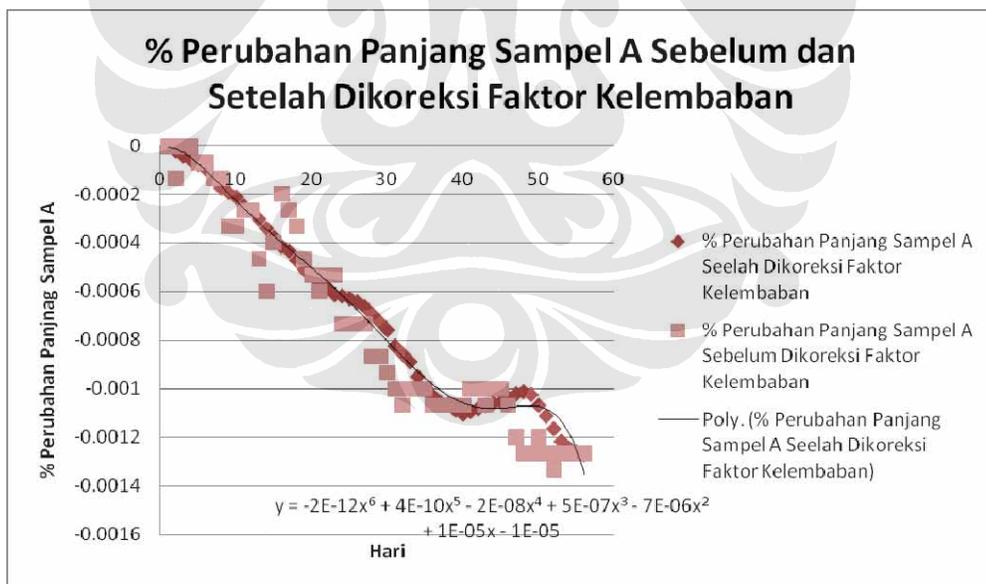
Gambar IV.9 % Perubahan panjang pada sampel A versus Hari versus % Perubahan kelembaban

Gambar IV.9 adalah gambar yang menunjukkan hubungan antara % perubahan panjang, % perubahan kelembaban dan hari. Gambar IV.9 tersebut didapatkan dari hasil interpolasi *cubic* pada Matlab versi 7.1.

Untuk mendapatkan grafik perubahan panjang yang telah dikoreksi oleh perubahan kelembaban, maka bidang pada gambar IV.9 dipotong oleh persamaan $y = 0$, sehingga didapatkan grafik perubahan panjang yang telah terkoreksi.



Gambar IV.10 Perubahan panjang sampel A setelah dikoreksi faktor kelembaban pada $y = 0$



Gambar IV.11 Perbandingan perubahan panjang sampel A sebelum dan sesudah faktor koreksi kelembaban

Dilihat pada gambar IV.11, bahwa bentuk grafik perubahan panjang yang telah dikoreksi kelembabannya, yaitu pada $y = 0$ tidak begitu *smooth*, hal ini disebabkan perubahan panjang tidak hanya dipengaruhi oleh kelembaban saja,

tetapi juga dipengaruhi oleh proses pembacaan, yaitu kurangnya ketelitian dalam pembacaan dan kurang tepat meletakkan benda uji pada alat pembacaan perubahan panjang.

4.4 ANALISA PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS DAN *POISSON RATIO*

Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM C 469 - 83. Tujuan percobaan ini untuk menentukan modulus elastisitas beton. Benda uji yang dipakai berbentuk silinder dengan dimensi 15 cm x 15 cm x 30 cm.

Dari pembebanan secara berulang pada benda uji berbentuk silinder dengan maksimum pembebanan 20000 kg atau 113.250 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 IV.11 Hasil Modulus Elastisitas dan Poisson Ratio

Kode	Keterangan	Modulus Elastisitas (MPa)	Modulus Elastisitas Teoritis $4700\sqrt{f_c'}$ (MPa)	KR ME (%)	<i>Poisson Ratio</i> μ	<i>Poisson Ratio</i> μ Teoritis	KR μ (%)
A	Percobaan Campuran Beton (0% KDU-0% HDU)	25253.04	25337.95	0.33513	0.287028	0.2	43.514
B	Percobaan Campuran Beton (0% KDU, 25% HDU)	25167.4	25089.94	0.308711	0.319886	0.2	59.9429
C	Percobaan Campuran Beton (25% KDU, 0% HDU)	23691.19	24628.77	3.80684	0.341236	0.2	70.6178
D	Percobaan Campuran Beton (25% KDU, 25% HDU)	20524.98	23811.16	13.801	0.292998	0.2	46.4989

Dari tabel IV.11, nilai modulus elastisitas sesuai dengan rumus SNI 03-2847-2002, $E_c = 4700\sqrt{f_c'}$ (MPa), semakin tinggi nilai kekuatan betonnya maka semakin besar nilai modulus elastisitas. Dan semakin besar nilai kekuatan betonnya maka semakin rendah nilai *poisson ratio*-nya.

Kesalahan relatif yang besar pada *poisson ratio* disebabkan oleh kurang telitinya dalam melakukan pengujian ini, tidak menghitung faktor koreksi untuk masing-masing benda uji

Pada komposisi D memiliki nilai modulus elastisitas yang terkecil, hal ini dapat diakibatkan oleh penggunaan agregat daur ulang, di mana telah dijelaskan sebelumnya bahwa kualitas agregat daur ulang kurang baik dibandingkan dengan agregat alam. Kondisi ini dapat menyebabkan ikatan antar agregat menjadi kurang sehingga partikel beton akan lebih mudah meregang apabila diberikan beban. Nilai modulus elastisitas adalah hasil dari tegangan dibagi dengan regangan, maka semakin besar regangan yang terjadi, maka akan menurunkan nilai modulus elastisitas.

