

**STUDI PERBANDINGAN NILAI KUAT LENTUR DAN DAKTILITAS
BETON YANG MENGGUNAKAN PASIR MERAPI DAN PASIR
LUMAJANG**

Disusun Oleh

Eka Susanti

Teknik Sipil ,FTSP ,ITATS

Email: ekasusanti2012@yahoo.com

ABSTRAK

Letusan Gunung Merapi meninggalkan banyak pasir hasil erupsi. Pasir gunung Merapi ini, merupakan pasir kualitas terbaik untuk bahan bangunan dengan kandungan silika (SiO) yang tinggi, kandungan besi (FeO) yang belum mengalami pelapukan dan memiliki kandungan lempung yang sangat sedikit. Pasir Lumajang banyak digunakan sebagai bahan bangunan yang ada di Jawa Timur. Karena Pasir Lumajang merupakan agregat halus dengan kualitas terbaik. Pasir Lumajang berasal dari erupsi gunung Semeru dengan kandungan zat besi yang tinggi. Pada penelitian sebelumnya diketahui pasir Merapi memiliki nilai kuat tekan beton lebih besar 5,1%, dan nilai modulus elastis lebih besar 9,5% terhadap beton dengan pasir Lumajang. Berdasarkan hal tersebut, dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui nilai kuat lentur dan daktilitas beton yang menggunakan kedua pasir tersebut. Penelitian ini bersifat ekperimental dengan membuat benda uji balok 20x20x60, menggunakan mutu beton $f_c'25$ Mpa dan mutu baja $f_y=240$ Mpa. Hasil penelitian menunjukkan benda uji dengan pasir Merapi menghasilkan peningkatan kuat lentur 29,09% dan peningkatan daktilitas 116,24% dibanding balok yang menggunakan pasir Lumajang.

Kata kunci: Pasir Merapi, Pasir Lumajang, kuat lentur dan daktilitas.

PENDAHULUAN

Pasir Lumajang adalah pasir yang banyak digunakan sebagai bahan bangunan yang ada di Jawa Timur. Karena Pasir Lumajang merupakan agregat halus dengan kualitas terbaik. Letusan gunung Merapi, membuat perubahan permintaan akan pasir sebagai bahan bangunan. Pasir Merapi lebih banyak dicari sebagai bahan bangunan karena mengandung silika (SiO) yang tinggi, memiliki kandungan besi (FeO) yang belum mengalami pelapukan dan memiliki kandungan lempung yang sangat sedikit. Hal tersebut membuat beton semakin kuat, meningkatkan daya tahan beton dan membuat tingkat kekeroposan beton lebih rendah

(<http://pasiranmerapi.wordpress.com/>).

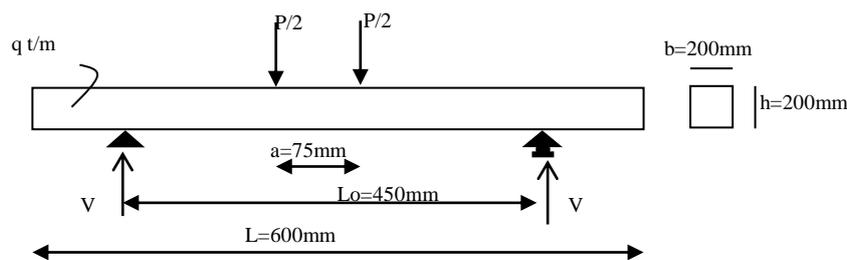
Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa beton yang menggunakan pasir Merapi memiliki nilai kuat tekan dan modulus elastis yang lebih tinggi dari pada pasir Lumajang. (Eka Susanti, 18 Juni 2014).

Adapun tujuan dari penelitian lanjutan ini adalah untuk mengetahui nilai kuat lentur dan daktilitas beton yang menggunakan pasir Merapi dan pasir Lumajang.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Uji Lentur.

Uji lentur dilakukan pada umur 28 hari. Metode uji lentur yang digunakan adalah metode uji dua tumpuan, pengujian menggunakan alat UTM (Universal Testing Machine) kapasitas 200 tf. Skema uji lentur dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Skema Uji Lentur

Uji lentur dilakukan dengan cara memberi beban P yang terus dinaikkan nilainya secara bertahap hingga mencapai keruntuhan balok. Data hasil uji ini berupa data beban P dan hubungannya dengan nilai lendutan yang terjadi.

2. Kuat Lentur

Analisis kuat lentur dilakukan berdasarkan data hasil uji lentur dengan perumusan sebagai berikut:

P_u = Data beban P yang menyebabkan benda uji hancur

- Berat benda uji (q) :

$$q = B_j \text{ beton bertulang } x b \times xh$$

- Reaksi perletakan :

$$V_u = \frac{P}{2} + q(L/2) \dots\dots\dots(1)$$

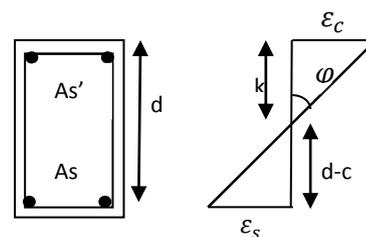
- Momen lentur (M) :

$$M = V_u(0,5L_o) - (P/2)(0,5a) - 0,5q(L/2)^2 \dots\dots\dots(2)$$

- Kuat lentur , $\sigma_l = \frac{My}{I} \dots\dots\dots(3)$

5. Kurvatur

Kurvatur pada balok didefinisikan sebagai rotasi per unit panjang. Nilai kurvatur bervariasi disepanjang balok, meskipun berada pada daerah momen yang konstan, karena disepanjang daerah tarik beton memiliki nilai regangan dan tinggi garis netral yang bervariasi. Diagram regangannya dapat digambarkan pada gambar 2 .



Gambar 2. Diagram regangan beton

Dari gambar diagram regangan beton dapat dihitung nilai kurvatur, ϕ (Park dan Paulay 1975):

$$\phi = \frac{\epsilon_s}{kd} = \frac{\epsilon_s}{d(1-k)} = \frac{\epsilon_c + \epsilon_s}{d} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

kd = tinggi garis netral

ϵ_c = regangan beton pada regangan ekstrem penampang.

ϵ_s = regangan tarik baja

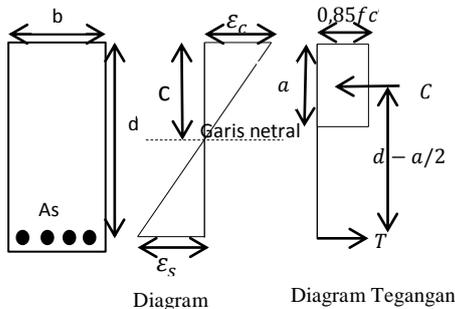
Semua nilai ini bervariasi sepanjang member.

Kurvatur Yield

Nilai kurvatur yield diperoleh dengan asumsi, tulangan tarik sudah leleh dan modulus elastis baja, $E_s = 200000 \text{ Mpa}$, maka momen-kurvatur balok saat mencapai yield adalah:

$$M_y = A_s \cdot f_y \cdot c \dots\dots\dots(5)$$

Dengan nilai M_y adalah nilai yang didapat dari data P uji lentur pada saat yield tercapai.



Gambar 3. Diagram Regangan

Dengan persamaan (5), nilai garis netral, c adalah:

$$c = \frac{M_y}{A_s f_y} \dots\dots\dots(6)$$

Sehingga nilai kurvatur yield :

$$\phi_y = \frac{\epsilon_c}{c} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana nilai regangan beton (ϵ_c) dapat dicari dengan menggunakan perbandingan segitiga pada gambar. 3:

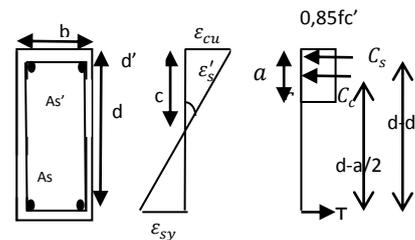
$$\frac{\epsilon_c}{c} = \frac{\epsilon_{sy}}{d-c} \dots\dots\dots(8)$$

Sehingga regangan beton:

$$\epsilon_c = \frac{\epsilon_{sy} c}{d-c} \dots\dots\dots(9)$$

Kurvatur Ultimit

Dengan asumsi regangan beton ultimit $\epsilon_{cu} = 0,004 \text{ mm}$, maka persamaan momen-kurvatur balok saat mencapai ultimit dapat dilakukan dengan 2 cara. Cara pertama dengan menganggap tulangan tekan sudah leleh, bila dengan cara pertama ini, nilai a yang didapat tidak logis, dilanjutkan cara ke-2. Cara ke-2 dengan mengasumsikan tulangan tekan belum leleh.



Gambar 4. Diagram Regangan dan Tegangan saat yield

a. Asumsi tulangan tekan sudah leleh

$$M_u = 0,85 f'_c ab \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_y (d - d') \dots\dots\dots(10)$$

b. Asumsi tulangan tekan belum leleh

$$M_u = 0,85 f'_c ab \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s E_s \epsilon_c \left(\frac{a - \beta d'}{a} \right) (d - d') \dots\dots\dots(11)$$

Dengan nilai M_u adalah nilai yang didapat dari data P uji lentur pada saat ultimit tercapai.

Dengan persamaan diatas, didapat tinggi daerah tekan beton ekuivalen (a).

Nilai kurvatur Ultimit :

$$\phi_{ult} = \frac{\epsilon_{cu}}{c} \dots\dots\dots(12)$$

5. Daktilitas Kurvatur

Kurvatur daktilitas adalah kemampuan elemen struktur untuk menerima siklus respon inelastik pada saat beban gempa rencana terjadi, tanpa kehilangan kekuatan yang berarti. Persamaannya :

$$\mu = \frac{\varphi_{ult}}{\varphi_y} \dots\dots\dots(13)$$

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini bersifat eksperimen dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini, bahan yang digunakan adalah: Semen portland type 1 produksi PT. Semen Gresik. Digunakan 2 jenis campuran beton, jenis yang pertama, menggunakan agregat pasir Lumajang dan jenis yang kedua menggunakan agregat pasir Merapi. Material baja yang digunakan adalah baja dengan mutu fy 240Mpa dan diameter D8 dan D10.

2. Benda Uji

Komposisi benda uji dibuat berdasarkan hasil mix disain yang mengacu pada hasil uji material semen, agregat kasar dan agregat halus yang digunakan. Benda uji untuk uji lentur, dibuat bentuk balok dengan ukuran 20x20x60 cm. Masing-masing benda uji dibuat 3 buah. Dengan ketentuan sebagai berikut: Benda uji dengan pasir Lumajang, terdiri dari 2 jenis, yaitu yang menggunakan tulangan baja D8 sebanyak 3 benda uji dan yang menggunakan tulangan baja

D10 sebanyak 3 benda uji. Yang berikutnya adalah Benda uji dengan pasir Merapi, terdiri dari 2 jenis, yaitu yang menggunakan tulangan baja D8 sebanyak 3 benda uji dan yang menggunakan tulangan baja D10 sebanyak 3 benda uji. Jadi total benda uji yang dibuat adalah 12 benda uji.

3. Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dalam pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.

4. Pengujian Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur dilakukan pada umur 28 hari di Laboratorium Beton dan Bahan ITS. Metode uji lentur yang digunakan adalah metode uji dua tumpuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Penelitian Karakteristik Pasir dan Kerikil

Tabel 1 menunjukkan bahwa hasil uji agregat halus pada uji berat jenis dan kadar lumpur memenuhi persyaratan yang telah ditentukan oleh ASTM. Kecuali uji resapan yang tidak memenuhi persyaratan ASTM.

Hasil penelitian karakteristik kerikil menunjukkan bahwa kerikil berada pada zona 1 dengan berat jenis 2,84 (persyaratan ASTM 1,60 – 3,20).

2. Komposisi Campuran

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik material, dibuat mix disain beton untuk $f_c' = 25$ Mpa dengan hasil mix disain seperti yang tertera pada tabel 2.

Tabel 1. Hasil uji karakteristik pasir

	Pasir Lumajang	Pasir Merapi	Standart ASTM
Grading zone	4	2	Pasir Lumajang lebih halus
Berat jenis	2,38	2,5	ASTM C 128 – 93 yaitu 1,6-3,30
Resapan	4,71	4,71	ASTM C 128 – 93 (maksimal 4,0%).
Kadar lumpur	1,6%	8%	ASTM C 117 – 95 (maksimal 5,0%)

Tabel 2. Komposisi campuran beton

JENIS PASIR	SEMEN (kg)	PASIR (kg)	KERIKIL (kg)	AIR (kg)
Lumajang	48.196	51.598	154.725	23.616
Merapi	48.196	90.437	106.167	23.616

Tabel 3. Hasil Tes Uji Lentur Pasir Merapi dan Pasir Lumajang saat yield dan ultimit

No	Pasir Gunung Merapi diameter 10			Pasir Gunung Merapi Diameter 8		
	Beban (kg)	$\Delta(0.01 \text{ mm})$	Ket	Beban (kg)	$\Delta(0.01 \text{ mm})$	Ket
1	12500	0,58	YIELD	17500	0,88	YIELD
2	19500	1,70	ULTIMIT	20000	1,08	ULTIMIT
No	Pasir Gunung Lumajang diameter 10			Pasir Gunung Lumajang Diameter 8		
	Beban (kg)	$\Delta(0.01 \text{ mm})$	Ket	Beban (kg)	$\Delta(0.01 \text{ mm})$	Ket
1	12500	0,43	YIELD	13500	0,47	YIELD
2	14500	1,15	ULTIMIT	16500	0,68	ULTIMIT

Hasil mix disain menunjukkan campuran beton yang menggunakan pasir gunung Merapi membutuhkan jumlah pasir yang lebih tinggi dibanding campuran beton yang menggunakan pasir Lumajang.

Analisa Penggunaan Tulangan pada Balok

Untuk keperluan uji lentur, dibuat benda uji balok 20x20x60 dengan asumsi menggunakan tulangan lentur minimal, maka tulangan lentur yang dipakai adalah sebagai berikut:

Untuk balok dengan tulangan D10:

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 0,00583 \text{ mm}$$

$$= \frac{1,4}{240} = 0,00583 \text{ mm}$$

$$d = 200 - 20 - 1/2 (10) = 175 \text{ mm}$$

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,00583 \times 200 \times 175$$

$$= 204,05 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan D10 dengan jumlah tulangan:

$$n = \frac{A_s}{A_{sD10}}$$

$$n = \frac{204,05}{\frac{1}{4}\pi (10)^2} = 2,60 \approx 3 \text{ bh, sehingga}$$

Tulangan terpasang 3D10 untuk tulangan tarik dan 2D10 untuk tulangan tekan. Dengan kata lain, digunakan rasio tulangan tekan terhadap tulangan tarik $\frac{\rho'}{\rho} = 0,67$.

Untuk balok dengan tulangan D8, digunakan cara yang sama seperti diatas dan didapat tulangan terpasang 4D8 untuk tulangan tarik dan 2D8 untuk tulangan tekan. Dengan rasio tulangan tekan terhadap tulangan tarik $\frac{\rho'}{\rho} = 0,5$

3. Hasil Uji Lentur

Uji lentur balok dilakukan pada umur 28 hari dengan hasil uji lentur pada saat yield dan ultimit dapat dilihat pada tabel 3. Balok beton yang menggunakan pasir gunung Merapi mencapai ultimit pada pembebanan yang lebih besar dibandingkan balok beton yang menggunakan pasir Lumajang.

4. Analisis Kurvatur dan Daktilitas

Hasil data uji lentur digunakan sebagai input pada analisis kurvatur dan

daktilitas. Sebagai contoh, diberikan analisis untuk satu model balok yang diuji lentur. Data balok yang dianalisis, sebagai berikut:

- Tinggi balok (h) : 200 mm
- Lebar balok (b) : 200 mm
- Tulangan tarik $A_s = 3\text{Ø}10$ (235.5mm²)
Jarak tulangan tarik kesisi atas balok, d : 175 mm
- Tulangan tekan $A_s' = 2\text{Ø}10$ (157 mm²)
Jarak tulangan tekan kesisi atas balok, d' : 35 mm
- Dengan rasio tulangan tekan terhadap tulangan tarik $\frac{p'}{p} = 0,67$.
- Kuat tekan beton (f_c') : 25mpa
- Kuat leleh baja (f_y) : 240mpa
- Elastisitas baja (E_s) (berdasarkan SK SNI T-15-1991-03) : 200000 mpa
- Bj beton : 2400 kg/m³

Perhitungan berat balok beton
 $q = B_j \text{ beton} \cdot b \cdot t$
 $= 2400 \cdot 0,2 \cdot 0,2$
 $= 96 \text{ kg/m}$

Saat Yield

Dari hasil uji kuat lentur balok yang menggunakan pasir Merapi dengan tulangan D10 mm, diperoleh nilai P pada saat mencapai yield, $P = 12500 \text{ kg}$.

Akibat beban P dan berat sendiri balok pada tes uji lentur, dengan gambar statika seperti yang terlihat pada gambar 1, maka reaksi perletakan yang terjadi adalah:

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{P}{2} + q\left(\frac{1}{2}L\right) \\ &= \frac{12500}{2} + 96\left(\frac{1}{2}0,6\right) \\ &= 6290,8 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dari V_u diatas, maka dapat dicari nilai Momen yang terjadi saat kondisi yield ini tercapai :

$$M_{yield} = -P/2 \left(a/2\right) - 0,5q \left(\frac{L}{2}\right)^2 + V_u \left(L_o/2\right)$$

$$M_{yield} = -12500/2 \left(0,075/2\right)$$

$$-0,5(96) \left(\frac{0,6}{2}\right)^2 + 6290,8 \left(0,45/2\right)$$

$$\begin{aligned} M_{yield} &= 149,47 \text{ kg} \cdot \text{m} \\ &= 149470 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Dengan nilai M_y ini, dicari nilai c:

$$M_y = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$c = \frac{M_y}{A_s f_y} = \frac{149470}{235,5 \times 240} = 2,645 \text{ mm}$$

Regangan baja dan regangan beton pada saat yield:

$$\epsilon_{sy} = \frac{f_y}{E} = \frac{240}{200000} = 0.0012$$

$$\epsilon_c = \frac{\epsilon_{sy} c}{d - c} = \frac{0,0012 \times 2,645}{175 - 2,645}$$

$$= 0,00000184$$

Maka nilai kurvatur pada saat yield:

$$\phi_y = \frac{\epsilon_c}{c} = \frac{0,00000184}{2,645}$$

$$= 0,000000696$$

Saat Ultimit

Dari hasil uji kuat lentur balok, diperoleh nilai P pada saat mencapai ultimit, $P = 20000 \text{ kg}$

Dilakukan analisis yang sama seperti pada saat yield, diperoleh:

$$V_u = 10040,8 \text{ kg}$$

$$M_{ult} = 243,22 \text{ kg} \cdot \text{m} = 243220 \text{ Nmm}$$

c. Asumsi tulangan tekan sudah leleh

Dengan asumsi tulangan tekan sudah leleh, tinggi daerah tekan ekivalen (a) pada penampang beton diperoleh dengan mencari nilai a yang memenuhi persamaan berikut:

$$M_u = 0,85 f_c' a b \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' f_y (d - d')$$

$$\begin{aligned} 243220 &= 0,85(25)a(200) \left(175 - \frac{a}{2}\right) \\ &\quad + (157)(240)(175 - 35) \end{aligned}$$

Diperoleh nilai a:

$a = 356,96 \text{ mm}$ ($a > h = 200 \text{ mm}$), asumsi tulangan tekan sudah leleh adalah tidak benar)

Tabel. 4 Hasil perhitungan momen dan kurvatur

Pasir	$\frac{\rho'}{\rho}$	My (Nmm)	ϕ_y	Mult (Nmm)	ϕ_{ult}
Merapi	0,67	149.470	0,00000696	243.220	0,000146
	0,5	211.970	0,00000703	236.970	0,000178
Lumajang	0,67	149.470	0,00000696	174.470	0,000149
	0,5	161970	0,00000699	199.470	0,000181

Tabel. 5 Prosentase peningkatan nilai daktilitas seiring dengan pengurangan rasio tulangan tarik

Pasir	Tulangan tarik	Daktilitas (μ)	Peningkatan Daktilitas (%)
Merapi	3D10 ($A_s = 235,5 \text{ mm}^2$)	20,959	20,937
	4D8 ($A_s = 200,96 \text{ mm}^2$)	25,348	
Lumajang	3D10 ($A_s = 235,5 \text{ mm}^2$)	21,399	20,868
	4D8 ($A_s = 200,96 \text{ mm}^2$)	25,864	

Tabel. 6 Prosentase peningkatan nilai daktilitas dengan penggunaan pasir Lumajang

Pasir	$\frac{\rho'}{\rho}$	Daktilitas (μ)	Peningkatan Daktilitas P Lumajang thd P Merapi (%)
Merapi	0,67	20,959	2,097
Lumajang		21,399	
Merapi	0,5	25,348	2,038
Lumajang		25,864	

d. Asumsi tulangan tekan belum leleh

Asumsi tulangan tekan sudah leleh adalah tidak benar, sehingga nilai a dicari dengan menggunakan asumsi tulangan tekan belum leleh. Dengan menggunakan persamaan (11), maka:

$$M_u = 0,85 f'_c ab \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s E_s \varepsilon_c \left(\frac{a - \beta d'}{a} \right) (d - d')$$

$$243220 = 0,85(25)a(200) \left(175 - \frac{a}{2} \right) + (157)(200000)(0,004) \left(\frac{a - (0,85)(35)}{a} \right) (175 - 35)$$

$$+ (157)(200000)(0,004) \left(\frac{a - (0,85)(35)}{a} \right) (175 - 35)$$

Nilai a yang memenuhi persamaan diatas adalah:

$$a = 19,642 \text{ mm}$$

Maka nilai c, tinggi daerah tekan :

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{19,642}{0,85} = 23,11 \text{ mm}$$

Dan nilai kurvatur pada saat ultimit:

$$\varphi_{ult} = \frac{\varepsilon_{cu}}{C} = \frac{0,004}{23,11} = 0,00017$$

Daktilitas :

Daktilitas merupakan rasio kurvatur ultimit terhadap kurvatur yield, dengan nilai:

$$\mu = \frac{\varphi_{ult}}{\varphi_y} = \frac{0,00017}{0,000000696} = 24,86$$

Hasil perhitungan Momen dan kurvatur beton untuk benda uji yang lainnya dapat dilihat pada table 4 sampai dengan tabel 6.

Dari hasil perhitungan momen dan kurvatur beton terlihat bahwa:

1. Tabel 5 memperlihatkan prosentase peningkatan nilai daktilitas seiring dengan pengurangan rasio tulangan tarik. Untuk penggunaan pasir Merapi, penggunaan tulangan tarik 4D8 ($A_s=200,96\text{mm}^2$) memiliki daktilitas yang lebih tinggi 20,937% dibanding balok dengan tulangan tarik 3D10 ($A_s=235,5\text{mm}^2$). Begitu juga dengan penggunaan pasir Lumajang, penggunaan tulangan tarik 4D8 ($A_s=200,96\text{mm}^2$) memiliki daktilitas yang lebih tinggi 20,868% dibanding balok dengan tulangan tarik 3D10 ($A_s=235,5\text{mm}^2$).
2. Dapat disimpulkan penggunaan tulangan tarik yang semakin banyak akan mengurangi nilai daktilitas.
3. Tabel 6 memperlihatkan prosentase peningkatan nilai daktilitas dengan penggunaan pasir Lumajang. Untuk nilai $\frac{\rho'}{\rho} = 0,67$, penggunaan pasir Lumajang meningkatkan nilai daktilitas 2,097%. Dan Untuk nilai $\frac{\rho'}{\rho} = 0,5$, penggunaan pasir Lumajang meningkatkan nilai daktilitas 2,038%.
4. Dapat disimpulkan penggunaan pasir Lumajang dapat meningkatkan nilai daktilitas.
5. Nilai daktilitas berhubungan dengan nilai kuat tekan beton. Makin besar nilai kuat tekan beton, maka nilai daktilitasnya makin menurun. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya (studi perbandingan nilai kuat tekan dan modulus elastis beton yang menggunakan

pasir Lumajang dan pasir Merapi), diketahui bahwa nilai kuat tekan beton dengan pasir Merapi lebih besar 5,1% karena itu daktilitas balok dengan pasir Merapi lebih kecil.

5. Analisa Tegangan Lentur Beton

Berdasarkan data dari hasil penelitian dapat dihitung tegangan lentur beton. Tegangan ini dihitung berdasarkan Momen max yang dapat diterima oleh balok beton. Contoh perhitungan tegangan lentur balok beton dengan campuran pasir Merapi dan tulangan D10:

Dari Tabel 4 dapat diketahui Momen max, $M_{ult} = 243220 \text{ Nmm} = 2432,2 \text{ kgcm}$.

Contoh :

Letak garis netral untuk penampang beton 200x200 mm adalah,

$$C = \frac{h}{2} = \frac{20}{2} = 10\text{mm}$$

Momen Inersia penampang:

$$I = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12}20.(20)^3 = 13333,3\text{cm}^4$$

Maka tegangan lentur max adalah:

$$\sigma_l = \frac{MC}{I} = \frac{2432,2 \times 10}{13333,3} = 1,824 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk hasil perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada table 7.

Dari hasil perhitungan tegangan lentur beton terlihat bahwa:

1. Tabel 7 memperlihatkan prosentase peningkatan nilai Tegangan Lentur beton dengan pasir Merapi terhadap pasir Lumajang. Untuk balok yang menggunakan tulangan tarik 3D10 ($A_s=235,5\text{mm}^2$), penggunaan pasir Merapi meningkatkan tegangan lentur sebesar 35,804 % dibanding balok yang menggunakan pasir Lumajang. Dan untuk balok yang menggunakan tulanga tarik 4D8 ($A_s=200,96\text{mm}^2$), penggunaan pasir Merapi meningkatkan tegangan lentur sebesar 21,925 % dibanding balok yang menggunakan pasir Lumajang.

Tabel 7. Peningkatan Tegangan Lentur beton dengan pasir Merapi terhadap pasir Lumajang

Tulangan Tarik	Mult (Nmm)	Tegangan Lentur Pasir Lumajang	Mult (Nmm)	Tegangan Lentur Pasir Gunung Merapi	Peningkatan Tegangan Lentur (%)
3D10 (As=235,5mm ²)	174.470	1,3085	236.970	1,777	35,804 %
4D8 (As=200,96mm ²)	199.470	1,496	243.220	1,824	21,925 %

2. Disimpulkan, penggunaan pasir Merapi dapat meningkatkan kuat lentur balok.
3. Tabel 7 juga memperlihatkan peningkatan nilai tegangan lentur seiring dengan pengurangan luas tulangan tarik. Untuk penggunaan pasir Lumajang, penggunaan tulangan tarik 4D8 (As=200,96mm²) meningkatkan kuat lentur balok dari 1,3085 N menjadi 1,496 N. Dengan kata lain terjadi peningkatan 14,3% dibanding balok dengan tulangan tarik 3D10 (As=235,5mm²). Begitu juga dengan penggunaan pasir Merapi, penggunaan tulangan tarik 4D8 (As=200,96mm²) meningkatkan kuat lentur balok dari 1,777N menjadi 1,824N. Dengan kata lain terjadi peningkatan 2,6% dibanding balok dengan tulangan tarik 3D10 (As=235,5mm²).
4. Dapat disimpulkan penggunaan tulangan tarik yang semakin banyak akan mengurangi nilai tegangan lentur balok.

Tabel 6 menyimpulkan daktilitas balok dengan pasir Lumajang lebih tinggi dibanding balok dengan pasir Merapi. Sedangkan tabel 7 memberikan kesimpulan yang sebaliknya, kuat lentur balok dengan pasir Lumajang lebih tinggi dibanding balok dengan pasir Merapi. Dari kedua kesimpulan ini menunjukkan peningkatan kuat lentur tidak sebanding dengan peningkatan nilai daktilitas. Karena daktilitas merupakan kemampuan elemen struktur untuk bertahan dari keadaan yield sampai mencapai ultimit.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi penggunaan pasir Merapi dan pasir Lumajang ditinjau

dari segi kuat lentur dan daktilitas diperoleh kesimpulan:

1. Dari segi kuat lentur, Pasir Lumajang memiliki nilai kuat lentur yang lebih tinggi dibanding kuat lentur pasir Lumajang.
2. Dan dari segi daktilitas, Pasir Lumajang memiliki nilai daktilitas yang lebih tinggi dibanding daktilitas pasir Lumajang.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, Munif. 2009. (16-01-2012, pukul 22:54) *Pasir Lumajang*. <http://lumajangtopic.blogspot.com/2009/02/pasir-lumajang.html>.
- ASTM C 78 -94 *Standart Test Method for Flexural (Strength of Concrete Using Simple Beam With Third Poin Loading)*
- Departemen Pekerjaan Umum, **Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 N.I.-2**
- Eka Susanti, 2014, *Studi Perbandingan Nilai Kuat Tekan PBI 71*, Penerbit Yayasan LPBM, Bandung
- Nawy, EG, 1985, " Beton Bertulang Suatu pendekatan dasar " Printice – Hall, Inc, New jersey, USA.
- Park, Paulay, 1975, " Reinforced Concrete Structures " John Wiley & sons, Inc, Canada, USA.
- Pasir Gunung Merapi Merupakan Pasir Kualitas terbaik. (16-01-2012, pukul 22:45)* <http://solocybercity.wordpress.com/2010/11/08/pasir-gunung-merapi-merupakan-pasir-kualitas-terbaik/>.

