

STRESS STRAIN BEHAVIOUR AND MODULUS OF ELASTICITY OF STEEL DUST COLLECTOR CONCRETE

PERILAKU TEGANGAN REGANGAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON LIMBAH DEBU PENGOLAHAN BAJA (STEEL DUST COLECTOR)

Amalia¹⁾, Djedjen Achmad²⁾, Rinawati³⁾
^{1), 2), 3)} Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta
Jl. Prof. Dr GA. Siwabessy Kampus UI, Depok 16424
^{*)}E-mail amaliaiva@yahoo.com

ABSTRACT

Steel dust collector concrete is concrete with added material processing steel dust waste. In the reinforced concrete structures design, for modeling the behavior of concrete materials in the burden needs to know the form of stress strain curves and modulus of elasticity. This research aims to investigate the stress strain behavior and modulus of elasticity of steel dust collector concrete. Test specimen is used a concrete cylinder with 15 cm diameter and 30 cm height. The mixture of concrete was water cement ratio (w/c) varied: 0,68, 0,57 and 0,51 as well as the amount of waste 0% and 10%. Stress strain behavior and modulus of elasticity of concrete was tested at 28 days. The results of this study indicates that compressive strength and modulus of elasticity of concrete has increased with the addition of waste steel dust collector. Modulus of elasticity of steel dust collector concrete is higher than the formulation of SNI-03-2847-2000. Form of stress strain diagram of steel dust collector concrete is steeper than the concrete without waste. The maximum strain of concrete with no waste is higher than concrete waste. Strain at peak load of the steel dust collector concrete with w/c 0,51 has increased. Based on the stress strain diagram form and collapse model, steel dust collector concrete is more brittle than concrete without waste.

Keywords: steel dust collector concrete, stress strain concrete, modulus of elasticity of concrete

ABSTRAK

Beton limbah debu pengolahan baja adalah beton yang ditambahkan limbah dari debu pengolahan baja. Dalam desain struktur beton bertulang, untuk memodelkan perilaku material beton di perlu mengetahui bentuk kurva tegangan regangan dan modulus elastisitas. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki perilaku tegangan regangan dan modulus elastisitas beton limbah debu pengolahan baja. Benda uji yang digunakan adalah silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Campuran beton dengan faktor air semen (fas) bervariasi: 0,68, 0,57 dan 0,51 serta jumlah limbah 0% dan 10%. Tegangan, regangan dan modulus elastisitas beton diuji pada umur 28 hari. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kuat tekan dan modulus elastisitas beton telah meningkat dengan penambahan limbah debu pengolahan baja. Modulus elastisitas beton limbah debu pengolahan baja lebih tinggi dari perumusan SNI-03-2847-2000. Bentuk diagram tegangan regangan beton limbah debu pengolahan baja lebih curam daripada beton tanpa limbah. Strain maksimum beton dengan limbah tidak lebih tinggi dari limbah beton. Regangan pada beban puncak dari beton limbah debu pengolahan baja dengan fas 0,51 meningkat. Berdasarkan bentuk diagram tegangan regangan dan model keruntuhan, beton limbah debu pengolahan baja lebih rapuh dari beton tanpa limbah.

Kata-kata kunci: beton limbah debu pengolahan baja, tegangan regangan beton, modulus elastisitas beton

PENDAHULUAN

Steel *Steel dust collector* merupakan limbah debu yang berasal dari proses pengolahan baja PT Krakatau Steel dengan bahan campuran besi bekas. Dari hasil uji laboratorium debu limbah ini mempunyai komposisi $Fe_2O_3 = 41,76\%$, $Al_2O_3 = 20,05\%$, $SiO_2 = 2,26\%$, $MgO = 1,66\%$, BJ = 3,06 dengan tingkat kehalusan 94,25% lolos ayakan 75 mesh. Beberapa hasil penelitian terdahulu menyebutkan bahwa debu limbah pengolahan baja ini dapat digunakan sebagai bahan pengisi pada *con-block* (Murdiani KM *et al*, 2006), filler pada aspal beton (Broto AB *et al*, 2006) dan bahan substitusi pada mortar (Amalia dan Handi, 2010). Dari hasil penelitian tersebut ternyata penambahan limbah pada *conblock* dan mortar dapat meningkatkan kuat tekan, sedangkan pada aspal beton dihasilkan campuran yang memenuhi standar Bina Marga.

Beton limbah debu pengolahan baja (yang selanjutnya disebut *beton steel dust collector*) merupakan beton dengan bahan tambah limbah debu pengolahan baja. Hasil penelitian penggunaan limbah pada berbagai nilai faktor air semen (FAS) menyebutkan bahwa penggunaan limbah *steel dust collector* sebesar 10% pada beton dengan FAS 0,68 dapat meningkatkan perilaku mekanik beton terdiri dari kuat tekan, kuat lentur dan *poissons ratio*. Pada beton dengan FAS lebih kecil, penambahan

limbah justru menurunkan kemampuan mekanis beton (Amalia dan Murdiyoto, 2010).

Di dalam desain struktur beton bertulang, untuk memodelkan perilaku material beton di dalam memikul beban perlu diketahui bentuk/model kurva tegangan regangan. Dari bentuk kurva tegangan regangan dapat diketahui kemampuan beton di dalam memikul beban sekaligus kemampuan beton berdeformasi pada saat menerima beban. Selain tegangan dan regangan, modulus elastisitas beton merupakan parameter yang penting diketahui untuk memeriksa lendutan/defleksi dan retak pada struktur beton. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan perilaku tegangan regangan, kuat tekan dan modulus elastisitas beton dengan bahan tambah limbah debu pengolahan baja dan beton tanpa limbah.

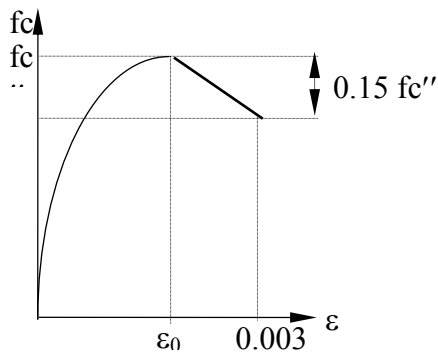
Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton merupakan kemiringan garis singgung (slope dari garis lurus yang ditarik) dari kondisi tegangan nol ke kondisi tegangan 0,45 f'c pada kurva tegangan-regangan beton. Modulus elastisitas beton dipengaruhi oleh jenis agregat, kelembaban benda uji beton, faktor air semen, umur beton dan temperaturnya. Secara umum, peningkatan kuat tekan beton seiring dengan peningkatan modulus elastisitasnya. Menurut pasal 10.5 SNI-03-2847 (2002) hubungan antara nilai

modulus elastisitas beton normal dengan kuat tekan beton adalah $E_c = 4700\sqrt{f'_c}$.

Perilaku Tegangan-Regangan Beton Normal

Hubungan tegangan-regangan beton perlu diketahui untuk menurunkan persamaan dalam analisis maupun desain struktur beton. Untuk mengetahui perilaku hubungan tegangan-regangan beton didapat dari hasil pengujian tekan terhadap silinder beton. Hubungan tegangan-regangan beton normal pada pembebanan uniaksial yang diusulkan oleh E. Hognestad diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Idealisasi Hubungan Tegangan-Regangan pada Beton Hognestad

Pada daerah $0 < \epsilon_c < \epsilon_0$, E. Hognestad memberikan persamaan

sebagai berikut :
$$f_c = f'_c \left[\frac{2\epsilon_c}{\epsilon_0} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_0} \right)^2 \right] ; \epsilon_0 = 2f'_c/E_c$$

dimana

- f_c : tegangan beton,
- f'_c : Tegangan maksimum beton,
- ϵ_0 : Regangan yang terjadi pada saat terjadi tegangan maksimum,
- ϵ_c : Regangan yang terjadi pada saat tegangan mencapai 85 % tegangan maksimum.

Pada daerah $\epsilon_c > \epsilon_0$, persamaan hubungan tegangan regangannya merupakan persamaan linier yang bergantung pada nilai ϵ_0 dan f'_c . Dari Gambar 1 terlihat bahwa pada kondisi tegangan mencapai $\pm 40\%$ f'_c pada umumnya berbentuk linier. Pada saat tegangan mencapai $\pm 70\%$ f'_c , material beton banyak kehilangan kekakuannya yang menyebabkan diagram menjadi tidak linier. Dari beberapa hasil penelitian menyebutkan bahwa tegangan maksimum beton dicapai pada regangan tekan 0,002-0,0025. Regangan ultimit pada saat beton hancur 0,003 – 0,008. Untuk perencanaan, SNI 03-2847 (2002) menggunakan regangan tekan maksimum beton sebesar 0,003.

METODE PENELITIAN

Metode Pengujian Bahan

Sebelum dilakukan pembuatan benda uji beton, dilakukan pengujian terhadap mutu agregat kasar dan halus serta sifat fisik limbah debu. Untuk sifat-sifat PC tidak dilakukan pengujian karena digunakan PC yang memenuhi standar SNI.

Adapun jenis dan standar pengujian yang digunakan meliputi :Pengujian agregat halus meliputi : berat jenis dan penyerapan air sesuai standar pengujian ASTM C – 128 - 93,

berat isi asli (ASTM C – 29/C 29 M – 91a), analisa ayak (ASTM C – 136 – 96a), Kadar air (ASTM C – 566 – 97), Kadar lumpur (ASTM C 117 – 95). Pengujian agregat kasar meliputi : berat jenis dan penyerapan air sesuai standar pengujian ASTM C – 127 – 88 (1993), berat isi asli (ASTM C – 29/C 29 M – 91a), analisa ayak (ASTM C – 136 – 96a), Kadar air (ASTM C – 566 – 97), Kadar lumpur (ASTM C 117 – 95).

Pengujian limbah debu meliputi: berat jenis dan penyerapan air, berat isi dan analisa ayak. Adapun metode pengujian tegangan regangan dan modulus elastisitas beton adalah sebagai berikut :

Pengujian Modulus Elastisitas

Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin uji tekan dan dial gauge. Modulus elastisitas beton dihitung pada saat beban mencapai 40% dari beban maksimum.

Modulus elastisitas beton dihitung dengan pers.(1)

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - 0,000050)} \quad (1)$$

dimana :

E = Modulus elastisitas beton (N/mm²)

S₂ = Tegangan yang terjadi saat beban 40% P maksimum

S₁ = Tegangan yang terjadi saat regangan longitudinal mencapai 0,000050.

ϵ_2 = Regangan longitudinal akibat S₂

Perilaku Tegangan - Regangan

Pengujian dilakukan dengan memasang *strain gauge* pada benda uji kemudian diberi beban monotonik. Pembebanan dilakukan secara bertahap sampai benda uji hancur. Setiap kenaikan beban dicatat regangannya pada data logger kemudian dibuat grafik hubungan tegangan-regangan beton. Tegangan dihitung dengan pers.(2)

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{N/mm}^2 \text{ atau kgf/cm}^2 \quad (2)$$

dimana :

σ = Kuat tekan beton (N/mm²), P = beban , Newton, A = luas bidang tekan benda uji, mm²

Variasi dan sifat Bahan Penyusun Beton

Benda uji berupa silinder beton diameter 15 cm, tinggi 30 cm, dibuat dengan 3 variasi nilai FAS yaitu : 0,68, 0,57 dan 0,51 serta 2 variasi jumlah limbah pada beton sebesar 0%, dan 10 %. Masing-masing variasi dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali. Semua benda uji beton di *curing* dengan direndam di dalam air pada suhu ruangan sampai beton berumur 28 hari.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen jenis ordinary portland cement (OPC), agregat halus dari jenis pasir alam, agregat kasar jenis batu pecah alam dan limbah debu pengolahan baja (*steel dust collector*) PT. Krakatau Steel. Sifat-sifat bahan penyusun beton dicantumkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat-Sifat Bahan Penyusun Beton

Sifat Bahan	Agregat Halus	Agregat Kasar	Steel Dust Collector
BJ	2,46	2,51	3,06
BJ SSD	2,54	2,56	3,03
BJ semu	2,67	2,66	1,07
Berat Lepas(Kg/m ³)	isi 1410,17	1490,57	0,93
Berat padat(Kg/m ³)	isi 1529,61	1629,43	-
Penyerapan air (%)	3,28	2,21	6,20
Kadar air (%)	1,59	0,05	1,50

Analisa Ayak	Zona 2	Butir mak 40 mm	94,29%lolos ayakan 0,075
Kehalusan Butir/FM (%)	2,68	6,82	-
Kadar Lumpur (%)	0,61	4,58	-

Metode Analisis Data

Data yang diperoleh dari hasil pengujian tegangan regangan dianalisis dengan cara mencari nilai tegangan regangan pada masing-masing benda uji yang dikelompokkan sesuai variasinya kemudian dibuat suatu kurva untuk mengetahui perilaku beton.

Kurva tegangan regangan hasil pengujian di laboratorium kemudian dibandingkan dengan kurva formulasi dari Hognestad. Untuk mengetahui nilai modulus elastisitas beton, data yang diperoleh dari masing-masing benda uji setiap variasi dicari nilai rata-ratanya kemudian dibandingkan dengan nilai modulus elastisitas yang dipersyaratkan oleh peraturan beton Indonesia, SNI 2847-2002 (Anonim, 2002).

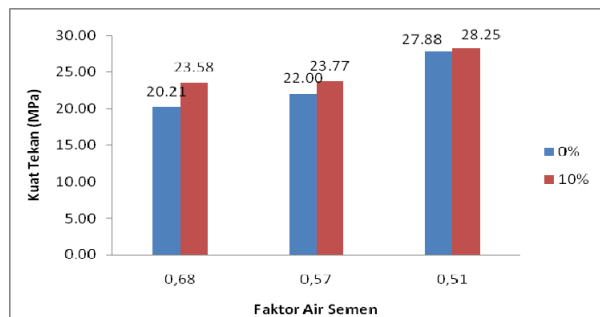
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuat Tekan Beton

Hasil penelitian kuat tekan beton disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 2.

Tabel 2. Kuat Tekan Beton

Faktor Air Semen	Kadar Limbah	Kuat Tekan rata-rata (Mpa)
0,68	0%	20,21
0,68	10%	23,58
0,57	0%	22,00
0,57	10%	23,77
0,51	0%	27,88
0,51	10%	28,25



Gambar 2. Hubungan FAS, Kadar Limbah dan Kuat Tekan Beton

Dari Gambar 2 terlihat bahwa penambahan limbah *steel dust collector* pada beton dapat meningkatkan kuat tekan beton untuk semua jenis beton dengan FAS berbeda. Pada beton *steel dust collector* dengan FAS 0,68, kuat tekan meningkat sebesar 16,64%, FAS 0,57 meningkat sebesar 8,04% dan FAS 0,51 meningkat sebesar 1,35%. Kondisi ini terjadi karena karena butiran halus limbah mengisi secara optimum rongga diantara agregat halus dan semen sehingga beton menjadi lebih padat dan kuat tekannya naik.

Dari Tabel 2 juga terlihat bahwa semakin kecil nilai FAS beton, terjadi peningkatan kuat tekan beton. FAS beton sangat berpengaruh terhadap kuat tekan, dimana beton dengan FAS rendah mempunyai volume rongga lebih sedikit dibandingkan dengan beton yang memiliki FAS tinggi, sehingga kepadatan beton juga lebih tinggi pada beton FAS rendah. Tingkat kepadatan beton inilah yang menyebabkan kuat beton tinggi.

Peningkatan kuat tekan beton *steel dust collector* semakin kecil seiring dengan menurunnya nilai FAS. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Amalia dan Murdiyoto (2010) yang menyatakan bahwa penambahan limbah *steel dust collector* memberikan peningkatan kuat tekan yang besar pada beton dengan FAS rendah. Hal ini terjadi karena pada beton dengan FAS rendah, tingkat kemudahan dikerjakan beton lebih tinggi dibandingkan beton dengan FAS tinggi. Butiran limbah yang halus membantu meningkatkan kemudahan dikerjakan beton.

Hasil penelitian ini mengalami perbedaan dengan hasil penelitian Amalia dan Murdiyoto (2010) untuk beton dengan FAS 0,57 dan 0,51, dimana penambahan limbah justru menurunkan kuat tekan beton. Kuat tekan beton sangat dipengaruhi tingkat kemudahan pengerjaan beton yang ditunjukkan dengan nilai slump. Nilai slump beton *steel dust collector* pada FAS 0,51 dan 0,57 penelitian sebelumnya lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian ini, sehingga pada penelitian ini beton lebih mudah dipadatkan. Hasil penelitian lain yang senada juga menyebutkan bahwa penambahan limbah debu pasir besi sebagai filler pada beton juga meningkatkan kuat tekan beton pada kadar 10% (Suryadi, 2007).

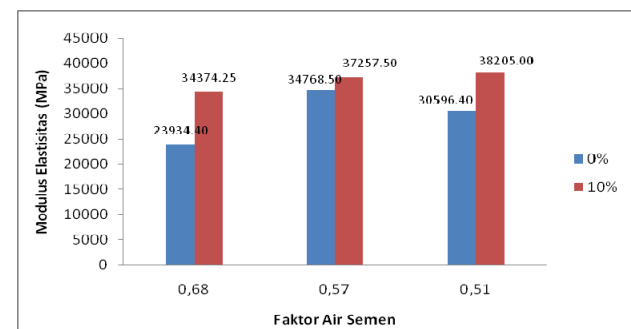
Modulus Elastisitas Beton

Hasil penelitian modulus elastisitas beton dengan bahan substitusi limbah debu *steel dust collector* disajikan pada Tabel 3 dan Gambar 3. Pengujian modulus elastisitas beton dilakukan dengan memberikan beban secara bertahap sampai mencapai beban 40 % beban puncak. Pemendekan benda uji (ΔL) untuk menghitung regangan longitudinal diperoleh dari hasil pembacaan pada *dial gauge* yang dipasang pada benda uji. Nilai modulus elastisitas beton hasil eksperimen dibandingkan dengan modulus elastisitas teoritis formulasi SNI 03-2846 (2002) pasal

10.5 yaitu sebesar $E_c = 4700\sqrt{f'c}$.

Tabel 3. Modulus Elastisitas Beton

Faktor Air Semen	Kadar Limbah	Modulus Elastisitas hasil eksperimen (MPa)	Modulus Elastisitas Teoritis formulasi SNI (MPa)
0,68	0%	23934,40	20205,47
0,68	10%	34374,25	23219,65
0,57	0%	34768,50	21432,09
0,57	10%	37257,50	22840,65
0,51	0%	30596,40	25048,89
0,51	10%	38205,00	25497,99



Gambar 3. Hubungan FAS, Kadar Limbah dan Modulus Elastisitas Beton

Dari Gambar 3 terlihat bahwa modulus elastisitas beton menurun sejalan dengan meningkatnya FAS. Dari gambar yang sama juga terlihat bahwa beton *steel dust collector* menghasilkan modulus elastisitas lebih tinggi pada semua nilai FAS dibandingkan beton tanpa limbah. Peningkatan modulus elastisitas tertinggi terjadi pada beton *steel dust collector* dengan FAS rendah. Pada FAS 0,68 nilai modulus elastisitas beton *steel dust collector* lebih tinggi sebesar 43,62%, FAS 0,57 sebesar 7,16% dan FAS 0,51 sebesar 24,87%.

Modulus elastisitas beton berkaitan erat dengan FAS, kepadatan dan kuat tekan beton. Nilai modulus elastisitas beton menurun seiring dengan meningkatnya FAS. Peningkatan nilai FAS menyebabkan meningkatnya jumlah pori pada beton sehingga kepadatannya berkurang yang berimplikasi pada menurunnya kuat tekan dan modulus elastisitas. Modulus elastisitas beton berhubungan erat dengan kuat tekan beton, dimana modulus elastisitas beton semakin tinggi seiring dengan meningkatnya kuat tekan beton.

Beton *steel dust collector* mempunyai kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan beton tanpa limbah sehingga dengan energi yang sama dihasilkan pemendekan dan regangan longitudinal yang lebih kecil dibandingkan dengan beton tanpa limbah. Regangan longitudinal yang kecil ini akan membuat nilai modulus elastisitas beton menjadi lebih tinggi. Selain itu, kuat tekan yang lebih tinggi menyebabkan kemampuan beton dalam mentransfer tegangan semakin meningkat sehingga modulus elastisitasnya juga meningkat.

Beton *steel dust collector* menghasilkan modulus elastisitas lebih tinggi dibandingkan dengan beton tanpa limbah. Hal ini terkait dengan adanya unsur silika dan alumina pada limbah, dimana unsur ini dapat mengikat kapur bebas $Ca(OH)_2$ pada proses hidrasi dan membentuk gel baru CSH yang mengisi rongga-rongga beton sehingga kepadatan beton meningkat. Peningkatan kepadatan ini akan meningkatkan kuat tekan dan modulus elastisitas beton.

Dari Tabel 3 juga terlihat bahwa nilai modulus elastisitas beton untuk semua perlakuan hasil eksperimen lebih besar dibandingkan dengan modulus elastisitas teoritis menurut formula yang ditetapkan SNI-03-2847 (2002) pasal 10.5 yaitu sebesar $E_c = 4700\sqrt{f'c}$.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian lain yang menyebutkan bahwa penambahan limbah debu pasir besi sebagai filler pada beton juga meningkatkan modulus elastisitas beton pada kadar 10% (Suryadi, 2007).

Tegangan Regangan Beton

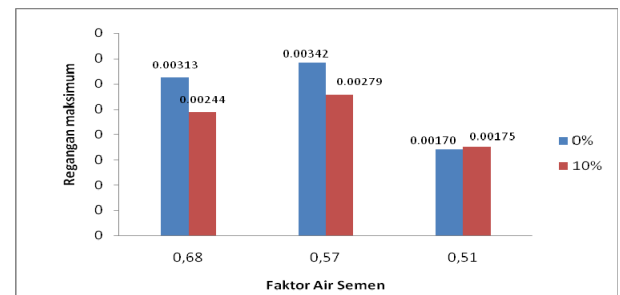
Hasil pengujian perilaku tegangan regangan beton diperoleh tegangan rata-rata maksimum, regangan maksimum, regangan rata-rata pada beban puncak dan bentuk diagram tegangan regangan beton. Diagram tegangan regangan beton hasil eksperimen dibandingkan dengan tegangan regangan formulasi yang diusulkan oleh Hognestad. Dari bentuk diagram tegangan regangan hasil eksperimen ini akan dapat diketahui perilaku beton dalam memikul beban.

Hasil penelitian tegangan dan regangan pada beban puncak beton *steel dust collector* dan beton tanpa limbah disajikan pada Tabel 4, sedangkan regangan maksimum beton disajikan pada Gambar 4.

Dari Tabel 4 terlihat bahwa beton *steel dust collector* menghasilkan tegangan maksimum lebih tinggi dibandingkan beton tanpa limbah untuk semua variasi FAS. Dari Tabel yang sama juga terlihat bahwa regangan beton pada beban puncak untuk beton *steel dust collector* maupun beton tanpa limbah nilainya hampir sama untuk semua nilai FAS.

Tabel 4. Tegangan dan Regangan Pada Beban Puncak Beton

Faktor Air Semen	Kadar Limbah	Tegangan Rata-Rata (Mpa)	Regangan Rata-rata Pada Beban Puncak (ϵ_{peak})
0,68	0%	23934,40	20205,47
0,68	10%	34374,25	23219,65
0,57	0%	34768,50	21432,09
0,57	10%	37257,50	22840,65
0,51	0%	30596,40	25048,89
0,51	10%	38205,00	25497,99



Gambar 4. Hubungan FAS, Kadar Limbah dan Regangan Maksimum Beton

Nilai regangan maksimum beton ditunjukkan pada Gambar 4. Dari gambar 4 terlihat bahwa beton *steel dust collector* memiliki regangan maksimum lebih kecil dibandingkan dengan beton tanpa limbah untuk FAS 0,68 dan 0,57. Untuk beton FAS 0,51, nilai regangan maksimum beton *steel dust collector* tidak berbeda jauh dengan beton tanpa limbah. Hal ini mengindikasikan bahwa beton *steel dust collector* bersifat lebih getas dibandingkan dengan beton tanpa limbah. Dari Gambar 4 dan Tabel 4 juga terlihat bahwa peningkatan kuat tekan beton diiringi dengan menurunnya nilai regangan maksimum beton yang berarti menyebabkan beton semakin getas.

Perilaku hubungan tegangan regangan beton perlu diketahui untuk menurunkan persamaan dalam analisis dan desain struktur beton. Gambar 5 sampai 7 memperlihatkan kurva hubungan tegangan regangan beton limbah *steel dust collector* dibandingkan dengan model kurva tegangan regangan yang diusulkan Hognestad. Dari grafik tersebut terlihat, pada bagian pertama kurva sekitar 40 % dari tegangan maksimum masih linier, setelah mendekati ± 70 % tegangan maksimum beton banyak kehilangan kekakuannya sehingga bentuk kurva menjadi tidak linier. Pada beban batas, retak yang terjadi searah dengan beban semakin jelas dan pada kondisi ini silinder beton akan segera hancur.

Dari grafik 5 sampai 7 secara umum dapat terlihat bahwa (1) Semakin rendah kuat tekan beton maka regangan maksimum beton semakin tinggi; (2) Terjadi reduksi terhadap daktilitas seiring dengan kenaikan kuat tekan beton. Hal ini terlihat dari bentuk kurva yang semakin tajam pada beton dengan kuat tekan tinggi. (3) Panjang bagian linier kurva semakin bertambah seiring dengan meningkatnya kuat tekan beton.

Perilaku tegangan regangan beton *steel dust collector* dan beton tanpa limbah FAS 0,68 dan 0,57 pada bagian 40 % tegangan puncak memperlihatkan kecenderungan yang hampir sama dengan model yang diusulkan oleh Hognestad, namun setelah melewati 40 % $f'c$ bentuk kurva lebih curam dibandingkan dengan model kurva Hognestad. Pada beton *steel dust collector*, kurva pra-puncak dan pasca puncak terlihat lebih curam dibandingkan dengan beton tanpa limbah. Dilihat dari bentuk kurvanya, beton *steel dust collector* mempunyai perilaku lebih getas dibandingkan beton tanpa limbah untuk FAS 0,68 dan 0,51.

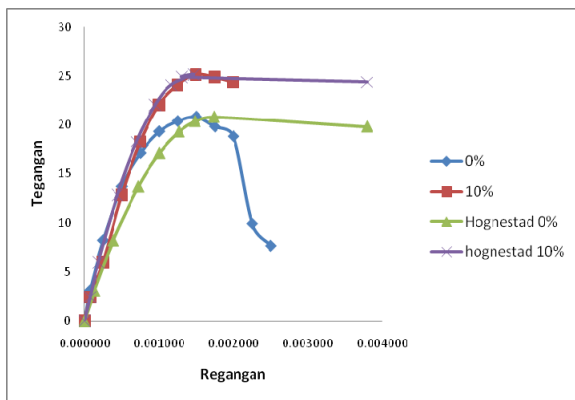
Beton tanpa limbah mempunyai perilaku lebih duktail, dimana bentuk kurva tegangan regangan beton tersebut lebih landai.

Bentuk kurva tegangan regangan beton *steel dust collector* FAS 0,51 pada bagian 40 % tegangan puncak memperlihatkan kecenderungan yang sama dengan usulan grafik Hognestad baik pada pra puncak maupun pasca puncak. Untuk beton tanpa limbah, bentuk kurva lebih curam dibandingkan dengan grafik usulan Hognestad. Kurva prapuncak sampai $\pm 70\%$ pada beton *steel dust collector* menunjukkan bentuk lebih melengkung dan memiliki kekakuan lebih besar dibandingkan beton tanpa limbah. Hal ini terjadi karena sampai pada beban $\pm 70\%$ beban maksimum penambahan gaya menyebabkan deformasi/perubahan regangan yang kecil.

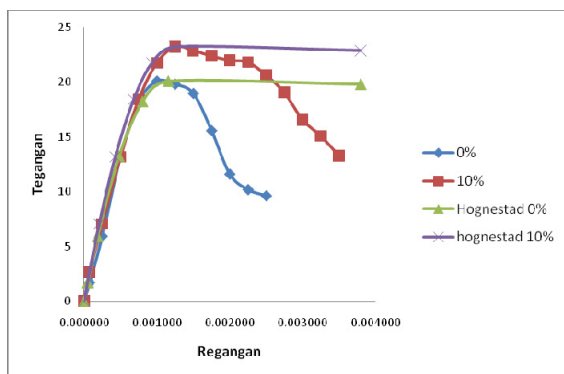
Dari Gambar 4 sampai 6 juga menunjukkan bahwa penurunan nilai FAS menyebabkan meningkatnya tegangan maksimum beton, namun bentuk kurva tegangan regangan menjadi lebih curam dibandingkan beton dengan kuat tekan rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan tegangan tekan beton menyebabkan beton bersifat lebih getas.

Pola Keruntuhan Beton

Pola keruntuhan beton *steel dust collector* dan beton tanpa limbah ditunjukkan pada Gambar 8a dan 8b.



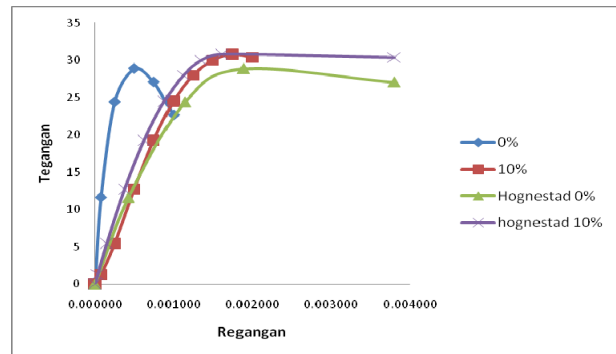
Gambar 5. Diagram Tegangan Regangan Beton FAS 0,68



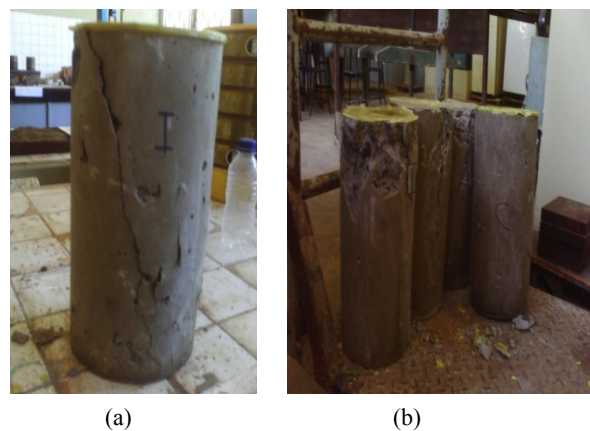
Gambar 6. Diagram Tegangan Regangan Beton FAS 0,57

Dari Gambar tersebut terlihat bahwa beton tanpa limbah memiliki pola keruntuhan lebih duktail, dimana keruntuhan beton ditandai dengan retak-retak kecil yang menyebar pada seluruh bagian benda uji (Gambar 8a). Dari gambar 8b terlihat bahwa pola retak beton *steel dust collector* berubah drastis, dimana pola keruntuhan beton bersifat getas yang ditandai dengan pecahnya benda uji. Kegagalan benda uji beton terjadi segera setelah dicapai tegangan puncak.

Pada beton tanpa limbah, pola keruntuhan terlihat pada permukaan benda uji berupa retak-retak kecil, sedangkan pada beton *steel dust collector* keruntuhan ditandai dengan kerusakan pada agregat.



Gambar 7. Diagram Tegangan Regangan Beton FAS 0,51



Gambar (8a). Pola Keruntuhan Beton Tanpa Limbah. (8b). Pola Keruntuhan Beton *Steel Dust Collector*.

KESIMPULAN

Dari hasil analisa dan pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa :

1. Beton *steel dust collector* untuk semua FAS memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan beton tanpa limbah.
2. Modulus elastisitas beton *steel dust collector* lebih tinggi dibandingkan dengan beton tanpa limbah. Modulus elastisitas hasil eksperimen, nilainya lebih tinggi dibandingkan modulus elastisitas teoritis menurut formulasi SIN-03-2847-2002.
3. Regangan beton pada beban puncak untuk beton *steel dust collector* maupun beton tanpa limbah nilainya hampir sama untuk semua nilai FAS. Beton *steel dust collector* memiliki regangan maksimum lebih kecil dibandingkan dengan beton tanpa limbah.
4. Dilihat dari bentuk diagram tegangan regangannya dan pola retaknya, beton *steel dust collector* memiliki perilaku lebih getas dibandingkan dengan beton tanpa limbah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dirjen DIKTI yang telah memberikan bantuan dana dalam melaksanakan pe-

nelitian Hibah Bersaing dengan kontrak nomor 050/SP2H/PL/E5.2/DITLIMTABMAS/IV/2011 Tahun anggaran 2011.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, Murdiyoto A. (2010). "Karakteristik Beton Limbah Debu Pengolahan Baja (Dry Dust Colector) Pada Berbagai Nilai Faktor Air Semen (Fas)". Di dalam: *Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Berbasis Industri Kreatif untuk Mendukung Kemandirian Masyarakat*. Prosiding Seminar Nasional; Depok, 22 November 2010. Jakarta. Unit Penelitian dan Pengabdian Masyarakat PNJ. Hlm SI-8-SI-13.
- Amalia dan Handi S. (2010). "Karakteristik Mortar dengan Bahan Pengisi Sebagian Limbah Debu Pengolahan Baja". *Jurnal Ultimate*. Bandung: Universitas Jendral Achmad Yani. 1-8.
- Anonim. (2002). SNI 03-2847-2002 tentang *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Badan Standar Nasional. Jakarta.
- Broto AB, Amalia dan Sudardja H. (2006). "Karakteristik Aspal Beton dengan Filler Limbah Abu Pengolahan Logam". *Jurnal Politeknologi* Vol. 5 No. 2. 131-141.
- Murdiani KM, dkk. (2006). *Pemanfaatan Limbah Gas Kolektor PT. Krakatau Steel Cilegon Sebagai Bahan Campuran Conblock*. Laporan PKMP Politeknik Negeri Jakarta.
- Suryadi, Akhmad. (2007). *Hubungan Tegangan Regangan Beton Mutu Tinggi dengan Pasir Besi Sebagai Cemen-titious*. Digilib ITS : Abstrak. <http://digilib.its.ac.id/ITS-Master-31000003018214/1152>.