

TINJAUAN KUAT GESER DAN KUAT LENTUR BALOK BETON ABU KETEL MUTU TINGGI DENGAN TAMBAHAN ACCELERATOR

Laksmi Irianti¹

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mendapatkan gambaran kuat geser dan kuat lentur balok beton bertulang mutu tinggi dengan menggunakan abu ketel 10% dari berat semen sebagai pengganti sebagian dari semen dan penambahan accelerator 10% dari berat air yang berfungsi untuk mempercepat laju pengerasan beton abu ketel. Penelitian menggunakan benda uji silinder dengan diameter 100 mm tinggi 200 mm sebanyak 6 buah untuk pengujian kuat tekan beton dan benda uji balok beton bertulang dengan ukuran 125 x 185 x 1000 mm sebanyak 8 buah untuk uji kuat geser dan uji kuat lentur, 4 buah balok tanpa accelerator dan 4 buah balok menggunakan accelerator. Pada pengujian kuat geser pada balok dengan penambahan accelerator terjadi sedikit peningkatan bila dibandingkan dengan balok tanpa penambahan accelerator, pada uji kuat lentur dapat dikatakan bahwa beban maksimum yang dapat ditahan oleh beton bertulang abuketel yang menggunakan accelerator sedikit lebih besar bila dibandingkan balok beton tanpa accelerator. Besarnya energi yang diserap balok untuk menahan beban pada beton bertulang abu ketel yang menggunakan accelerator lebih besar dibanding dengan energi yang diserap oleh balok beton tanpa accelerator.

Kata Kunci: Kuat Geser, Kuat Lentur, Beton mutu tinggi

1. PENDAHULUAN

Laju pengerasan beton abu ketel mutu tinggi semakin lambat bila dibanding beton tanpa abu ketel, sehingga setelah beton berumur 28 hari proses hidrasi belum berakhir yang menyebabkan kekuatan beton masih terus meningkat, sehingga perlu diberi penambahan *accelerator* yang akan mengakibatkan laju pengerasan beton semakin cepat dan akan menyebabkan peningkatan kekuatan pada beton tersebut, beton abu ketel dengan penambahan *accelerator* telah terbukti dapat meningkatkan kekuatan tekan beton.

Beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasar asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja. Rendahnya nilai kuat tarik beton diatasi dengan pemasangan tulangan baja pada elemen struktur yang mengalami tarik. Pada penelitian ini digunakan penambahan *accelerator* 10% dari berat air pada campuran beton mutu tinggi yang menggunakan abu ketel sebagai pengganti sebagian semen sebesar 10%.

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui efek penambahan 10% *accelerator* pada beton abu ketel mutu tinggi terhadap kuat geser dan kuat lentur pada balok beton bertulang, dengan nilai kuat tekan rencana 60 Mpa, tebal selimut beton 25mm, tulangan polos Φ 12 mm, pengujian dilakukan pada saat beton berumur 28 hari, metode perencanaan campuran menggunakan metode ACI Commite 211.4R-93.

2. METODE PENELITIAN

Metode Penelitian dilakukan dengan metode eksperimental laboratorium. Penelitian ini dilakukan di laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung,

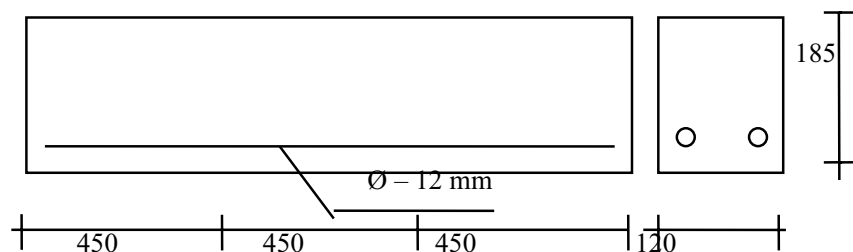
¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung, Jl. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145

yang meliputi pengujian bahan dasar, rencana campuran, pembuatan benda uji, pengujian dan analisa hasil.

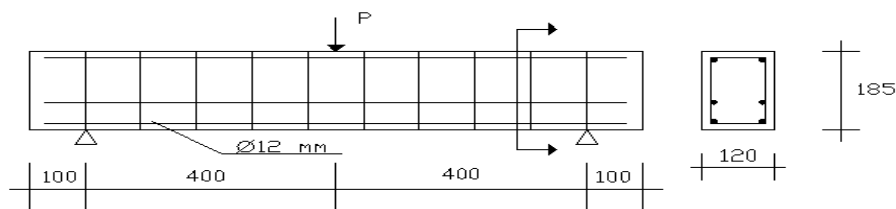
Pengujian yang dilakukan terhadap agregat halus dan agregat kasar meliputi: (a) Pengujian kadar lumpur (ASTM C 33 – 93) untuk agregat halus; (b) Pengujian analisis saringan (ASTM C 33 - 93) untuk agregat halus dan agregat kasar; (c) Pengujian kadar air (ASTM C 566 - 89) untuk agregat halus dan agregat kasar; (d) Pengujian berat jenis dan penyerapan air (ASTM C 128 - 93) untuk agregat halus dan agregat kasar; (e) Pengujian kandungan zat organik pada pasir (ASTM C 40 – 92); (f) Pengujian *Los Angeles* (ASTM C.131 – 89) untuk agregat kasar.

2.1 Pembuatan Benda Uji

Perencanaan campuran beton dalam penelitian ini adalah metode ACI 211.4R – 93, dengan kuat tekan rencana benda uji 60 Mpa. Pembuatan benda uji terdiri dari : (1) Benda uji tekan. Benda uji yang digunakan berupa silinder berdiameter 100 mm dan tinggi 200 mm sebanyak 6 buah, untuk mengetahui kekuatan beton yang dihasilkan; dan (2) Benda Uji Lentur dan geser balok. Benda uji yang digunakan berupa balok beton bertulang dengan ukuran 120 x 185 x 1650 mm sebanyak 8 buah (4 balok tanpa *accelerator* dan 4 balok menggunakan *accelerator*).



Gambar 1. Penulangan benda uji lentur balok

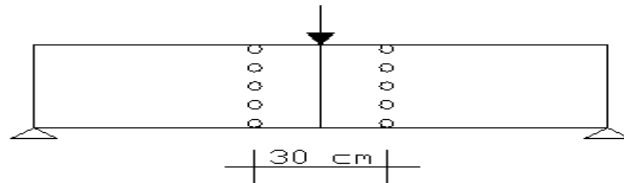


Gambar 2. Penulangan benda uji kuat geser balok

2.2 Pengujian Benda uji

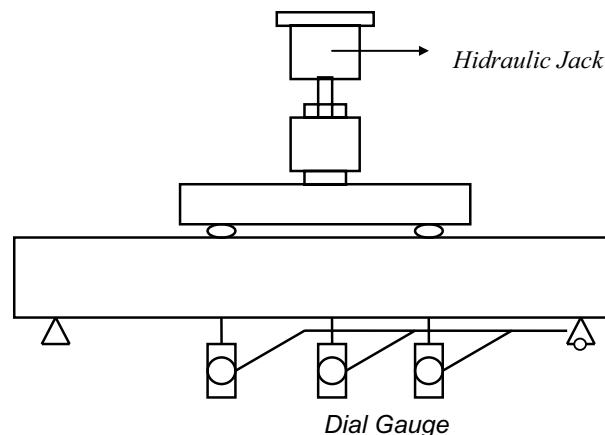
Pengujian benda uji terdiri dari : (1) Pengujian Kuat Tekan Beton. Pengujian kuat tekan beton menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) yang prosedur pengujiannya mengikuti standar ASTM C 39, yaitu : mula-mula diletakkan benda uji dengan posisi tegak (berdiri) pada plat dasar mesin uji. Kemudian benda uji diberi pembebanan dengan kecepatan 2-3 kg/cm² per detik. Pengujian ini dilakukan sampai beton runtuh dan beban maksimumnya dicatat serta data regangan dan pembacaan dial; (2) Pengujian kuat geser. Pada saat balok berumur 28 hari diadakan pengujian kuat geser menggunakan *Loading Frame*. Beban vertikal diberikan secara bertahap dengan interval

beban 0,5 tonf, sampai kuat batas balok uji tercapai. Balok balok tersebut ditumpu sendi-rol pada ujung-ujungnya dengan jarak antara tumpuan 800 mm. Pada titik di bawah pembebanan dan sejajar pin dipasang *dial gage* dengan kapasitas 30mm untuk mengukur lendutan vertikal yang terjadi selama pengujian berlangsung. Pencatatan besarnya lendutan vertikal dilakukan pada interval pembebanan 0,5 tonf. Pada bagian tengah balok dipasang pin sejarak 30 cm untuk mengukur deformasi horizontal yang terjadi. Pin diletakkan 15 cm di sebelah kanan dari titik tengah balok dan 15 cm di sebelah kiri dari titik tengah. Pin yang dipasang 10 buah, pencatatan data seiring dengan pencatatan beban dan lendutan;



Gambar 3. Posisi pin pada balok

(3) Pengujian kuat lentur beton. Pengujian ini dilakukan pada tiga buah balok beton bertulang yang telah berumur 28 hari dengan memberi beban masing-masing $\frac{1}{2}p$ pada jarak $\frac{1}{3}$ bentang. Pembebanan dilakukan sampai balok mengalami retak dan kondisi balok tidak sanggup lagi menahan beban (mengalami kegagalan). Dari hasil pengujian didapatkan beban maksimum yang menyebabkan benda uji runtuh (*collaps*), data lendutan dari pembacaan dial dan data regangan dari pembacaan pin dicatat.



Gambar 4. Pengujian Lentur Balok Beton Bertulang

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada benda uji silinder berukuran 100 mm x 200 mm. Hasil pengujian Kuat tekan beton yang berupa gaya runtuh dianalisis menghasilkan tegangan tekan maksimum/kuat tekan beton.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Abu Ketel tanpa *Accelerator*

No	Kode	Kuat Tekan Beton (MPa)							
		3 hari	Rerata	7 hari	Rerata	14 hari	Rerata	28 hari	Rata-rata
1	BAK I	23,551	24,038	27,970	27,872	36,712	36,598	41,558	41,173
2	BAK II	24,201		27,948		36,250		41,104	
3	BAK III	24,361		27,697		36,831		40,856	

Tabel 2. Hasil pengujian Kuat Tekan Beton Abu Ketel dengan *Accelerator*

No	Kode	Kuat Tekan Beton (MPa)							
		3 hari	Rerata	7 hari	Rerata	14 hari	Rerata	28 hari	Rerata
1	BAKA I	29,261	29,008	31,553	31,756	38,652	39,163	43,869	43,114
2	BAKA II	29,131		31,449		38,552		42,910	
3	BAKA III	28,632		32,216		40,315		42,562	

Kuat tekan silinder rata-rata untuk campuran beton abu ketel tanpa *accelerator* lebih kecil dibanding kuat tekan silinder rata-rata untuk campuran beton abu ketel dengan *accelerator*. Hal ini menunjukkan bahwa *accelerator* dapat mempercepat laju pengerasan beton sehingga mempercepat laju kenaikan kuat tekan beton dan dapat menutupi kelemahan sifat bahan *pozzolan* yang terdapat pada abu ketel. Peningkatan kuat tekan yang dihasilkan memang tidak begitu besar karena penggunaan *accelerator* dengan kadar 10% dari berat air ternyata kurang maksimal. Selain itu, kuat tekan yang diperoleh pada penelitian ini ternyata tidak dapat mencapai kuat tekan yang direncanakan (60 MPa).

3.2 Kuat Geser Balok Beton Bertulang

Pengujian kuat geser balok beton bertulang dilakukan dengan memberi pembebanan terpusat di tengah bentang. Pengujian ini menghasilkan beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok beton bertulang kemudian dihitung momen maksimum teoritis.

Tabel 3. Beban Maksimum Balok Beton Bertulang

Tipe campuran	Beban maks	Momen maks	Beban maks teori	Momen maks teori (Kn. M)
BAK	11	22	6.6843	13.369
BAKA I	12	24		
BAKA II	11	22		
BAKA III	12.5	25		

Beban yang dapat ditahan oleh balok beton bertulang pada pengujian lebih besar dari beban maksimum prediksi. Dari beban maksimum yang didapat maka dihitung kuat geser untuk balok beton bertulang dan dihitung juga tegangan geser ultimit balok beton bertulang menurut prediksi ACI, seperti pada tabel berikut.

Tabel 4. Kuat Geser Balok Beton Bertulang

Tipe campuran	Beban retak pertama	Gaya Geser Maks V_u (10^4 N)	Tegangan Geser Maks v_u (MPa)	Teg Geser Balok vc (MPa)	Teg Geser Balok vc (MPa)
BAK	2,5	5,5	3,472	1,7	1,7
BAKA I	3,5	6	3,788	2,016	1,963
BAKA II	3	5,5	3,472	1,7	
BAKA III	3	6,25	3,946	2,174	

Tabel 5. Prediksi Tegangan Geser Ultimit Beton Berdasarkan ACI

Tipe campuran	Gaya Geser Maks V_u (10^4 N)	Tegangan Geser Beton Bertulang (v_u) MPa	
		Peraturan ACI	Hasil Tes

BAK	5,5	3,036	3,472
BAKA I	6	3,036	3,788
BAKA II	5,5	3,036	3,472
BAKA III	6,25	3,036	3,946

Tegangan geser beton hasil pegujian lebih besar dibanding tegangan geser prediksi ACI. Pengujian menghasilkan tegangan ultimit beton yang berasal dari gaya geser maksimum dibagi lebar dan tinggi efektif balok tanpa memperhitungkan kontribusi tulangan sengkang terhadap balok, sedangkan persamaan ACI diengaruhi oleh kuat tekan rasio tulangan tarik, perbandingan $\frac{v_u.d}{Mu}$ dan besarnya rasio penulangan geser

3.3 Kuat Lentur Balok Beton Bertulang

Pengujian kuat lentur dilakukan pada balok beton bertulang dengan menempatkan 2 (dua) buah beban terpusat pada jarak 1/3 bentang dari tumpuan. Hasil pengujian tersebut berupa beban ultimit, deformasi vertikal dan deformasi horizontal yang mampu ditahan oleh balok. Deformasi vertikal lebih dikenal sebagai lendutan yang dialami balok saat mengalami pembebanan. Hubungan antara beban dan lendutan digambarkan dalam bentuk kurva hubungan beban-lendutan yang nantinya akan dipergunakan untuk menghitung nilai *toughness* (jumlah energi yang mampu diserap oleh balok hingga mencapai keruntuhan).

3.4 Beban Maksimum Balok Beton Bertulang

Hasil pengujian lentur berupa beban maksimum yang mampu ditahan oleh balok kemudian dibandingkan dengan beban maksimum prediksi.

Tabel 6. Beban Maksimum Balok Beton Bertulang

No	Kode	Beban Maksimum (KN)		
		Pengujian	Rata – rata Pengujian	Prediksi
1	BAK I	50	50	36,086
2	BAK II	50		
1	BAKA I	50	52,5	36,086
2	BAKA II	55		

Dari hasil di atas terlihat bahwa balok beton bertulang abu ketel yang menggunakan *accelerator* (BAKA) mampu menahan beban yang sedikit lebih besar dibandingkan dengan balok beton bertulang abu ketel yang tidak menggunakan *accelerator* (BAK). Hasil tersebut juga memperlihatkan baik balok beton bertulang abu ketel dengan *accelerator* (BAKA) maupun tanpa *accelerator* (BAK) dapat mencapai/melampaui beban maksimum yang direncanakan. Hal ini dikarenakan sifat-sifat bahan yang digunakan pada campuran ini telah sesuai dengan yang diharapkan sehingga mampu memberikan hasil yang lebih baik dari yang direncanakan.

3.5 Kapasitas Balok Beton Bertulang

Setelah dilakukan pengujian lentur pada balok beton bertulang diperoleh data beban maksimum yang mengakibatkan balok mengalami keruntuhan. Dari data beban maksimum tersebut dapat dihitung besarnya momen actual dan momen nominal yang dapat didukung oleh balok Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel berikut

Tabel 7. Kapasitas Balok Beton Bertulang

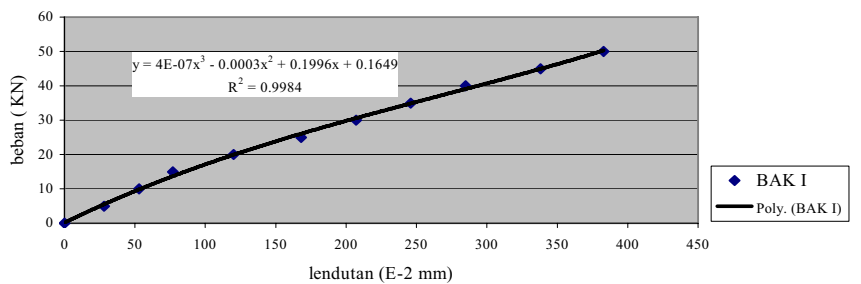
No	Coed	Beban Maks. (N)	Momen Aktual (Nmm)	Momen Aktual rata – rata (Nmm)	Momen Nominal (Nmm)
1	BAK I	5.10^4	$11,25.10^6$	$11,25.10^6$	$12,647.10^6$
2	BAK II	5.10^4	$11,25.10^6$		
1	BAKA I	5.10^4	$11,25.10^6$	$11,8.10^6$	$12,689.10^6$
2	BAKA II	$5,5.10^4$	$12,375.10^6$		

Momen aktual yang dapat didukung oleh balok beton bertulang abu ketel baik yang menggunakan *accelerator* maupun tidak, tidak mencapai momen nominal yang diharapkan.

3.6 Ketahanan Lentur (Toughness)

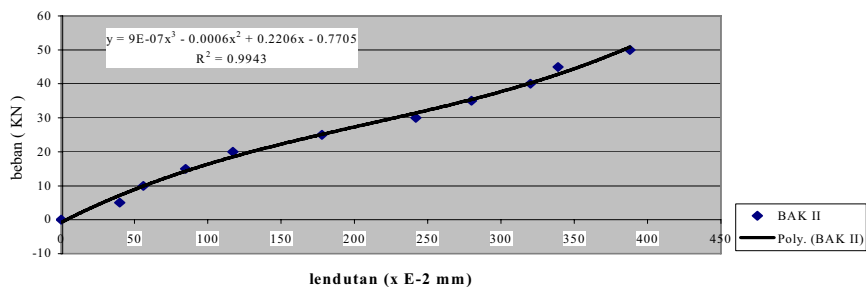
Toughness (energi terserap) berpengaruh terhadap lendutan balok pada bangunan. Semakin besar nilai *toughness* maka lendutan yang terjadi pada balok semakin besar pula. Saat balok menahan beban yang besar lendutan yang terjadi juga besar dan makin besar pula energi yang terserap dari balok untuk menahan beban sampai batas tertentu. *Toughness* dihitung dengan Indeks *Toughness* (I) yang merupakan nilai dari perbandingan luas daerah dibawah kurva beban-lendutan hingga satu titik tertentu dengan luas daerah di bawah kurva beban-lendutan sampai retak pertama.

KURVA BEBAN-LENDUTAN (BAK I)



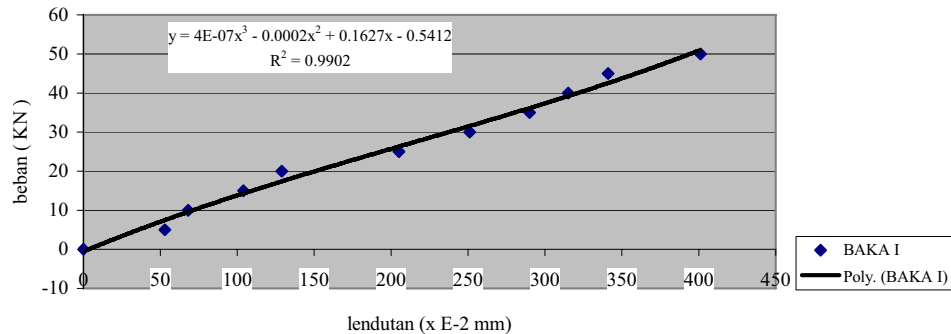
Gambar 5 Kurva Beban – Lendutan BAK I

KURVA BEBAN-LENDUTAN (BAK II)



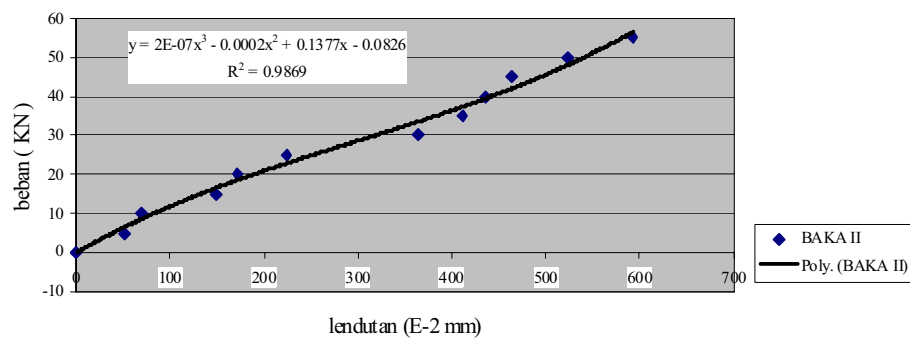
Gambar 6 Kurva Beban – Lendutan BAK II

KURVA BEBAN-LENDUTAN (BAKA I)



Gambar 7. Kurva Beban – Lendutan BAKA I

KURVA BEBAN-LENDUTAN (BAKA II)



Gambar 8 Kurva Beban – Lendutan BAKA II

Indeks I_5 ditentukan saat terjadi 3 kali lendutan saat retak pertama, I_{10} ditentukan saat terjadi 5,5 kali lendutan saat retak pertama dan I_{20} ditentukan saat terjadi 10,5 kali lendutan saat retak pertama.

Tabel 8. Indeks *Toughness* Balok Beton Bertulang

No	Kode	Energi Terserap (Nmm)	Energi Terserap Rata-rata (Nmm)	Indeks <i>Toughness</i> (I_5)	Indeks <i>Toughness</i> (I_5) Rata-rata
1	BAK I	11236,296	10479,709	7,853	7,643
2	BAK II	9723,121		7,433	
1	BAKA I	11158,915	13782,950	8,777	8,086
2	BAKA II	16406,984		7,395	

Pada penelitian ini indeks I_{10} dan I_{20} tidak dapat dihitung karena pengujian dihentikan setelah balok mencapai lendutan maksimum sehingga data lendutan setelah balok

mengalami keruntuhan tidak dapat diperoleh. Balok beton bertulang abu ketel yang menggunakan *accelerator* (BAKA), indeks *toughness* yang terjadi lebih besar dibanding indeks *toughness* yang terjadi pada balok beton bertulang abu ketel yang tidak menggunakan *accelerator* (BAK), begitu juga dengan besarnya energi yang dapat diserap balok beton bertulang abu ketel dengan *accelerator* lebih besar dibanding balok yang tidak menggunakan *accelerator*. Ini berarti, balok beton bertulang abu ketel dengan *accelerator* memiliki kemampuan menahan beban yang lebih besar dibanding balok beton bertulang abu ketel yang tidak menggunakan *accelerator*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian di laboratorium dan analisis hasil, dapat ditarik kesimpulan

1. Kuat tekan beton abu ketel yang menggunakan *accelerator* (BAKA) lebih besar dibandingkan kuat tekan beton abu ketel yang tidak menggunakan *accelerator*.
2. Beban maksimum yang dapat ditahan balok beton bertulang abu ketel yang menggunakan *accelerator* sedikit lebih besar dibandingkan balok beton yang tidak menggunakan *accelerator*.
3. Keruntuhan yang terjadi pada balok beton bertulang sesuai dengan perencanaan yaitu *underreinforced* (daktail).
4. Retak yang terjadi pada balok beton bertulang berupa retak-retak rambut yang terus melebar dan memanjang seiring dengan pertambahan beban diikuti oleh retak miring, berarti keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan tarik diagonal.
5. Besarnya energi yang diserap balok untuk menahan beban (*Toughness*) pada balok beton bertulang abu ketel dengan *accelerator* (BAKA) lebih besar dibanding energi yang diserap oleh balok beton bertulang abu ketel tanpa *accelerator*.
6. Pada pengujian kuat geser dapat disimpulkan bahwa kuat geser pada balok dengan penambahan *accelerator* lebih besar dari pada balok tanpa *accelerator*

DAFTAR PUSTAKA

- Annual Book of ASTM Standart. 1994. *Concrete and Aggregates*. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.
- Diphohusodo, Istimawan. 1996. *Struktur Beton Bertulang*. PT. Gramedia Pustaka Utama
- Dodson, V. *Concrete Admixture*. Struktur Enggenering series
- Irianti, Laksmi. *Pengaruh Abu Ketel Sebagai Bahan Tambahan Dalam Desain Beton Mutu Tinggi*. Jurnal Penelitian Rekayasa Sipil dan Perencanaan, No 2, Juni 1999.
- SK SNI T-15-1991-03. 1991. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Departemen Pekerjaan Umum. Yayasan LPMB. Bandung.
- Troxell, George Earl, Harmer E. Davis. 1956. *Composition and Properties of Concrete*. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York.
- Wahyudi, L. dan Syahril A. Rahim. 1999. *Struktur Beton Bertulang Standar Baru SNI T-15-1991-03*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta