

PENGARUH KECEPATAN PEMBEBANAN DAN DIMENSI BENDA UJI TERHADAP KUAT TEKAN BETON

Grevardo Febrigiano Laheba

S.E. Wallah, H. Tanudjaja, S.E.J. Imbar

Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi

email: myglano@gmail.com

ABSTRAK

Kekuatan material menjadi tinjauan yang penting karena dibutuhkan pada perencanaan desain struktur. Pengujian laboratorium diperlukan untuk menentukan seberapa besar kekuatan material melalui berbagai metode pengujian. Prinsip pengujian kekuatan adalah pembebanan terhadap sampel benda uji pada skala tertentu di laboratorium untuk mendapatkan kekuatan maksimum. Pengujian dapat dilakukan dalam berbagai kondisi, jenis dan skala, beban maupun benda uji.

Pengaruh kecepatan pembebanan terhadap kuat tekan beton untuk beberapa ukuran benda uji diteliti dalam penelitian ini. Kecepatan pembebanan divariasikan dari 10-100 MPa/menit. Pengujian dilakukan menggunakan mesin uji tekan hidraulik dengan kecepatan pembebanan manual. Pengukuran kecepatan pembebanan dengan menggunakan stopwatch dan video recording.

Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kecepatan tinggi, semakin besar kecepatan pembebanan maka semakin besar pula kuat tekannya. Pada kecepatan pengujian standar (ASTM C39/C39M), pengujian berbagai variasi dimensi ukuran kubus memperlihatkan pengaruh yang kecil terhadap kuat tekan. Selisih kuat tekan antar variasi dimensi benda uji ini semakin meningkat seiring kenaikan kecepatan pembebanan yang diaplikasikan. Terlihat sedikit peningkatan kuat tekan pada kecepatan sangat rendah. Korelasi tersebut mengarah pada kesimpulan tentang adanya suatu "kecepatan transisi" yang merupakan nilai kecepatan pembebanan dimana selisih kuat tekan antar variasi dimensi yang terjadi bernilai minimum.

Kata kunci: Dimensi Benda Uji, Kecepatan Pembebanan, Kuat Tekan Beton

PENDAHULUAN

Latar belakang

Semua bangunan konstruksi sipil dibangun dengan perencanaan sesuai ilmu rekayasa teknik yang berkembang. Setiap perencanaan dipersiapkan secara matang sesuai *code*, aturan atau standar yang berlaku di masing-masing wilayah perencanaan. Konstruksi bangunan dirancang untuk mampu menahan besar beban tertentu yang dapat dipikul hingga mengalami keruntuhan bangunan. Kegagalan dalam perencanaan menyebabkan bangunan tidak dapat memikul beban yang terjadi. Oleh karena itu jelas peran standar perencanaan sangat penting dan menjadi acuan di setiap desain konstruksi.

Faktor penyebab keruntuhan yang tidak kalah pentingnya adalah *quality control* terhadap pelaksanaan pekerjaan. Salah satu aspek yang paling penting yaitu dalam penentuan kekuatan beton. Kekuatan menjadi tinjauan yang penting karena setiap desain dan perencanaan membutuhkan data

kekuatan dari material. Sebab itu pengujian di laboratorium diperlukan agar dapat menentukan seberapa besar kekuatan melalui berbagai pendekatan metode pengujian. Prinsipnya dengan memberikan beban tertentu pada sampel benda uji material dalam skala kecil di laboratorium. Pembebanan dapat disesuaikan dalam berbagai kondisi, jenis beban, maupun kecepatan beban. Skala benda uji di laboratorium juga mempengaruhi hasil pengujian.

Tujuan dan batasan penelitian

Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan hubungan antara kecepatan pembebanan dan pengaruh variasi dimensi benda uji terhadap kuat tekan beton.

Penelitian membatasi tinjauan terhadap beton normal umur 28 hari dengan menggunakan Semen Portland Komposit (PCC) tipe I merk Tonasa. Agregat pembentuk beton diuji dan dipilih sebelum digunakan pengecoran sampel penelitian

yaitu, agregat kasar (batu pecah) dari Sawangan dan Tateli dan agregat halus (pasir alam) dari Amurang dan Girian. Ukuran maksimum nominal agregat digunakan 12,5 mm, sehingga rasio diameter benda uji terhadap ukuran agregat berbeda untuk semua variasi ukuran benda uji.

Benda uji dicetak dengan bekisting berbentuk silinder dengan dimensi 10/20 cm, dan bentuk kubus sisi 5 cm, 10 cm dan 15 cm.

Variasi kecepatan pengujian kuat tekan ditentukan dalam kisaran 10 MPa/menit, 15 MPa/menit, 40 MPa/menit, 75 MPa/menit, dan 100 MPa/menit.

Faktor-faktor yang tidak diteliti namun mempengaruhi pengujian, tetap dipertahankan seragam untuk semua variasi dan kondisi pengujian.

TINJAUAN PUSTAKA

Teori dan *Size-Effect Law*

Size-Effect Law (SEL) diturunkan dari analisa dimensional dan kesesuaian anggapan untuk struktur yang sama secara geometris dan berbeda ukuran, dengan pemberian retak awal. Diasumsikan energi seimbang saat perambatan retak pada beton (Bazant, 1984). Persamaan umum dari *size-effect law*:

$$\sigma_N = C_N \frac{P}{bd} \quad (1)$$

di mana:

σ_N = tegangan nominal saat keruntuhan

C_N = koefisien ukuran dan bentuk, serta jenis pembebanan

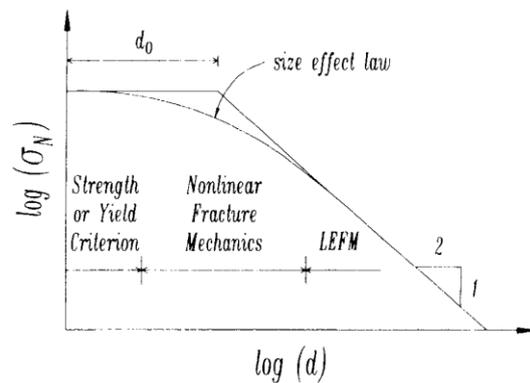
P = beban atau parameter pembebanan

b = ketebalan

d = karakteristik ukuran

Jika hubungan antara $\log \sigma_N$ dan $\log \lambda$ ($\lambda = d/d_0$, merupakan parameter *non-dimensional* dan d_0 adalah maksimum ukuran agregat) diplot ke dalam grafik, maka akan membentuk garis horisontal. Ini disebut kriteria kekuatan/ kriteria leleh.

Pada mekanika keruntuhan elastik linier (LEFM) plot keruntuhannya sangat berbeda. Karena nilai σ_N berbanding terbalik dengan \sqrt{d} untuk semua solusi keruntuhan linier, maka hasil plot $\log \sigma_N$ dan $\log \lambda$ berbentuk garis lurus dengan kemiringan $-1/2$ (lihat Gambar 1).



Gambar 1. *Size-effect Law* (Bazant, 1984)

Persamaan akhir dari penelitian itu menghubungkan LEFM dan kriteria kekuatan

$$\sigma_N = \frac{B\sigma_y}{\sqrt{1+\frac{d}{d_0}}} \quad (2)$$

dimana:

B = konstanta non-dimensional

σ_y = kekuatan runtuh beton

d = dimensi (ukuran)

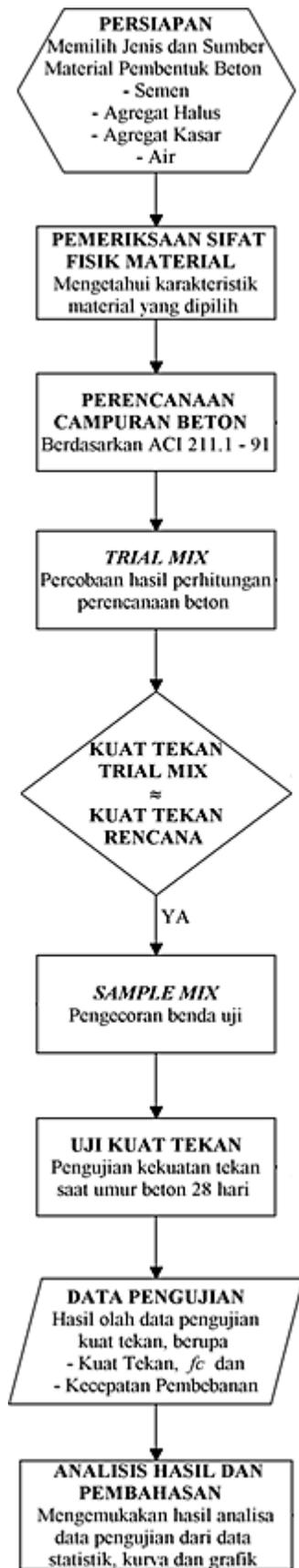
d_0 = karakteristik dimensi

Untuk struktur yang sama secara geometris, nilai B dan d_0 konstan. Sehingga persamaan Pers. (2) memperlihatkan transisi secara bertahap dari kriteria leleh untuk struktur yang kecil ($d \ll d_0$) menjadi mekanika keruntuhan elastik linier untuk struktur besar ($d \gg d_0$), lihat Gambar 1.

METODE PENELITIAN

Penelitian diawali dengan studi pustaka melalui literatur-literatur yang terdapat di Perpustakaan Fakultas Teknik berupa skripsi, tesis, maupun jurnal nasional dan internasional dari jelajah internet. Materi yang dipelajari yaitu standar pengujian agregat beton, metode dan standar pengujian karakteristik dan sifat mekanik agregat dan beton baik standar lokal, Standar Nasional Indonesia (SNI) maupun standar Amerika yaitu, *American Standard for Testing Materials* (ASTM) dan *American Concrete Institute* (ACI), serta penelitian-penelitian eksperimental dan teoritikal terdahulu terhadap variasi bentuk dan dimensi serta kecepatan pembebanan.

Langkah-langkah penelitian ini ditampilkan dalam bagan alir penelitian berikut,



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Persiapan

Langkah awal yang dilakukan adalah menentukan jenis bahan pembentuk beton yaitu jenis semen, agregat, air dan bahan tambahan yang akan digunakan. Sedapat mungkin menggunakan agregat/material lokal agar data nantinya lebih representatif untuk ditampilkan dan bermanfaat untuk mengetahui karakteristik agregat lokal, selain itu juga faktor ekonomis dan waktu pelaksanaan penelitian menjadi lebih singkat. Pemilihan sumber /asal agregat sebaiknya dipertimbangkan berdasarkan pemeriksaan sifat fisik agregat yang baik dan memenuhi syarat untuk dipakai dalam campuran beton.

Pemeriksaan agregat

Seluruh pengujian /pemeriksaan sifat fisik agregat di laboratorium mengacu pada standar ASTM Volume 04.02 *Concrete and Aggregates*, 2010 dan SNI sebagai referensi.

Desain campuran beton

Perencanaan komposisi campuran beton ini didasarkan pada pedoman dalam *American Concrete Institute (ACI 211.1-91 Reapproved 2002)*. ACI menyediakan dua pilihan pendekatan dalam perhitungannya, yaitu pendekatan metode berat dan metode volume absolut. Secara detil akan dijelaskan prosedur perhitungan komposisi campuran beton yang diterapkan dalam penelitian ini dengan pendekatan metode berat. Dipilihnya pendekatan perhitungan metode berat karena alasan ketelitian dan keseragaman, namun pada dasarnya kedua metode akan menghasilkan komposisi dalam satuan berat yang tidak jauh berbeda.

Pembuatan dan perawatan benda uji

Kegiatan selanjutnya yang harus dipersiapkan adalah bekisting untuk masing-masing ukuran dan bentuk yang telah ditetapkan untuk diteliti serta proses *capping*. Bekisting yang dipersiapkan diantaranya kubus dengan ukuran sisi 5 cm, 10 cm, dan 15 cm serta silinder berukuran diameter 10 cm dengan panjang 20 cm. Seluruh jalannya pembuatan dan perawatan benda uji beton ini didasarkan pada standar yang ada dalam ASTM C 192/C 192M-07 dan ASTM 617-98.

Prosedur pengujian kuat tekan beton

Peralatan yang tersedia di laboratorium Fakultas Teknik untuk uji tekan adalah mesin uji tekan hidraulik dengan kapasitas 1000 kN dan 2000 kN merk ELE. Fungsi untuk mengatur kecepatan tersedia untuk masing-masing mesin uji dengan mekanisme kontrol yang berbeda. Mesin kapasitas 2000 kN merk ELE dapat diatur kecepatan pembebanannya dari dial yang dapat diputar, sedangkan pada mesin kapasitas 1000 kN, kontrolnya berupa tuas yang dapat digerakkan maju mundur dan diputar untuk menyesuaikan kecepatan yang lebih lambat.

Oleh karena kecepatan harus disetel secara manual, maka harus dihitung dan disesuaikan pengontrolan kecepatannya terhadap tiap mesin uji dan sampel benda uji yang berbeda. Prinsip pengaturan kecepatan pembebanan ini didasarkan pada besaran tekanan tekan yang bekerja tiap satuan waktu. Berdasarkan hal itu maka tiap interval nilai beban tertentu yang ditunjukkan oleh jarum *dial* mesin uji harus ditempuh selama durasi tertentu pula. Misalnya untuk kecepatan pembebanan standar 0,25 MPa/detik atau sama dengan 15 MPa/menit, maka durasi yang harus ditempuh dari interval nilai beban 0 (nol) sampai 100 kN untuk benda uji kubus dengan sisi 10 cm adalah selama 40 detik. Nilai durasi tersebut didapat dari perhitungan sebagai berikut,

$$DurasiInterval = \frac{SelisiIntervalBeban}{(LuasPenampang \times KecepatanPembebanan)} \quad (3)$$

Durasi ini harus diterapkan pada mesin uji sedapat mungkin secara konstan dan stabil. Penerapan dan pengaturan kecepatan pada mesin uji tekan dilakukan dengan 2 tahapan yaitu pengaturan kecepatan secara kasar dengan stopwatch kemudian penyesuaian dan pencatatan kecepatan melalui rekaman *video* pada *dial-load* (indikator pembacaan beban) mesin uji tekan.

Video Recording

Secara umum pengaturan kecepatan dengan *stopwatch* telah memberikan hasil yang baik untuk mendapatkan dan mengatur tingkat kecepatan tertentu. Hanya saja keakuratan pengukuran dengan menggunakan *stopwatch* selain ketelitian waktu

yang hanya 1/10 detik, juga dipengaruhi ketepatan saat melihat dan ketepatan waktu saat menekan tombol *stopwatch* di setiap pembacaan nilai beban. Keakuratan sangat diperlukan terutama pada pengujian kuat tekan untuk variasi kecepatan tinggi. Hal ini memerlukan metode pengaturan lain yang lebih akurat, sehingga diterapkan cara dengan merekam *video* saat pengujian terhadap jarum dial penunjuk beban yang bergerak.

Keakuratan metode ini bergantung pada jenis kamera perekam *video* yang digunakan, dalam penelitian ini digunakan jenis *web-cam* yang umum digunakan pada perangkat komputer untuk percakapan *video* langsung melalui internet (*chatting*). Taraf kejelasan gambar hasil tangkapan kamera dipengaruhi oleh spesifikasi resolusi kamera tersebut. *Web-cam* yang dipakai memiliki resolusi rekaman *video* maksimum 640x480 *pixel*. Sedangkan nilai keakuratan untuk menentukan posisi dan waktu jarum penunjuk beban ditentukan oleh spesifikasi *frame-rate* kamera tersebut. Nilai *frame-rate* merupakan kemampuan kamera untuk merekam gambar sebanyak-banyaknya selama 1 detik. *Video* perekaman dipilih format MPEG2, yaitu format standar perekaman dunia digital dan disetel *frame-rate*-nya sebesar 25 Hz dengan kata lain mampu merekam 25 gambar secara terus menerus setiap interval 1 detik. Dengan *frame-rate* sebesar 25 Hz dirasakan sudah cukup untuk mendapatkan keakuratan dalam perhitungan.

Cara pencatatan waktu berbeda dengan penggunaan *stopwatch*, tidak perlu menekan tombol setiap beban tertentu karena keseluruhan gerak jarum telah direkam dan disimpan dalam piringan penyimpan (*harddisk*) menggunakan komputer (*laptop*). Proses perekaman langsung dari komputer dan menggunakan bantuan *software* Cyberlink Power Director versi 10. Perhitungan durasi dapat dilakukan dengan melakukan pemindaian *frame* demi *frame* oleh bantuan *software* tersebut.

Tujuan dari perekaman *video* ini adalah mempersempit variasi nilai kecepatan yang dihasilkan saat pengukuran dengan *stopwatch* dan meningkatkan akurasi pengukuran.

Pengujian kuat tekan beton

Prosedur kuat tekan mengikuti standar ASTM C 39/C 39M-05 dan BSI BS EN 12390-3:2002 sebagai referensi. Perbedaan pengujian dalam penelitian ini terhadap standar terletak pada kecepatan pembebanan yang dimodifikasi.

Variasi kecepatan pembebanan

Standar kecepatan pembebanan menurut ASTM C 39/C 39M-05 untuk benda uji silinder 15/30 cm maupun 10/20 cm adalah $0,25 \pm 0,05$ MPa/detik atau sebesar 15 ± 3 MPa/menit. Untuk benda uji kubus *British Standard* menyediakan acuan kecepatan pembebanan 0,2 MPa/detik hingga 1,0 MPa/detik (12-60 MPa/menit) dan tidak melampaui $\pm 10\%$ dari kecepatan konstan yang telah ditentukan.

Untuk meneliti pengaruh dari kecepatan ini, maka dibuat 5 variasi kecepatan pembebanan yaitu 10 MPa/menit, 15 MPa/menit, 40 MPa/menit, 75 MPa/menit, dan 100 MPa/menit. Hasil penelitian nantinya akan membandingkan pengaruh kecepatan pembebanan terhadap kuat tekan dengan pengujian pada kecepatan standar yaitu 15 MPa/menit.

Prosedur pengujian kuat tekan beton

Pengujian kuat tekan dengan benda uji yang masih lembab harus segera dilaksanakan setelah dikeluarkan dari ruang perawatan (kolam perendaman).

Benda uji harus dijaga kelembabannya dengan berbagai cara selama selang waktu dikeluarkan dari kolam perendaman hingga saat dilakukan pengujian dan sebaiknya diuji pada kondisi benda uji beton masih lembab.

Pengujian yang dilakukan untuk umur beton tertentu diberikan toleransi pergeseran waktu pengujian. Untuk umur pengujian 28 hari diberikan toleransi 3,0% atau ± 20 jam dari waktu pengujian ASTM C39/C39M.

Letakkan pelat landasan pada dudukan mesin uji tekan. Bersihkan permukaan pelat atas dan bawah, juga benda uji. Letakkan benda uji diatas pelat landasan bawah. Geser dan arahkan benda uji agar sumbu pusat benda uji berhimpit dengan pusat sumbu landasan.

Sebelum pengujian dilakukan, setel indikator beban pada posisi nol. Jika indikator belum berada pada posisi nol, setel agar jarum menunjuk posisi nol dengan

memutar sekrup indikator menggunakan obeng plat. Saat benda uji mulai mendekati landasan bagian atas, putar pelat yang dapat bergerak dengan tangan agar terjadi dudukan yang seragam.

Bebani secara terus menerus dan jangan memberikan beban secara tiba-tiba. Setel tuas /dial agar kecepatan selalu konstan. Hindari penyetelan tuas kecepatan saat jarum mendekati beban maksimum dan kecepatan tekanan menurun. Hentikan pengujian kuat tekan setelah jarum indikator beban menunjukkan penurunan secara tetap dan benda uji terjadi corak retak yang baik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemeriksaan material penyusun beton

Berdasarkan hasil pengujian sifat fisik agregat yang memenuhi semua persyaratan ASTM dan hasil *trial-mix* telah melampaui kuat tekan rencana 30 MPa, maka untuk pengecoran sampel penelitian digunakan batu pecah asal Tateli dan pasir asal Girian.

Hasil Pengujian Kuat Tekan

Tabel 1. Rekapitulasi hasil pengujian kubus 15cm dan 10cm

Kubus 15 cm		Kubus 10 cm	
Kecepatan Beban (MPa /menit)	Kuat Tekan (MPa)	Kecepatan Beban (MPa /menit)	Kuat Tekan (MPa)
94	61,5	80	44,4
101	60,7	86	44,8
95	57,3	81	38,0
		95	51,6
53	52,4	68	43,6
73	59,6	78	53,6
75	60,4	76	50,6
86	54,4	57	40,6
38	48,1	44	53,6
41	46,7	37	38,6
43	53,2	40	41,6
44	47,2	43	53,6
19	54,0	14	51,2
13	52,6	15	49,6
13	50,2	16	44,4
10	41,5	16	44,5
10	41,8	10	54,0
10	41,5	10	50,8
9	57,7	10	43,2
10	51,8	10	53,2

Tabel 2. Rekapitulasi hasil pengujian kubus 5cm dan silinder 10/20cm

Kubus 5 cm		Silinder 10/20 cm	
Kecepatan Beban (MPa /menit)	Kuat Tekan (MPa)	Kecepatan Beban (MPa /menit)	Kuat Tekan (MPa)
107	49,6	102	34,0
92	44,8	103	44,1
98	48,0	109	33,6
105	46,8	101	33,7
78	51,6	89	40,0
83	44,8		
75	48,4	89	41,6
74	45,6	83	33,5
37	44,4	46	31,1
49	47,2	43	33,6
42	50,4		
46	44,8	45	47,0
15	51,2	17	43,8
		16	44,9
15	46,8		
15	48,0	16	45,5
9	48,4	10	36,5
10	43,2	11	35,7
10	49,6	11	31,1

Data yang kosong pada Tabel 1 dan 2 diatas adalah kehilangan data pengujian akibat rusaknya hasil rekaman *video* atau benda uji yang rusak/ tidak memenuhi syarat pengujian. Data pengujian secara lengkap termasuk data untuk sampel tambahan dapat dilihat pada bagian Lampiran.

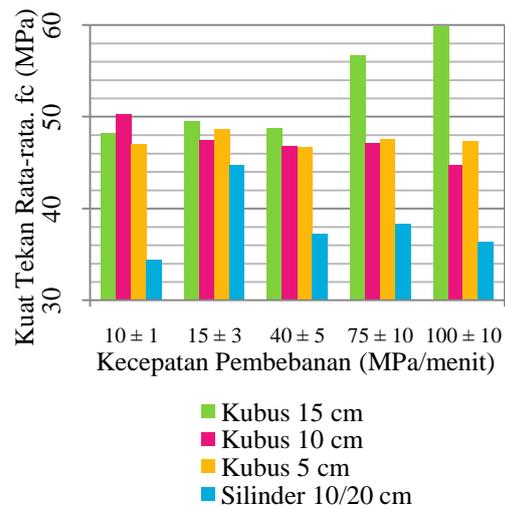
Penyajian data dilakukan dengan mengklasifikasikan data ke dalam grup (*group data*) dan penyajian data secara individual (*ungroup data*).

Penyajian dalam bentuk *group data* membagi sampel ke dalam kelas-kelas kecepatan pembebanan. Kecepatan yang masuk dalam suatu *range* diasumsikan hanya memiliki 1 nilai kecepatan pembebanan, sehingga data kecepatan merupakan hasil pembulatan dan nilai kuat tekan merupakan rata-rata dari semua sampel dari masing-masing variasi.

Untuk penyajian *ungroup data*, tidak ada klasifikasi sampel. Data di-plot individual menjadi grafik dengan kurva *trendline*. Pemilihan jenis kurva *trendline* didasarkan pada pendekatan titik data secara visual. Jenis kurva *trendline* regresi dengan persamaan polinomial pangkat 2 dipilih

karena paling mendekati titik-titik data. Regresi polinomial pangkat 2 tidak dipakai karena kurva yang dihasilkan tidak sensitif terhadap data pada bagian ujung, juga tidak digunakan regresi polinomial pangkat 4, oleh karena hasil plot kurva terlalu berfluktuasi dan tidak mungkin dapat merepresentasikan kecenderungan sampel data.

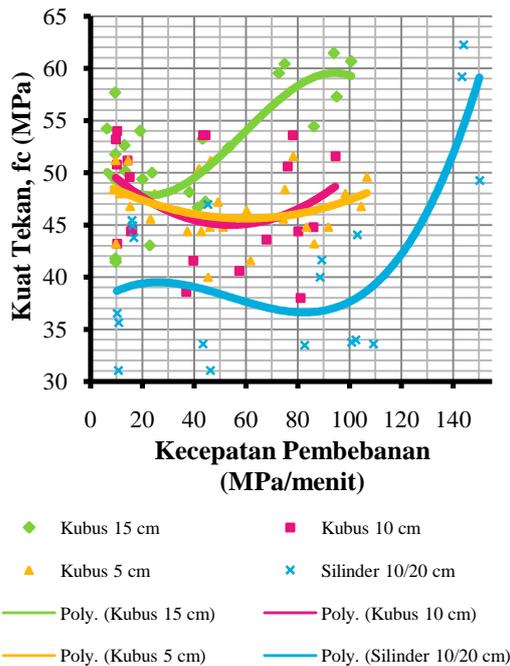
Hubungan dimensi benda uji dan kecepatan pembebanan terhadap hasil pengujian kuat tekan



Gambar3. Bar-Chart Hubungan Kecepatan Pembebanan dan Variasi Dimensi Benda Uji terhadap Kuat Tekan (Group Data)

Gambar 3 mempermudah kita untuk menganalisa selisih kuat tekan antar variasi ukuran benda uji di tiap-tiap kecepatan pembebanan. Sangat jelas bahwa variasi ukuran benda uji dapat mempengaruhi besarnya hasil pengujian kuat tekan. Deviasi kekuatan antar ukuran benda uji makin besar terutama pada kecepatan pembebanan yang lebih tinggi dan deviasi juga terlihat saat kecepatan pengujian paling rendah walaupun porsinya kecil.

Seluruh pembahasan sebelumnya didasarkan pada hasil *group data* yang membagi sampel ke dalam kelas dengan adanya pembulatan nilai kecepatan. Hal ini tentu mengurangi keakuratan dalam menganalisa data, sehingga penarikan kesimpulan sebaiknya berdasarkan hasil analisa *ungroup data*. Berikut grafik hasil plot data dalam bentuk *ungroup data* dengan beberapa sampel tambahan.



Gambar 4. Grafik Hubungan Kecepatan Pembebanan dan Dimensi Benda Uji terhadap Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Tambahan

Grafik pada Gambar 4 data disajikan secara individual ditambah dengan beberapa benda uji tambahan dan ditampilkan kurva *trendline*-nya.

Untuk interval kecepatan pembebanan tertentu hasil ini sependapat dengan penelitian yang mengemukakan bahwa pada kecepatan pembebanan rendah, terjadi peningkatan kecepatan penyebaran retak pada beton. Pada kecepatan pembebanan yang tinggi kecepatan penyebaran retak berkurang (Ruiz, Zhang, Tarifa, Yu, & Camara, 2009).

Hasil pada kecepatan pembebanan paling rendah menunjukkan sedikit peningkatan kuat tekan, hal ini ditemui pada jenis agregat tertentu (Zhang, Ruiz, Yu, Poveda, & Porras, 2011). Efek peningkatan kekuatan pada kecepatan rendah ini disebabkan oleh kehilangan kelembaban pada pori beton (Zhang, Ruiz, Yu, Poveda, Porras, & del Viso, 2010). Durasi pengujian lebih lama saat pengujian kuat tekan dengan kecepatan rendah, sehingga menyebabkan kehilangan kelembaban pada bagian luar permukaan benda uji beton. Bagian yang luar lebih kering mengalami penyusutan (*shrinkage*) dan deformasi tersebut menimbulkan tegangan. Tegangan pada bagian luar menyebabkan bagian dalam benda uji

mengalami tekanan arah lateral sehingga pengujian kuat tekan memberikan hasil yang lebih tinggi.

Dengan menganalisa kurva *trendline*, masing-masing kurva memiliki nilai dimana kuat tekannya minimum, sehingga indikasi ini jelas bahwa untuk masing-masing dimensi benda uji dapat diketahui kuat tekan minimumnya dengan meng-aplikasikan kecepatan pembebanan tertentu. Semakin besar ukuran benda uji, kurva cenderung bergeser ke kiri, dengan kata lain, semakin besar ukuran benda uji, indikasi kecepatan yang memberikan hasil kuat tekan minimum semakin kecil.

Berdasarkan analisa secara keseluruhan dapat dikemukakan bahwa, selisih kuat tekan antar variasi dimensi benda uji meningkat saat kecepatan pembebanan bertambah. Pada kecepatan yang kecil juga terjadi sedikit peningkatan selisih kuat tekan, yang diketahui berhubungan dengan interaksi rangkai dan keruntuhan (Ozbolt, Rah, & Mestrovic, 2006). Sehingga dapat disimpulkan adanya kecepatan transisi dimana deviasi atau selisih kuat tekan yang terjadi paling minimum. Dengan kata lain, pengujian dengan kecepatan pembebanan yang kurang maupun melebihi kecepatan transisi ini akan meningkatkan besar selisih kuat tekan antar variasi dimensi benda uji. Terlihat dari hasil analisa grafik pada Gambar 4, kecepatan transisinya berkisar pada 15-20 MPa/menit, dimana garis kurva kuat tekan benda uji kubus hampir berhimpit (selisih kuat tekannya paling kecil).

KESIMPULAN

Berdasarkan analisa data penelitian hasil pengujian kuat tekan dan pembahasan grafik-grafik, dapat ditarik kesimpulan-kesimpulan berikut:

1. Secara keseluruhan, hasil pengujian kuat tekan secara signifikan sangat dipengaruhi oleh kecepatan pemberian beban. Bahkan selisih kuat tekan untuk kecepatan 100 MPa/menit lebih dari 10 MPa terhadap pengujian dengan kecepatan pembebanan standar, atau naik hingga 20%.
2. Terdapat indikasi adanya nilai kecepatan pembebanan yang menghasilkan kuat tekan minimum. Kecepatan ini berbeda-beda untuk tiap ukuran benda uji.

- Semakin besar benda uji, kecepatan yang menghasilkan kuat tekan paling kecil juga semakin berkurang.
3. Tidak ada kesesuaian dengan teori *size effect law* pada hasil penelitian ini. Hal ini disebabkan oleh perbedaan rasio dimensi benda uji terhadap ukuran maksimum agregat. Semakin besar benda uji maka semakin tinggi rasionya, dan menyebabkan reduksi kuat tekan. Hal ini menghilangkan pengaruh dari *size effect* terhadap peningkatan kuat tekan.
 4. Hasil penelitian membuktikan hubungan korelasi antara kecepatan pembebanan dan selisih kuat tekan tiap variasi dimensi benda uji, yang ditinjau terhadap kuat tekan. Yang mana, naik-turunnya kecepatan akan memperbesar atau memperkecil selisih kuat tekan antar variasi dimensi benda uji. Hal ini menunjukkan bahwa adanya suatu “kecepatan transisi” dimana selisih kuat tekan antar variasi dimensi bernilai paling minimum. Dalam penelitian ini, kecepatan transisi yang terlihat adalah kecepatan 15 MPa/menit atau sama dengan kecepatan pengujian standar berdasarkan ASTM C39/C39M:2004.
 5. Untuk kecepatan yang lebih tinggi dari pengujian standar, besar selisih ini meningkat dengan signifikan. Hal serupa terjadi pula untuk kecepatan kurang dari kecepatan standar tetapi tidak sebesar pada kecepatan tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 318. (2011). *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*. Farmington Hills, Michigan, USA: American Concrete Institute.
- ASTM Committee C09. (2010). Concrete and Aggregate. Dalam *Annual Book of ASTM Standards* (Vol. 04.02). West Conshohocken, PA, USA: ASTM International.
- Bazant, Z. P. (1984). Size effect in blunt fracture. *Journal of Engineering Mechanics*, 110, 518–535.
- Ozbolt, J., Rah, K. K., & Mestrovic, D. (2006). Influence of Loading Rate on Concrete Cone Failure. *International Journal of Fracture*, 239–252.
- Ruiz, G., Zhang, X. X., Tarifa, M., Yu, R. C., & Camara, M. (2009). Fracture Energy of High-Strength Concrete under Different Loading Rates. *Anales de Mecánica de la Fractura* 26, 2.
- Zhang, X. X., Ruiz, G., Yu, R. C., Poveda, E., & Porras, R. (2011). Strain Rate Effect on The Compressive Behaviour of High-Strength Concrete. *Anales de Mecánica de la Fractura* 28, 1.
- Zhang, X. X., Ruiz, G., Yu, R. C., Poveda, E., Porras, R., & del Viso, J. (2010). Effect of Loading Rate on The Fracture Behaviour of High-Strength Concrete. *Applied Mechanics and Materials*, 24-25, 179-185.