

HASIL PENELITIAN

**PRILAKU LENTUR SELF COMPACTING CONCRETE
BERSERAT BAJA**

***FLEXURAL BEHAVIOUR OF THE STEEL FIBERS
SELF COMPACTING CONCRETE***

**ADNAN
PRODI TEKNIK SIPIL FAKUTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
PAREPARE**

ABSTRAK

ADNAN. *Prilaku Lentur Self Compacting Concrete berserat Baja* (dibimbing oleh M. Wihardi Tjaronge dan Rudy Djamaluddin).

Pada struktur balok beton bertulang, kemampuan balok menahan beban luar adalah merupakan faktor utama dalam menganalisis balok beton bertulang. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku kuat lentur dengan penambahan kadar prosentasi serat dari volume semen dan pengaruh penambahan serat terhadap kuat lentur, daktilitas, pola retak dan pola keruntuhan balok beton bertulang.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan, Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Hasanuddin Makassar. Penelitian yang dilakukan adalah pengujian perilaku lentur Self Compacting Concrete berserat baja pada balok berukuran 10 x 10 x 40 cm terhadap beton normal dan kadar prosentasi serat 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% dari volume semen pada beton self compacting concrete masing-masing benda uji 4 buah. Sedangkan untuk balok beton bertulang berukuran 15 x 25 x 300 cm masing-masing 1 buah yaitu; tanpa additive dan serat baja, dengan additive dan tanpa serat baja dan dengan additive dan serat baja 5% terhadap volume semen. Serat yang digunakan adalah serat baja panjang 30 mm dan diameter 0,8 mm dengan tegangan leleh 11,8 MPa. Tulang tarik digunakan tulangan baja ulir diameter 19 mm dengan tegangan leleh 400 Mpa dan tulangan tekan yang digunakan adalah baja polos diameter 10 mm dengan tegangan leleh 300 MPa. Pembebanan dilakukan dengan beban terpusat yang bersifat monotonik diberikan secara bertahap dengan interval 0,25 ton dan dihentikan pada saat beton hancur.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa : (1) Beton SCC berserat 5% terhadap volume semen menghasilkan kuat lentur yang maksimum dengan slump flow yang minimum terhadap beton SCC berserat 0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan beton normal. Dengan demikian prosentase penambahan serat maksimum akan dipengaruhi oleh interval batas slump flow yaitu 50 – 75 cm (2). Pada balok beton bertulang, Beton SCC berserat 5% terhadap beton normal menunjukkan pengaruh yaitu terhadap kuat lentur sebesar 23,40 %, mempunyai nilai daktilitas tertinggi sebesar 1,39 kali, atau mengalami peningkatan daktilitas sebesar 39,50 %, pengurangan lebar retak (sekitar 0,05 – 0,8 mm), perpendekan retak (sekitar 10 - 24 mm) dan mengalami peningkatan sudut retak sekitar 14° (3). Pada balok beton bertulang, Beton SCC berserat 5% terhadap beton SCC tak berserat menunjukkan pengaruh yaitu terhadap kuat lentur sebesar 11,54 %, mempunyai nilai daktilitas

tertinggi sebesar 1,125 kali, atau mengalami peningkatan daktilitas sebesar 12,50 %, pengurangan lebar retak (sekitar 0,04 – 0,4 mm), perpendekan retak (sekitar 09 - 18 mm) dan mengalami peningkatan sudut retak sekitar 7,7°. (4). Pola keruntuhan pada beton SCC berserat 5%, beton SCC dan beton normal tergolong pola keruntuhan lentur (*flexural failure*)

KATA KUNCI : Perilaku Lentuf, Self Compacting Concrete, Serat Baja, Beton

BAB I. PENDAHULUAN

- A. Latar Belakang Masalah**
- B. Tujuan Penulisan**
- C. Rumusan Masalah**
- D. Batasan Masalah**
- E. Sistematika Penulisan**

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Self Compacting Concrete (SCC)

- 1 Pengertian Self Compacting Concrete
- 2 Keunggulan Self Compacting Concrete
- 3 Material Penyusun Beton Self Compacting Concrete
 - ❖ *Semen (Portland) Tipe I*
 - ❖ *Agregat*
 - *Agregat Kasar*
 - *Agregat Halus*
 - ❖ *Air*
 - ❖ *Bahan Tambah*
 - *Superplasticizer*
 - *Retarding Admixture*
- 4 Beton Segar
 - ❖ Kemudahan Pengerjaan (Workability)
 - ❖ Segregasi (Pemisahan Kerikil)
 - ❖ Bleeding
- 5 Beton Keras
 - ❖ Penyusutan akibat Pengeringan
 - ❖ Rangkak (creep)

- 6 Penelitian Terdahulu Mengenai SCC
 - ❖ Handoko, Gideon, Agus, dan David (2001)

B. Beton Serat

- 1 Pengertian Beton Serat
- 2 Penelitian Terdahulu Mengenai Beton Serat
 - ❖ DR. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng
 - ❖ Syahrul Sariman (2004)

C. Prilaku Kuat Lentur Beton

- 1 Tinjauan Umum Kuat Lentur Beton
- 2 Perilaku Kuat Lentur Balok Uji 10 x 10 x 40
- 3 Kuat lentur balok persegi
- 4 Pengujian Lentur Balok Beton Bertulang
- 5 Kuat lentur balok tulangan rangkap
- 6 Analisa tulangan geser
- 7 Analisa lendutan pada balok
- 8 Pengendalian retak pada balok

BAB III/ METODOLOGI PENELITIAN

A. Bagan Alir Penelitian

B. Jenis Penelitian dan Disain Penelitian

- 1 Jenis Penelitian
- 2 Tahapan Penelitian
 - ❖ Uji Karakteristik Bahan Beton
 - ❖ Uji Karakteristik Baja Tulangan
 - ❖ Disain Pendahuluan Penelitian Balok

C. Lokasi dan Waktu Penelitian

- 1 Lokasi Penelitian
- 2 Waktu Penelitian

D. Alat dan Bahan Penelitian

- 1 Alat Penelitian
 - ❖ Alat untuk Pengujian Bahan
 - ❖ Alat untuk Pengujian Balok Beton Bertulang
- 2 Bahan Penelitian

E. Prosedur Penelitian

- 1 Pengujian Bahan
- 2 Pengujian Balok Beton bertulang

F. Variabel Penelitian

BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAAN

A. Hasil pengujian bahan

- 1 Agregat halus
- 2 Agregat kasar
- 3 Agregat gabungan
- 4 Mix disain
- 5 Serat baja
- 6 Slump Flow beton segar
- 7 Kuat lentur balok uji 10 x 10 x 40 cm

B. Hasil pengujian balok beton bertulang

- 1 Kuat lentur
- 2 Daktilitas
- 3 Pola retak
- 4 Pola runtuh

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

- A. Kesimpulan
- B. Saran

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN - LAMPIRAN

- A. DISAIN PENDAHULUAN BALOK BETON BERTULANG
- B. HASIL PENGUJIAN KUAT LENTUR BETON BERTULANG
- C. HASIL PENGUJIAN KUAT LENTUR BETON 10X10X40 Cm
- D. HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON DIA 15X30 Cm
- E. HASIL PENGUJIAN AGGREGAT

F. MIX DISAIN

BAB I

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Dengan semakin berkembangnya pembangunan di bidang konstruksi, maka kita perlu memikirkan peningkatan efisiensi dan keuntungan ekonomis yang bisa didapatkan dari sarana dan prasarana yang di bangun.

Dalam bidang struktur bangunan teknik sipil rekayasa beton pada prinsipnya selalu menyangkut dua hal penting yakni, metode perhitungan struktur beton dan teknologi bahan beton. Pengembangan teknologi bahan beton yang menyangkut peningkatan efisiensi dan nilai ekonomis dapat dilakukan dengan jalan alternatif pengembangan bahan atau zat tertentu.

Pemberian bahan-bahan tambah ke dalam campuran beton pada saat atau selama pencampuran berlangsung dapat bermamfaat untuk menghasilkan beton dengan sifat-sifat yang sesuai dengan tujuan pemakaian beton itu. Bahan tambah digunakan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik dari beton misalnya untuk dapat dengan mudah dikerjakan, penghematan atau untuk tujuan lain seperti penghematan energi.

Sifat mudah dikerjakan (workability) dari beton sangat tergantung pada sifat bahan, perbandingan campuran, dan cara pengadukan serta jumlah air bebas. Untuk mencapai tujuan kemudahan pelaksanaan, unsur

yang sangat berpengaruh adalah menyangkut cara pemadatan atau jenis alat/bahan yang digunakan.

Dalam pekerjaan konstruksi beton, pemadatan atau vibrasi adalah pekerjaan yang mutlak harus dilakukan. Tujuan dari pemadatan itu sendiri adalah meminimalkan udara yang terjebak dalam beton segar sehingga diperoleh beton yang homogen dan tidak terjadi rongga-rongga didalam beton. Konsekuensi dari beton bertulang yang tidak sempurna pemadatannya, diantaranya dapat menurunkan kekuatan beton dan kedapannya air beton sehingga mudah terjadi karat di besi bertulang.

Salah satu alternatif lain yang diambil tanpa penggunaan vibrator dalam hal ini untuk penggunaan vibrator pada daerah yang padat bangunan dapat menimbulkan volusi suara yang mengganggu sekitarnya sekaligus dapat menambah biaya pemadatan adalah dengan memberikan bahan tambah kedalam campuran beton pada saat pencampuran berlangsung yaitu penambahan bahan atau zat tertentu tersebut adalah berupa chemical admixture yaitu *Superplasticizer* dan *Retarder* guna mengubah sifat-sifat dari beton agar lebih cocok untuk pekerjaan tertentu atau untuk menghemat biaya, mempertinggi usia beton, mengurangi penyusutan, mengurangi porositas dan memperbaiki kinerja kekuatan. Proses ini dikenal dengan istilah self compacting concrete (SCC).

Self Compacting Concrete (SCC) merupakan hasil perkembangan dari teknologi bahan beton. Pada dasarnya komponennya sama dengan komponen penyusun dari beton konvensional yang menggunakan penggetar. SCC dalam pelaksanaannya tidak membutuhkan vibrator

(mesin penggetar) untuk pemadatan, karena SCC merupakan campuran beton yang dapat memadat sendiri tanpa menggunakan alat pemadat. Dalam mix desain SCC, perbandingan volume agregat halus sama dengan volume agregat kasarnya

Mix desain SCC tetap memiliki sifat-sifat utama beton yang berhubungan dengan kepentingan praktisnya mengenai kekuatan, karakteristik tegangan-regangan, penyusutan dan deformasi, respon terhadap variasi suhu, daya serap air dan ketahanannya. Diantara sifat-sifat beton yang paling mendapat perhatian terhadap kualitas beton adalah kekuatan beton, salah satunya adalah pemeriksaan terhadap kuat lenturnya.

Berkaitan dengan perilaku lentur beton, telah dilakukan berbagai upaya untuk peningkatan kualitasnya dalam konstruksi bangunan, khususnya peningkatan *kuat lentur*. Salah satu alternatif yang diharapkan diantaranya adalah penambahan bahan atau zat tertentu berupa chemical admixture yaitu *Superplasticizer* dan *Retarder* yang merupakan proses mix desain *Self Compacting Concrete* (SCC) disertai dengan penambahan serat pada campuran beton. Dalam penelitian ini digunakan serat baja berupa potongan kawat pengikat tulangan yang dikenal dengan teknologi "*beton serat*."

Proses mix desain *Self Compacting Concrete* (SCC) disertai dengan penambahan serat baja pada campuran beton diharapkan adanya peningkatan nilai kuat lentur maksimal. Sehingga akan tercapai peningkatan sifat serta kekuatan statis dan dinamis yang berfungsi

sebagai penahan retak, mengurangi penyebaran retak dan kemudian mentransfer sifat getas beton kedalam suatu komposit yang kuat dengan daya tahan terhadap retak yang besar, peningkatan daktilitas dan keretakan lanjutan sebelum runtuh.

Berdasarkan pertimbangan mengenai hal-hal tersebut diatas maka penulis tertarik untuk meneliti dan membuat karya tulis dalam bentuk penelitian eksperimental dengan judul : **"Prilaku Lentur Self Compacting Concrete (SCC) berserat Baja."**

B. TUJUAN PENULISAN

1. Memahami perilaku lentur self compacting concrete (SCC) yang menggunakan chemical admixture berupa *superplasticizer* dan *retarder* berserat baja
2. Memperoleh gambaran mengenai perilaku lentur penambahan *superplasticizer* dan *retarder* berserat baja panjang 3 cm sebanyak 1,0 %; 2,0 %; 3,0 %; 4,0 %; 5,0 % pada pengujian balok 10 x 10 x 40 cm
3. Memperoleh gambaran mengenai perilaku lentur balok bertulang 15 x 25 x 250 cm dengan penambahan *superplasticizer* dan *retarder* berserat baja panjang 3 cm dengan pemakaian serat maksimum pada pengujian kuat lentur balok 10 x 10 x 40 cm

C. RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang tersebut diatas tersebut diatas, maka dapat dirumuskan beberapa masalah sabagai berikut :

1. Menyajikan nilai-nilai perilaku lentur balok beton yang terbuat dari Self Compacting Concrete (SCC) ber serat Baja.
2. Menyajikan peningkatan nilai kuat lentur maksimal Self Compacting Concrete (SCC) ber serat Baja.
3. Menyajikan nilai-nilai pengaruh terhadap daktilitas balok beton yang terbuat dari Self Compacting Concrete ber serat Baja.
4. Menyajikan nilai-nilai pengaruh terhadap pola keruntuhan balok beton yang terbuat dari Self Compacting Concrete ber serat Baja.
5. Menyajikan nilai-nilai pengaruh terhadap pola retak balok beton yang terbuat dari Self Compacting Concrete ber serat Baja.

D. BATASAN MASALAH

Untuk mencapai maksud dan tujuan dari penulisan ini serta menguraikan pokok bahasan diatas ditetapkan batasan-batasan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Pengujian fisik terhadap specimen SCC normal dan serat baja yang terdiri dari :
 - a. Pengujian Kuat Lentur (R) SCC dengan specimen balok 10 x 10 x 40 cm berdasarkan standar ASTM C-293 – 68.
 - b. Pengujian Kuat Lentur (R) SCC dengan specimen balok 15 x 25 x 250 cm berdasarkan standar ASTM C-293 – 68.

2. Metode rancangan campuran beton dilakukan dengan metode rancangan campuran trial mix Self Compacting concrete.
3. Bahan tambah yang digunakan adalah chemical admixture yang berupa Superplasticizer dan Retarder.
4. Bahan serat baja yang digunakan adalah kawat pengikat tulangan dengan panjang 3 cm. Prosentase kadar serat baja yang ditambahkan ke dalam Self Compacting Concrete yaitu 1,0 %; 2,0 %; 3,0 %; 4,0 %; 5,0 %. terhadap volume semen pada SCC.
5. Batu pecah dan pasir cuci yang digunakan berasal dari sungai Jenneberang Sungguminasa Kabupaten Gowa.
6. Penggunaan semen sebagai bahan pengikat adalah Semen Portland Tipe I.
7. Pedoman yang dipakai sebagai acuan adalah ASTM

D. SISTIMATIKA PENULISAN

Sistimatika penulisan yang kami gunakan adalah membagi kerangka masalah dalam bab ini dengan maksud masalah yang hendak kami kemukakan adalah menjadi lebih jelas dan mudah dimengerti.

Secara garis besarnya tulisan ini terdiri dari lima bab dimulai dari; Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metodologi Penelitian, Hasil Pengujian dan Pembahasan, dan diakhiri dengan Kesimpulan dan Saran.

Gambaran umum mengenai keseluruhan isi tulisan ini, dapat kami rinci dengan menguraikan inti masalah/kandungan tiap bab yang akan dibahas sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini disajikan latar belakang masalah, maksud dan tujuan penulisan, rumusan masalah dan batasan masalah, dan sistematika penulisan yang merupakan pengantar atau petunjuk dalam memasuki pembahasan lebih lanjut serta memberikan gambaran secara garis besar mengenai hal-hal yang akan dibahas dalam bab-bab berikutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini disajikan uraian dan pengertian dari Self Compacting Concrete (SCC) dan Beton Serat yang disertai dengan penjelasan tentang bahan-bahan penyusunnya yaitu agregat, semen, air, bahan tambah (Superplasticizer dan Retarder), dan penjelasan mengenai Kuat Lentur, Workability, Segregasi, dan Bleeding serta beberapa penelitian terdahulu mengenai beton serat dan SCC.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini disajikan mengenai tinjauan umum penelitian yang menjelaskan mengenai bagan alur penelitian, studi pendahuluan, penyiapan bahan dan alat, pemeriksaan agregat, mix desain, pembuatan benda uji, perawatan benda uji, dan uji fisik material beton (pengujian Kuat Lentur).

BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini merupakan inti dari keseluruhan materi pembahasan, dimana dikemukakan hasil dari pengujian yakni hasil uji Kuat

Lentur serta pembahasan mengenai hubungan antara kadar serat dan panjang serat dengan Kuat Lentur beton.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan bab terakhir dari tulisan ini yang memberikan kesimpulan dan saran-saran yang penulis kemukakan sesuai dengan pembahasan dalam tulisan ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. SELF COMPACTING CONCRETE (SCC)

1. Pengertian Self Compacting Concrete

Self Compacting Concrete (SCC) dikembangkan untuk pertama kalinya di Jepang sekitar 10 tahun yang lalu dengan tujuan untuk mencapai struktur beton yang tahan lama.

Self Compacting Concrete (SCC) atau Flowing Concrete adalah suatu campuran beton yang memiliki sifat yang sangat plastis dan mudah mengalir tanpa perlu dipadatkan karena beton tersebut telah memiliki sifat untuk memadat sendiri. Tujuan dari pemadatan itu sendiri adalah untuk meminimalkan udara yang terjebak dalam beton segar sehingga diperoleh beton yang bersifat homogen dan tidak terjadi rongga-rongga di dalam beton. Konsekuensi dari beton bertulang yang tidak sempurna pemadatannya, diantaranya dapat menurunkan kuat tekan beton dan kedapannya air beton sehingga mudah terjadi karat pada besi tulangan.

Self Compacting Concrete (SCC) merupakan salah satu hasil yang diperoleh dari kemajuan teknologi beton pada beberapa tahun terakhir.

Self Compacting Concrete tetap memiliki sifat yang homogen, kohesif, tidak mengalami segregasi (memisah) dan bleeding. Spesial concrete admixture dibutuhkan untuk membuat beton SCC, karena harus memenuhi beberapa kriteria sebagai berikut :

- a. Beton sangat plastis dan mudah dikontrol kelecakannya.

- b. Water reduction yang sangat tinggi.
- c. Beton yang tidak kohesif dan stabil.

Pada saat dalam kondisi yang masih berupa beton segar, SCC tidak memerlukan vibrasi, sangat plastis dan mudah mengalir dengan nilai slump flow berada diantara nilai 50 cm – 75 cm. Tidak mengalami segregasi ataupun bleeding dan tetap memperhatikan kelecakan dan kadar udara sesuai yang dikehendaki.

Setelah padat dan mengeras, beton SCC memiliki kualitas yang bagus dan relatif mudah untuk mencapai beton mutu tinggi, beton dengan permeabilitas rendah, beton tahan kimia atau karbonasi dan beton dengan permukaan dan matriks yang homogen Prajitno, Handi. *Concrete Admixture For Flowing Concrete* . PT. Sika Indonesia.

2. Keunggulan Self Compacting Concrete .

Adapun keunggulan SCC ditinjau dari beberapa segi antara lain :
Sugiharto, Handoko.et.al. *Penggunaan Fly Ash dan Viscocrete pada Self Compacting Concrete*, 2001.

Segi durabilitas (keawetan)

- ❖ Meningkatkan homogenitas beton
- ❖ Dapat membungkus tulangan dengan baik
- ❖ Porositas dari matriks beton yang rendah

b. Segi produktivitas

- ❖ Pengecoran yang cepat
- ❖ Pemompaan yang lebih mudah
- ❖ Pekerjaan pemadatan tidak perlu dilakukan lagi

- ❖ Pekerjaan finishing lantai lebih ringan.
- ❖ Menghemat waktu pemakaian alat-alat berat, seperti crane, concrete pump.
- ❖ Sangat cocok untuk pekerjaan perbaikan beton baik dalam skala besar maupun kecil.

c. Segi tenaga kerja

- ❖ Human error akibat pemadatan yang kurang sempurna dapat dihilangkan .
- ❖ Angka kecelakaan tenaga kerja dapat diperkecil
- ❖ Tidak terjadi polusi suara akibat vibrator.
- ❖ Tidak terjadi Hand Arm Vibrator Syndrom (HAVS)
- ❖ Tidak terjadi White Fingers akibat gangguan peredaran darah.

d. Segi ready mix concrete

- ❖ Kesempatan untuk berkompetitif.
- ❖ Waktu tuang beton dari truck mixer lebih singkat.
- ❖ Beton mudah dipompa.

3. Material Penyusun Beton Self Compacting Concrete (SCC)

Beton umumnya tersusun dari tiga bahan penyusun utama yaitu semen, agregat dan air. Namun dapat pula ditambahkan dengan bahan tambah (admixture) untuk mengubah sifat-sifat beton.

Semen merupakan bahan campuran yang bersifat kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Agregat berfungsi sebagai bahan pengisi mineral yang dapat mencegah perubahan-perubahan volume

beton setelah pengadukan selesai dan memperbaiki keawetan beton yang dihasilkan.

Pada umumnya, beton mengandung rongga udara sekitar 1% - 2%, pasta semen (semen dan air) sekitar 25% - 40%, dan agregat (agregat halus dan agregat kasar) sekitar 60% - 75%. Untuk mendapatkan beton dengan kualitas yang baik, maka sifat dan karakteristik dari masing-masing bahan penyusunnya harus diperhatikan dengan teliti.

- ***Semen (Portland) Tipe I***

Semen Portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Menurut ASTM C-150, 1985, semen portland didefinisikan sebagai semen hidrolik yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolik, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya. Mulyono, T. *Teknologi Bahan*. 2003.

Semen merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik di sektor konstruksi sipil. Jika ditambah air, semen akan menjadi pasta semen yang jika mengering akan mempunyai kekuatan seperti batu. Jika ditambahkan dengan agregat halus, pasta semen akan menjadi mortar yang jika digabungkan dengan agregat kasar akan menjadi campuran beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras (concrete).

Fungsi utama semen adalah mengikat butiran-butiran agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara

di antara butiran-butiran agregat. Walaupun komposisi semen di dalam beton hanya 10%, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi penting.

- **Agregat**

Agregat yang digunakan dalam campuran beton dapat berupa agregat alam atau agregat buatan (artificial aggregates). Secara umum, agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Batasan antara agregat kasar dan agregat halus berbeda antara disiplin ilmu yang satu dengan yang lainnya. Meskipun demikian dapat diberikan batasan ukuran antara agregat halus dengan agregat kasar yaitu 4,80 mm (British Standard) atau 4,75 mm (Standar ASTM).

Agregat kasar adalah batuan yang ukuran butirnya lebih besar dari 4,80 mm (4,75 mm) dan agregat halus adalah batuan yang lebih kecil dari 4,80 mm (4,75 mm). Agregat dengan ukuran lebih besar dari 4,80 mm dibagi lagi menjadi dua : yang berdiameter antara 4,80 – 40 mm disebut kerikil beton dan yang lebih dari 40 mm disebut kerikil kasar.

Agregat yang digunakan dalam campuran beton biasanya berukuran lebih kecil dari 40 mm. Agregat yang ukurannya lebih besar dari 40 mm digunakan untuk pekerjaan sipil lainnya, misalnya untuk pekerjaan jalan, tanggul-tanggul penahan tanah, bendungan, dan lainnya. Agregat halus biasa dinamakan pasir dan agregat kasar dinamakan dengan kerikil, split, atau batu pecah. dalam pekerjaan beton. Menurut ASTM C-150, 1985, semen portland didefinisikan sebagai semen hidrolik yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat

hidrolik, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya. Mulyono, T. *Teknologi Bahan*. 2003.

Agregat Kasar

Agregat kasar memiliki pengaruh yang besar terhadap kekuatan dan sifat-sifat struktural beton. Oleh karena itu, agregat kasar yang digunakan sebaiknya memiliki butiran yang cukup keras, bebas dari retakan atau bidang-bidang yang lemah, bersih serta permukaannya tidak tertutupi oleh lapisan. Selain itu, sifat-sifat agregat kasar juga mempengaruhi lekatan antara agregat-mortar dan kebutuhan air pencampur. Agregat yang memiliki ukuran butir yang lebih kecil memiliki pontensial untuk menghasilkan beton yang memiliki kekuatan yang tinggi.

Sesuai dengan pengawasan mutu agregat untuk berbagai mutu beton, maka agregat kasar yang digunakan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

- Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang kasar dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melampaui 20% dari berat agregat seluruhnya. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan
- Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1 % (ditentukan terhadap berat kering). Yang diartikan dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0,063 mm

(saringan No. 200). Apabila kadar lumpur melampaui 1% maka agregat kasar harus dicuci sebelum dipakai.

- Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat yang reaktif alkali.
- Kekerasan dari butir-butir agregat diperiksa dengan bejana penguji dari Rudeloff dengan 20 ton atau dengan mesin pengaus Los Angeles, dimana tidak boleh terjadi kehilangan berat dari 50%
- Agregat kasar halus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya, artinya harus bergradasi baik.

Agregat Halus.

Gradasi dan bentuk butiran halus adalah faktor-faktor yang penting pada produksi beton yang berkekuatan tinggi. Seperti halnya agregat kasar, bentuk butiran dan tekstur permukaan agregat halus dapat mempengaruhi kebutuhan air dan kuat tekan beton. Agregat halus bergradasi sama tetapi kasar porinya berselisih 1 % dapat mengakibatkan perbedaan kebutuhan air sebesar kira-kira 5 liter/m³ beton. Wang, Chu-Kia, Charles G. Salmon. *Disain Beton Bertulang*. 1986.

Banyak pasta semen yang dibutuhkan per m³ beton berkurang jika rasio volume agregat kasar/ bahan halus meningkat. Karena banyaknya jumlah semen yang terkandung pada beton yang berkekuatan tinggi maka jumlah partikel halus juga cenderung meningkat. Akibatnya, pasir dapat juga minimum asalkan cukup untuk mencapai kelecakan dan kepadatan yang diinginkan. Dengan cara ini, dimungkinkan untuk membuat beton

yang berkekuatan lebih tinggi meskipun digunakan bahan dasar semen yang sama.

Agregat halus dengan modulus kehalusan berkisar antara 2,5 sampai 3,2 baik digunakan untuk membuat beton yang berkekuatan tinggi. Adukan beton yang dibuat dengan pasir yang memiliki modulus kehalusan kurang dari 2,5 akan lengket (sticky) sehingga kelecakannya buruk dan untuk memperbaikinya dibutuhkan air dalam jumlah yang lebih banyak. Kadang-kadang dimungkinkan untuk mengkombinasikan pasir dari sumbu-sumber yang berbeda untuk memperbaiki gradasi dan meningkatkan kekuatan beton. Wang, Chu-Kia, Charles G. Salmon. *Disain Beton Bertulang*. 1986.

- **Air**

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Kriteria penerimaan air untuk beton mutu tinggi tidak perlu diperhatikan secara khusus jika air yang digunakan mutunya baik untuk dapat diminum. Jika tidak, maka air tersebut harus diuji sesuai dengan ASTM C-94. Wang, Chu-Kia, Charles G. Salmon. *Disain Beton Bertulang*. 1986.

Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya, bila digunakan dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan. Selain itu, air yang demikian

dapat mengurangi afinitas antara agregat dengan pasta semen dan dapat pula mempengaruhi kemudahan pekerjaan.

Karena pasta semen merupakan hasil reaksi kimia antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total berat campuran yang penting, melainkan perbandingan air dengan semen atau yang biasa disebut dengan Faktor Air Semen (water cement ratio). Air yang berlebihan dapat menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya sehingga akan memperngaruhi kekuatan beton.

- **Bahan Tambah**

Bahan tambah (admixture) adalah bahan-bahan yang ditambahkan ke dalam campuran beton pada saat atau selama pencampuran berlangsung. Fungsi dari bahan ini adalah untuk mengubah sifat-sifat dari beton agar menjadi lebih cocok untuk pekerjaan tertentu, atau untuk menghemat biaya. Winter, George, Arthur H Nilson. *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*. 1993.

Penambahan bahan tambah dalam sebuah campuran beton atau mortar tidak mengubah komposisi yang besar dari bahan yang lainnya, karena penggunaan bahan tambah ini cenderung merupakan pengganti atau substitusi dari dalam campuran beton itu sendiri. Karena tujuannya memperbaiki atau mengubah sifat dan karakteristik tertentu dari beton atau mortar yang dihasilkan, maka kecenderungan perubahan komposisi

dalam berat-volume tidak terasa secara langsung dibandingkan dengan komposisi awal beton tanpa bahan tambah.

Bahan tambah digunakan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik dari beton misalnya untuk dapat dengan mudah dikerjakan, penghematan, atau untuk tujuan lainnya seperti penghematan energi.

Superplasticizer

Bahan pencampur beton yang dikenal sebagai superplasticizer telah dikembangkan dan sekarang telah meluas penggunaannya di Jepang dan Jerman.

Superplasticizer merupakan jenis bahan tambah baru yang dapat disebut sebagai “bahan tambah kimia pengurang air”, yang terdiri atas 3 jenis, yaitu :

- Kondensasi sulfonat melamin formaldehyd dengan kandungan klorida sebesar 0,005%
- Sulfonat naphthalin formaldehyd dengan kandungan klorida yang dapat diabaikan.
- Modifikasi lignosulfonat tanpa kandungan klorida.

Ketiga jenis bahan tambahan ini terbuat dari sulfonat organik dan disebut superplasticizer karena bahan ini dapat mengurangi air pada campuran beton sementara slump beton bertambah sampai 8 in (208 mm) atau lebih. Bahan-bahan ini digolongkan pada sarana untuk menghasilkan beton “mengalir” tanpa terjadinya pemisahan yang tidak diinginkan dan umumnya terjadi pada beton dengan jumlah air yang besar. Bahan ini juga dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan

beton, karena memungkinkan pengurangan kadar air guna mempertahankan workabilitas yang sama.

Karena sifat “mengalir” yang diberikan oleh superplasticizer pada beton, maka bahan ini berguna untuk pencetakan beton di tempat-tempat yang sulit seperti tempat yang terdapat penulangan yang padat. Superplasticizer tidak akan menjadikan “encer” semua campuran beton dengan sempurna, oleh karenanya campuran harus direncanakan untuk disesuaikan. Dosis yang disarankan adalah 1 sampai 2% dari berat semen. Dosis yang berlebihan dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan tekan pada beton. Murdock, L.J., K.M. Brook B.Sc. *Bahan dan Praktek Beton*. Terj. Stephanus Hindarko. 1991.

Pada penelitian yang dilakukan terhadap Self Compacting Concrete (SCC) , superplasticizer yang digunakan merupakan glenium 311 merupakan generasi ketiga dari superplasticiser untuk beton dan mortar yang dikhususkan untuk meningkatkan nilai pengaliran beton segar (flow).

Water Reducing and Retarding Admixture.

Water Reducing and Retarding Admixture adalah bahan tambah yang memiliki fungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal.

Bahan ini digunakan untuk menambah kekuatan beton dan mengurangi kandungan semen yang sebanding dengan pengurangan kandungan air. Bahan ini hampir semuanya berwujud cair. Air yang terkandung di dalam bahan ini akan menjadi bagian dari campuran beton.

Jadi, dalam perencanaan air ini harus ditambahkan sebagai berat air total dalam campuran beton. Perbandingan antara mortar dengan agregat kasar tidak boleh berubah. Perubahan kandungan air, atau udara, atau semen harus diatasi dengan perubahan kandungan agregat halus sehingga volume tidak berubah.

Pada penelitian yang dilakukan terhadap Self Compacting Concrete (SCC) , retarder yang digunakan adalah pozzolit.

4. Beton Segar

Beton segar merupakan beton yang masih dalam kondisi cair setelah pengecoran berakhir. Sifat-sifat dari beton segar antara lain :

- Mudah dalam proses pencampuran dan pengadukan (mixing)
- Mudah dalam proses pengangkutan (handling)
- Mudah dalam proses pengecoran (pouring) dan penempatan (placed)
- Mudah untuk mencapai kepadatan yang cukup dan tidak berpori.

Dalam pengerjaan beton segar, tiga sifat penting yang harus selalu diperhatikan adalah kemudahan pengerjaan, segregation (pemisahan kerikil) dan bleeding (naiknya air).

i. Kemudahan Pengerjaan (Workability)

Workability adalah sifat atau perihal mudah/tidaknya beton segar dikerjakan, diangkut, homogenitas, stabil, sifat pemadatan serta memperkecil pori udara beton. Newman (1965) mengusulkan agar pengertian workability didefinisikan sekurang-kurangnya pada tiga sifat yang berbeda, yaitu:

- Kompatibilitas atau kemudahan dimana beton dapat dipadatkan dan rongga-rongga udara diambil
- Mobilitas atau kemudahan dimana beton dapat mengalir ke dalam cetakan
- Stabilitas atau kemampuan beton untuk tetap sebagai massa yang homogen, koheren dan stabil selama dikerjakan dan digetarkan tanpa terjadi segregasi terhadap bahan-bahan utamanya.

Untuk mengukur workability maka digunakan istilah slump sebagai tolak ukur, dengan alat untuk mengukur slump disebut slump test.

Unsur-unsur yang mempengaruhi workability antara lain :

- Jumlah air pencampur
Semakin banyak air semakin mudah untuk dikerjakan.
- Kandungan semen.
Jika faktor air semen (FAS) tetap, semakin banyak smen berarti semakin banyak kebutuhan air sehingga sifat plastisnya akan menjadi lebih tinggi.
- Gradasi campuran pasir-kerikil.
Jika memenuhi syarat dan sesuai dengan standar, akan lebih mudah dikerjakan.
- Bentuk butiran agregat kasar.
Agregat berbentuk bulat-bulat lebih mudah dikerjakan.
- Butir maksimum
- Cara pemadatan dan alat pemadat.

ii. Segregasi (Pemisahan Kerikil)

Segregasi merupakan pemisahan unsur-unsur pokok dari campuran yang heterogen sehingga didistribusi atau proses penyebarannya tidak lagi merata. Pada adukan beton perbedaan dalam ukuran partikel-partikel dan berat jenis masing-masing campuran merupakan penyebab utama segregasi, tapi hal ini dapat diantisipasi dengan pemilihan gradasi yang sesuai dan pengerjaan yang baik.

Ada dua bentuk segregasi, yang pertama, partikel-partikel yang lebih besar cenderung bergerak lebih jauh sepanjang kemiringan atau turun lebih dalam dibanding partikel-partikel yang lebih halus. Bentuk segregasi yang ke dua terjadi pada campuran-campuran yang basah (mengandung air yang banyak) dan dipengaruhi oleh pemisahan mortar dari campuran.

Segregasi dapat disebabkan oleh beberapa hal :

- Campuran kurus atau kurang semen.
- Terlalu banyak air,
- Besar ukuran agregat maksimum lebih besar dari 40mm,
- Permukaan butir agregat kasar; semakin kasar permukaan agregat semakin mudah terjadi segregasi.

Kecenderungan terjadinya segregasi ini dapat dicegah jika: Winter, George, Arthur H Nilson. *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*. 1993.

- Tinggi jatuh diperpendek
- Penggunaan air sesuai dengan syarat
- Cukup ruang antara batang tulangan dengan acuan

- Ukuran agregat sesuai dengan syarat,
- Pemadatan baik.

iii. **Bleeding**

Kecenderungan air untuk naik ke permukaan pada beton yang baru dipadatkan dinamakan bleeding. Air yang naik ini membawa semen dan butir-butir halus pasir, yang pada saat beton mengeras nantinya akan membentuk selaput. Hal ini disebabkan karena ketidakmampuan unsur-unsur padat campuran untuk menahan seluruh air campuran pada saat unsur-unsur tersebut turun ke bawah. Berdasarkan jumlahnya, bleeding dapat dinyatakan sebagai penurunan total tertinggi satuan beton. Winter, George, Arthur H Nilson. *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*.1993.

Bleeding dapat dipengaruhi oleh :

- Susunan butir agregat; Jika komposisinya sesuai, kemungkinan untuk terjadinya bleeding kecil.
- Banyaknya air; Semakin banyak air berarti semakin besar pula kemungkinan terjadinya bleeding.
- Kecepatan hidrasi; Semakin cepat beton mengeras, semakin kecil kemungkinan terjadinya bleeding.
- Proses pemadatan; Pemadatan yang berlebihan bukan menyebabkan terjadinya bleeding.

Bleeding ini dapat dikurangi dengan cara :

- Memberi lebih banyak semen
- Menggunakan air sesedikit mungkin
- Menggunakan butir halus lebih banyak

- Memasukkan sedikit udara dalam adukan untuk beton khusus.

5. Beton Keras

Pada dasarnya, kekuatan beton merupakan hal yang penting karena memberikan gambaran menyeluruh dari mutu beton dimana kekuatan langsung dikaitkan pada struktur adonan semen yang mengeras.

Selain perbandingan air semen dan tingkat pemadatan, kuat hancur beton juga dipengaruhi oleh beberapa faktor lainnya, seperti

- Jenis semen dan kualitasnya; Jenis semen dan kualitasnya akan mempengaruhi kekuatan rata-rata dan kuat batas beton
- Jenis dan lekuk-lekuk bidang permukaan agregat.

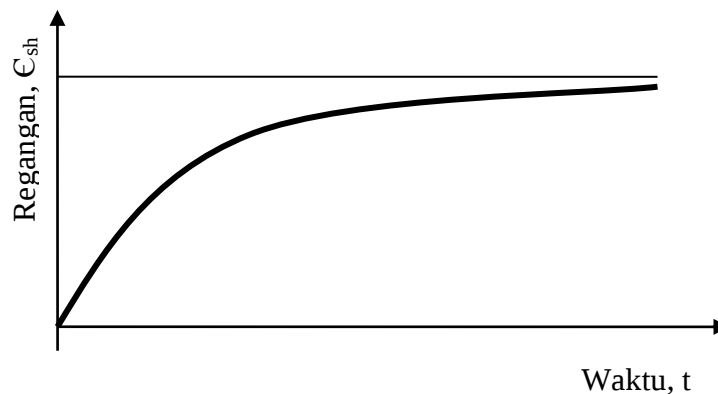
Penggunaan agregat kasar berupa batu pecah akan menghasilkan beton dengan kuat desak dan kuat tarik yang lebih besar daripada penggunaan kerikil halus

- Efisiensi dan perawatan (curing); Perawatan beton memegang peranan yang cukup penting dalam menentukan kuat hancur beton terutama pada saat beton masih berusia muda atau belum mencapai kuat tekan optimum.
- Suhu; Pada umumnya kecepatan pengerasan beton bertambah dengan meningkatnya suhu.
- Umur; Pada keadaan yang normal kekuatan beton akan bertambah dengan meningkatnya umur beton. Kecepatan bertambahnya tergantung pada jenis semen. Proses pengerasan beton akan berlangsung terus secara lambat sampai beberapa tahun.

i. Penyusutan akibat Pengeringan

Penyusutan akibat pengeringan adalah berkurangnya volume elemen beton apabila terjadi kehilangan kandungan air akibat penguapan.

Penyusutan bukan merupakan proses yang sepenuhnya dapat balik. Apabila satu unit beton dijenuhkan dengan air sesudah susut penuh, maka beton tersebut tidak akan berekspansi ke volume semula. Gambar 1 menunjukkan peningkatan regangan susut ϵ_{sh} terhadap waktu. Kelajuan berkurang terhadap waktu karena beton yang lebih tua lebih tahan terhadap tegangan dan ini berarti beton tersebut mengalami lebih sedikit susut, sedemikian hingga regangan susut menjadi hampir asimtotis terhadap waktu.

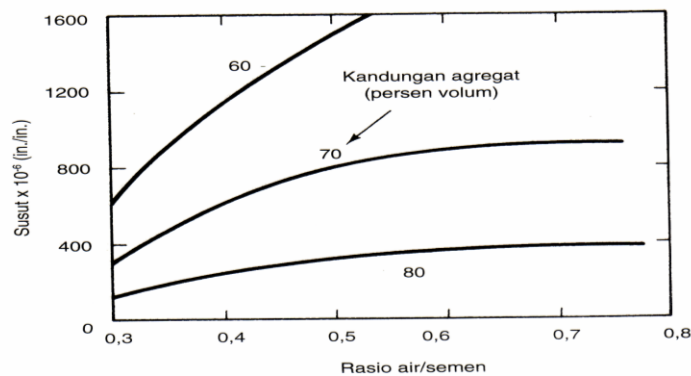


Gambar 1. Kurva Susut - Waktu

Penyusutan yang terus terjadi dengan kecepatan yang kian berkurang dalam beberapa bulan tergantung dari konfigurasi elemennya, dalam beberapa hal merupakan sifat yang merugikan beton. Apabila tidak diperiksa dengan baik, hal ini dapat menyebabkan terjadinya retak-retak yang tidak tampak dan seringkali merugikan.

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi besarnya susut akibat pengeringan adalah :Nawi, Edward. G. *Beton Prategang*. 2001.

- Agregat yang beraksi menahan susut pasta semen; jadi, beton dengan lebih banyak kandungan agregat akan lebih sedikit mengalami susut. Selain itu, pengekanan suatu beton ditentukan oleh besaran agregat. Beton dengan modulus elastisitas tinggi atau dengan permukaan kasar lebih dapat menahan susut.
- Rasio air/semen. Semakin tinggi rasio air/semen, semakin tinggi pula efek susut. Gambar 2 adalah plot tipikal yang menghubungkan kandungan agregat dan rasio air/semen.
- Ukuran elemen beton. Baik laju maupun besar total susut berkurang apabila volume elemen beton semakin besar.
- Kondisi kelembaban di sekitar. Kelembaban relatif pada lingkungan sangat mempengaruhi besarnya susut; laju penyusutan lebih kecil pada kelembaban relatif yang lebih tinggi.
- Banyaknya penulangan. Beton bertulang menyusut lebih sedikit dibandingkan dengan beton polos; perbedaan relatifnya merupakan fungsi dari persentase penulangan.
- Bahan tambahan. Efek ini bervariasi tergantung pada jenis bahan tambahan.
- Jenis semen. Semen yang cepat mengering akan menyusut lebih banyak dibandingkan jenis-jenis semen lainnya, sedangkan semen pengkompensasi susut akan mengurangi retak susut apabila digunakan bersamaan dengan tulangan pengekan.



Gambar 2. Efek Rasio Air/Semen dan Kandungan Agregat Terhadap Susut.

Susut akibat perubahan suhu dapat dihindari dengan jalan Akkas, Abdul Madjid. *Rekayasa Bahan / Bahan Bangunan*. 1996 :

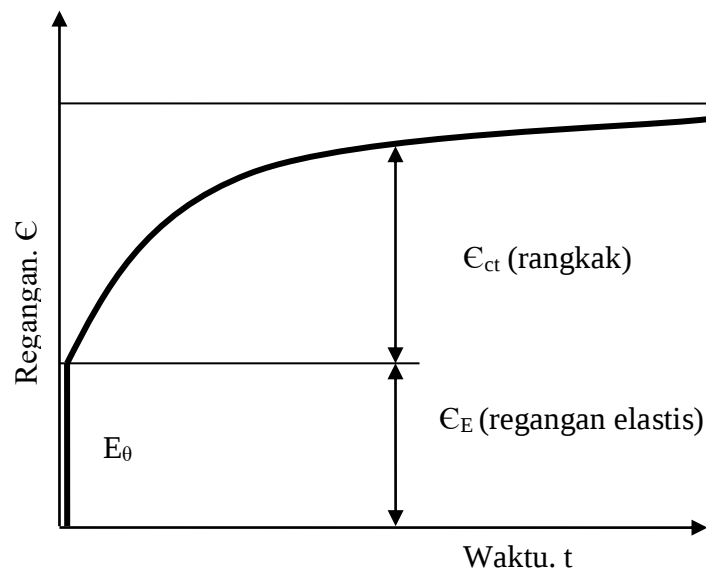
- Menggunakan kadar semen rendah
- Menghindari pengerasan yang cepat, misalnya dengan adanya penambahan bahan tambah.
- Mengusahakan agar agregat dan air pengaduk tetap dingin
- Sedapat mungkin menggunakan acuan baja dan penyiraman selama masa pemeliharaan beton (curing)
- Membongkar acuan sedini mungkin agar panas hidrasi terlepas
- Sedapat mungkin beton yang mengalami fase pengerasan bebas hambatan terhadap penyusutan, ini untuk menghindari tegangan tarik yang melebihi kemampuan beton.
- Untuk menghindari penyusutan pada saat pengerasan berlangsung maka permukaan beton harus dilindungi dari penguapan dengan jalan selalu mengadakan penyiraman atau pembasahan pada muka beton

sampai berakhir masa pengerasan yang biasanya pada saat beton berumur 28 hari.

ii. Rangkak (creep)

Rangkak (creep) atau lateral material flow didefinisikan sebagai penambahan regangan terhadap waktu akibat adanya beban yang bekerja. Deformasi awal akibat beban adalah regangan elastis, sementara tambahan akibat beban yang sama yang terus bekerja adalah regangan rangkak. Rangkak timbul dengan intensitas yang semakin berkurang setelah selang waktu tertentu dan kemungkinan berakhir setelah beberapa tahun.

Gambar 3 mengilustrasikan pertambahan regangan rangkak terhadap waktu. Rangkak tidak dapat diamati secara langsung dan hanya dapat ditentukan dengan mengurangkan regangan elastis dan regangan susut dari deformasi. Nawi, Edward. G. *Beton Prategang*. 2001.



Gambar 3. Kurva Regangan - Waktu

Nilai rangkai untuk beton mutu tinggi lebih kecil dibandingkan dengan beton mutu rendah. Umumnya, rangkai tidak mengakibatkan dampak langsung terhadap kekuatan struktur tapi akan mengakibatkan timbulnya redistribusi tegangan pada beban yang bekerja dan kemudian mengakibatkan terjadinya peningkatan lendutan (deflection). Rangkai akan semakin besar dengan meningkatnya faktor air semen dan kandungan semen.

Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya rangkai dapat dijabarkan sebagai berikut:

- Sifat bahan dasar beton (komposisi dan kehalusan semen, kualitas adukan dan kandungan mineral dalam agregat)
- Rasio air terhadap jumlah semen (water cement ratio)
- Suhu pada saat pengerasan
- Kelembaban nisbi pada saat proses penggunaan
- Umur beton pada saat beban bekerja
- Nilai slump (slump test)
- Lama pembebanan
- Nilai tegangan
- Nilai rasio permukaan komponen struktur

6. Penelitian Terdahulu Mengenai Self Compacting Concrete (SCC)

Handoko, Gideon, Agus, dan David (2001)

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari dan menganalisa SCC, mengetahui peranan dan pengaruh fly ash pada SCC, melihat

pengaruh viscocrete admixtures pada SCC, dan mendapatkan komposisi SCC yang optimal.

Perancangan campuran dibuat dengan metode trial mix. Perbandingan semen adalah 10 ; 0 , 8 , 2 , 7 , 3 , 6 , 4 , 5 , 5 dengan kadar viscocrete yang diberikan adalah 1,5%, 2%, dan 3% untuk tiap jenis perbandingan. Tiap jenis sdukan beton terdiri dari 7 buah benda uji.

Pengujian dalam penelitian ini terbagi atas 2 yaitu : pengujian beton cair (flowability dan workability) dan pengujian beton keras (uji kuat tekan).

Hasil pengujian yang diperoleh adalah :

Hasil pengujian kuat tekan

Untuk penggunaan viscocrete dosis sebesar 2% cenderung mempunyai kuat tekan lebih besar dibandingkan dengan dosis 1,5%. Tetapi hal ini tidak terjadi pada komposisi perbandingan semen : fly ash 6 : 4 dan 5 : 5. hal ini bisa disebabkan oleh kurangnya bahan pengikat (semen) dalam komposisi tersebut, sehingga viscocrete tidak dapat berfungsi dengan maksimal.

Hasil pengujian workability

Penggunaan fly ash yang semakin banyak cenderung memperkecil diameter maksimum yang dicapai dan juga memperlambat waktu dari slump flow 50 cm. Pada pengujian dengan komposisi semen : fly ash 5 : 5 nilai rata-rata diameter maksimuk yang dicapai adalah 57 cm sedangkan komposisi yang lain mencapai 59 cm.

Penggunaan dosis viscocrete sebesar 2% meningkatkan workability sedangkan penggunaan dosis viscocrete sebesar 3% tidak menunjukkan perbedaan yang berarti

Hasil pengujian flowability

Dengan semakin banyaknya fly ash, aliran beton cenderung lebih lambat. Hal ini tidak jauh berbeda dengan pengaruh fly ash pada pengujian workability. Hasil pengujian rata-rata memenuhi standar persyaratan pengujian flowability, hanya pada pengujian komposisi 5 : 5 dengan berbagai dosis viscocrete, flowability dari aliran beton kurang baik.

Untuk penggunaan viscocrete pada pengujian flowability ini tidak terlalu ada perbedaan yang besar pada tiap komposisi. Hasil dari pengujian dosis 3% tidak jauh berbeda dengan dosis 2%.

B. BETON SERAT

1. Pengertian Beton Serat

Beton serat adalah beton yang diperoleh dengan menambahkan serat pada beton biasa. Serat pada umumnya berupa batang-batang dengan diameter antara 5 sampai 500 μm , dan panjang 25 mm – 100 mm (Mulyono, T. *Teknologi Bahan*. 2003).

Bahan serat dapat berupa serat asbestos, serat tumbuh-tumbuhan (rami, bambu, ijuk), serat plastik (poly-propilene), dan potongan kawat baja. Dalam hal ini serat dianggap agregat yang bentuknya sangat tidak bulat. Dengan penambahan serat mengakibatkan beton sulit dikerjakan (berkurangnya sifat workability), mengurangi kemungkinan terjadinya

segregasi. Serat dalam beton berguna mencegah retak-retak, sehingga menjadikan beton serat lebih daktil dari beton normal.

Beton serat atau beton yang diperkuat dengan serat adalah suatu campuran beton normal yang ke dalamnya ditambahkan dengan serat secara merata dengan orientasi acak (random). Serat-serat yang disebarkan baik jenis, dimensi maupun jumlahnya ditentukan terlebih dahulu sesuai kebutuhan sebelum dimasukkan pada campuran beton. Serat pada umumnya berupa batang-batang dengan diameter antara 0,254 mm – 0,672 mm, dan panjang sekitar 6,35 mm – 76,2 mm.

Pada beton diperkuat serat beban dan deformasi dialihkan kepada serat. Dengan serat kuat tegar, sejumlah fraksi volume minimum tertentu akan tercapai peningkatan sifat serta kekuatan statis dan dinamis. Pada prinsipnya serat berfungsi sebagai penahan retak, mengurangi penyebaran retak dan kemudian mentransfer sifat getas beton ke dalam suatu komposit yang kuat dengan daya tahan terhadap retak yang besar, peningkatan daktilitas dan keretakan lanjutan sebelum runtuh. Sehingga serat dalam beton berguna mencegah retak-retak, sehingga menjadikan beton serat lebih daktil dari beton normal

Mekanisme menahan dan mengontrol/membatasi retak dari serat kawat mengakibatkan peningkatan kekuatan sifat-sifat beton yang berhubungan dengan retak seperti kekuatan, kekakuan, daktilitas, penyerapan energi, dan ketahanan terhadap tumbukan, kelelahan dan panas. Karakteristik pengontrolan retak dari serat mempunyai pengaruh besar terhadap tingkah laku beton komposit:

- Serat dapat memperlambat terjadinya retak lentur, peningkatan regangan tarik.
- Serat memberi suatu perilaku yang baik pada keadaan setelah terjadinya retak.
- Sifat menahan retak dan akibat peningkatan daktilitas memberikan sifat penyerapan energi yang lebih besar.

Penambahan serat kedalam campuran bahan penyusun beton dapat dilakukan dalam dua cara, yaitu :

- Proses basah, yaitu dengan menambahkan sedikit demi sedikit serat kedalam campuran beton segar setelah beton tercampur dengan merata.
- Proses kering, yaitu menambahkan serat kedalam campuran bahan penyusun beton, sebelum air ditambahkan. Setelah tercampur dengan merata antara serat dan bahan penyusun beton, kemudian air ditambahkan sesuai dengan rencana.

Tabel 1. Macam-macam Bahan Serat dan Sifat-sifat Fisiknya

Jenis Serat	Tegangan Tarik N/mm ²	Modulus Young N/mm ²	Kemampuan Mulur %	Specific Gravity
Acrylic	210 – 420	$2,1 \times 10^4$	25 – 45	1,10
Asbestos	560 – 985	8,4 – 14	0,6	3,20
Catton	420 – 700	8,4 – 14	3 – 10	1,5
Glass	1050 – 3870	70	1,5 – 3,5	2,50
Nylon	780 – 850	4,2	16 – 20	1,10
Polyster	750 – 880	8,5	11 – 13	1,40
Polythelene	-700	0,15 – 0,42	10	0,95
Polypropylene	560 – 780	3,5	25	0,90
Rayon	420 – 360	7,3	10 – 25	1,50
Steel	280 – 420	20×10^4	0,5 – 25	7,8

Sumber : Gambhir, hal 225

2. Penelitian Terdahulu Mengenai Beton Serat

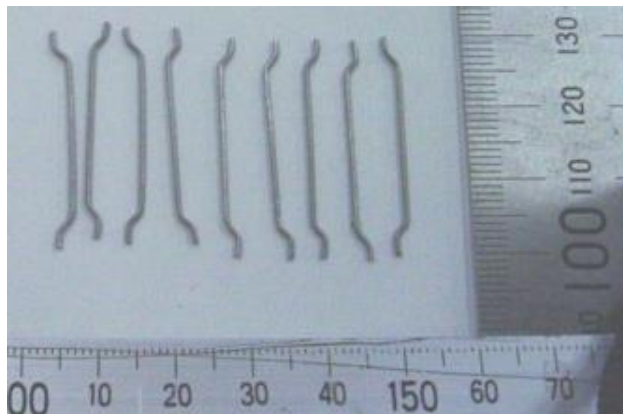
DR. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng

Serat baja dengan cangkok digunakan dipenelitian ini. Serat-serat terpaku bersama-sama berdampingan ke dalam bundel-bundel dengan satu lem dapat larut dalam air seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. The bundling of the fibers (dimension = mm)
Kondisi fiber-fiber yang dicampur dengan lem sebelum dicor

Serat-serat akan memisahkan sama serat-serat yang individu bila lem dilarutkan oleh air di dalam campuran seperti yang ditunjukkan di dalam Gambar 5.



Gambar 5. Individual fibers (dimension = mm)
Kondisi fiber-fiber yang dicampur dengan lem setelah dicor

Table 2. Properties of steel fiber with hook

Properties	Fiber
Density	7.85
Diameter (mm)	0.80
Length (mm)	30
Aspect ratio (L/D)	38
Tensile strength (N/mm ²)	1353

▪ Rancangan Campuran Beton Serat

Tabel 3. Campuran perancangan beton serat. Proporsi dirancang menurut JIS a 5308-1996 (Siap mencampur beton) dan JASS 5 (Jepang Standard Specification untuk Reinforced Concrete Work). Beton-beton dibuat dengan mencampur air, Ordinary Portland semen, pasir sungai, kerikil dan superplasticizer, penambahan dengan atau tanpa serat-serat baja.

Nilai-nilai kemerosotan dari beton serat baja dan beton tak bertulang adalah 18.5 cm dan 18 cm, berturut-turut. Kuat tekan dari benda uji silindris pada umur 28 hari adalah 37.7 MPa dan 40.5 MPa untuk beton serat baja dan beton tak bertulang, berturut-turut.

Table 3. Mix design of concrete

W/ C (%)	Volume 1 m ³					
	Air (kg)	Semen Portland biasa (kg)	Agregat		Superplasticizer (kg)	Serat baja (kg) (0.3% x volume)
			Pasir sungai (kg)	Kerikil (kg)		
40	166	414	721	1007	2.07	23.1

- **Kekuatan Lentur Menguji Beton Serat**

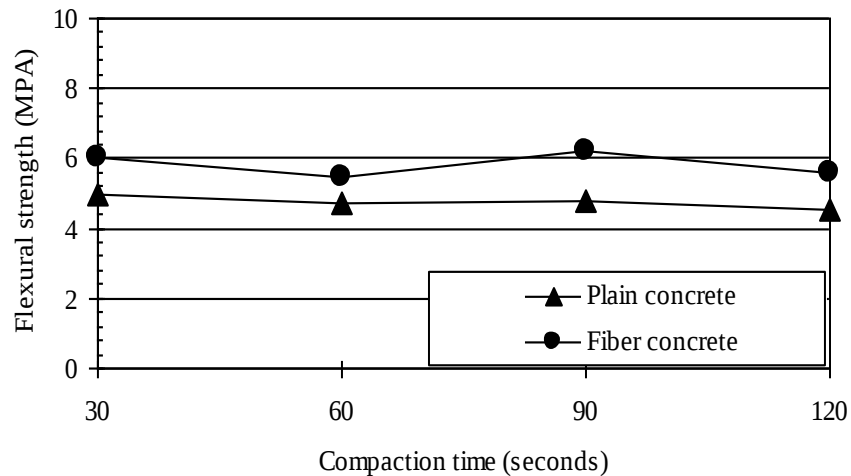
Kuat lentur diselenggarakan menurut JIS 1106-1999 (Metoda dari Test untuk Flexural Strength dari Concrete) pada umur 28 hari. Masing-masing nilai kuat lentur hasil percobaan [balok/berkas cahaya].

- **Distribusi Serat didalam Beton**

Setelah kuat lentur telah selesai, masing-masing balok dari beton serat baja dipisah untuk mendeteksi efek dari vibrasi horisontal pada distribusi serat baja di dalam beton. Permukaan pecahan dibagi di dua lapisan, lapisan paling bawah (5x5 cm²) dan lapisan paling tinggi (5x5 cm²). Serat-serat baja yang nampak di permukaan pecahan terhitung dan rata-rata densitas-densitas serat (yaitu., jumlah serat-serat per lapisan) ditentukan untuk lapisan paling bawah dan lapisan paling tinggi. Densitas-densitas lapisan paling tinggi dan lapisan paling bawah dibandingkan untuk mengevaluasi kehomogenan distribusi serat baja.

- **Kekuatan Lentur**

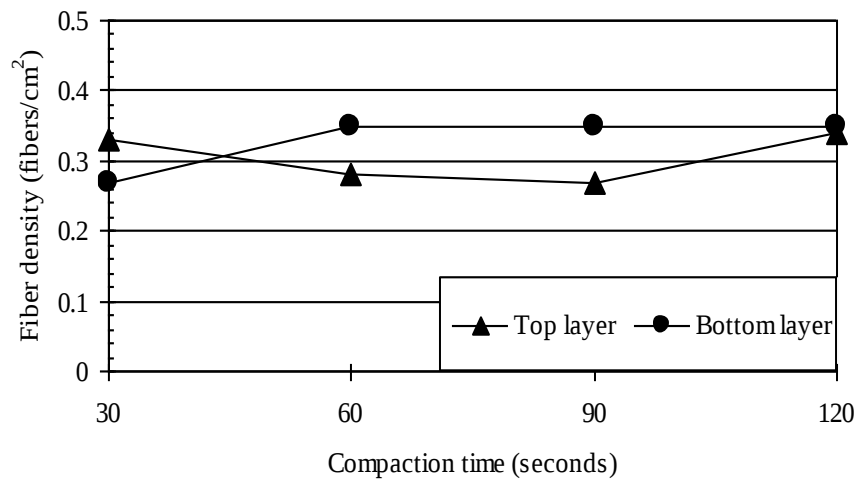
Pemeriksaan visual hasil-hasil pemadatan dengan vibrasi horisontal bahwa serat baja dan beton tak bertulang menunjukkan tanpa sarang lebah pada semua samping benda uji. Gambar 6. pertanda kuat lentur serat baja dan beton tak bertulang mewujudkan compacted oleh yang menggunakan vibrasi horisontal. Kuat lentur dari beton serat baja dan beton tak bertulang bergerak dari 4.54 MPa sampai 4.94 MPa dan dari 5.5 sampai 6.2 Mpa. Serat baja mewujudkan memberi lebih dari 16% kuat lentur lebih tinggi.



Gambar 6. Grafik Hubungan Flextural Kekuatan dan Compaction

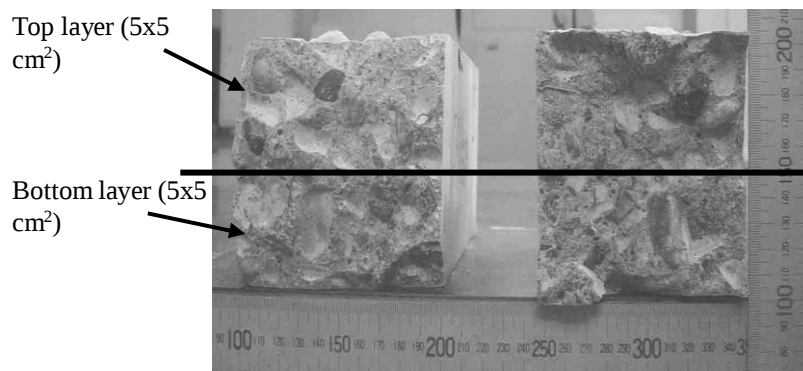
Gambar 7. menunjukkan densitas-densitas serat baja di dalam lapisan paling bawah dan lapisan paling tinggi dari benda uji. Densitas-densitas serat di dalam alas/pantat dan lapisan paling tinggi bergerak dari 0.27 sampai 0.34 (fibers/cm²) dan dari 0.27 sampai 0.35 (fibers/cm²), berturut-turut. Tidak ada perbedaan penting dari densitas serat ditunjukkan antara lapisan paling bawah dan lapisan paling tinggi. Hasil ini mengungkapkan itu vibrasi horisontal memberi kehomogenan distribusi serat baja di dalam benda uji.

Pengamatan atas permukaan pecahan tidak menunjukkan manapun segregasi serat-serat baja atau agregat-agregat. Mewujudkan dengan serat-serat secara penuh diisi [balok/berkas cahaya] tanpa rongga besar yang terjadi. Agregat-agregat dapat ditutup oleh satu lapisan dari pasta semen. Tidak ada pil dari serat-serat baja, pasta semen atau mortar terjadi pada pangkal benda uji.



Gambar 7. Grafik Hubungan Serat dan Kuat Lentur

Gambar 8. pertanda bahwa satu penjangkaran akhir sempurna dibentuk antara serat baja dan acuan/matriks, menghasilkan satu kuat lentur tinggi.



Gambar 8. Densitas-densitas serat di dalam lapisan paling bawah dan lapisan paling atas

Syahrul Sariman (2004)

Salah satu tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan serat besi terhadap karakteristik beton yakni kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas.

Serat yang diberikan adalah potongan kawat pengikat tulangan dengan panjang 5 cm. Variasi serat yang diberikan adalah 1 % dan 3 % terhadap berat beton normal.

Pengujian dilakukan pada beton umur 30 hari. Pengujian karakteristik beton yang dilakukan dari uji tekan, uji tarik belah, uji modulus elastisitas terhadap 3 jenis beton yang masing-masing terdiri dari 3 jenis specimen yaitu :

- Uji tekan terhadap 3 jenis beton (0%, 1%, 3%) masing-masing terdiri dari 3 specimen.
- Uji tarik belah terhadap 3 jenis beton (0%, 1%, 3%) masing-masing terdiri dari 3 specimen.
- Uji modulus elastisitas terhadap 3 jenis beton (0%, 1%, 3%) masing-masing terdiri dari 3 specimen.

Hasil pengujian karakteristik beton tersebut adalah sebagai berikut :

▪ **Hasil uji tekan**

- a. Beton normal : $f'_{c0} = 20,65 \text{ Mpa}$
- b. Beton serat 1% : $f'_{c1} = 23,11 \text{ Mpa}$
- c. Beton serat 3% : $f'_{c3} = 25,28 \text{ Mpa}$

Hasil pengujian menunjukkan terjadinya peningkatan kuat tekan pada beton serat 1% sebesar 11,9% dan beton serat 3% sebesar 22,4%.

▪ **Hasil uji tarik belah**

- a. Beton normal : $f_{c0} = 2,55 \text{ Mpa}$
- b. Beton serat 1% : $f_{c1} = 3,16 \text{ Mpa}$
- c. Beton serat 3% : $f_{c3} = 3,41 \text{ Mpa}$

Hasil pengujian menunjukkan terjadinya peningkatan kuat tarik belah pada beton serat 1% sebesar 23,9% dan beton serat 3% sebesar 33.7%.

- **Hasil uji modulus elastisitas**

- a. Beton normal : $E_{c0} = 21666.93 \text{ Mpa}$
- b. Beton serat 1% : $E_{c1} = 22757.46 \text{ Mpa}$
- c. Beton serat 3% : $E_{c3} = 23852.38 \text{ Mpa}$

Hasil pengujian menunjukkan terjadinya peningkatan kuat tekan pada beton serat 1% sebesar 5.03% dan beton serat 3% sebesar 10.08%.

C. PERILAKU KUAT LENTUR BETON

1. Tinjauan Umum Kuat Lentur Beton

Beton selain digunakan sebagai kolom untuk menahan gaya tekan, beton juga digunakan sebagai balok di dalam konstruksi. Pada setiap penampang terdapat gaya-gaya dalam yang dapat diuraikan menjadi komponen-komponen yang saling tegak lurus dan menyinggung terhadap penampang tersebut. Komponen-komponen yang tegak lurus terhadap penampang tersebut merupakan tegangan-tegangan lentur (tarik pada salah satu sisi pada sumbu netral dan tekan pada sisi penampang lainnya). Fungsi dari komponen ini adalah untuk memikul momen lentur pada penampang. Komponen-komponen yang menyinggung penampang dikenal sebagai tegangan geser dan komponen tersebut memikul gaya-gaya geser. Nilson, Arthur H. *Design of Concrete Structures*. Twelfth Edition. The Mc Graw-Hill Companies. Inc. 1997.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan lentur beton adalah

➤ Dimensi uji beton.

Dimensi yang baku adalah 150 mm x 150 mm x 500 mm dengan rasio bentang terhadap ketinggiannya sebesar tiga kali. Untuk lebar dan bentang yang sama, nilai kekuatan lentur benda uji mengecil dengan bertambahnya ketinggian benda uji.

➤ Ukuran benda uji.

Keseragaman hasil pengujian meningkat dengan membesarnya ukuran benda uji. Secara umum dapat dikatakan bahwa kekuatan lentur beton berkurang dengan membesarnya ukuran benda uji.

➤ Ukuran maksimum agregat kasar

Penggunaan ukuran agregat kasar maksimum yang lebih kecil cenderung menghasilkan balok beton dengan kekuatan lentur yang lebih besar.

➤ Laju pembebanan

Sama halnya dengan kuat tarik beton, kekuatan lentur beton umumnya meningkat dengan meningkatnya laju pembebanan yang diterapkan.

➤ Kelembaban dan suhu

Hasil pengujian lentur sangat dipengaruhi oleh kelembaban benda uji pada saat pengujian. Jika benda uji dites pada saat kondisi kering, nilai kuat lentur yang diperoleh biasanya lebih rendah 10 – 30 % dari kuat lentur yang diperoleh dari benda uji yang jenuh. Penurunan kekuatan

lentur juga terjadi pada benda uji yang dites pada temperatur yang lebih tinggi.

Dengan menggunakan prinsip kesetimbangan statika besaran momen dan geser yang terjadi pada setiap penampang balok yang bekerja menahan beban dapat dihitung kemudian yang diperhitungkan adalah kemampuan balok tersebut dengan cara memperhitungkan tegangan-tegangan yang terjadi di dalamnya. Distribusi tegangan-tegangan pada penampang balok sebenarnya sangat rumit, dan hasil perhitungan yang dapat diperoleh berdasarkan teori elastisitas dengan asumsi bahwa bahan homogen (serba – sama), sementara beton bertulang terdiri dari bahan yang tidak serba sama (non homogen) berarti tidak memiliki perilaku elastis pada jenjang kekuatannya.

Konsep lain adalah konsep kopel momen dalam, bila digunakan untuk memperhitungkan kuat balok yang bersifat umum dan dapat digunakan baik untuk bahan balok homogen ataupun tidak juga dapat dipakai untuk balok yang mempunyai distribusi tegangan linear ataupun nonlinear. Cara ini akan memudahkan bila digunakan untuk menjabarkan mekanisme gaya-gaya dalam balok beton bertulang karena mampu menggambarkan pola tahanan dasar yang terjadi.

2. Perilaku Kuat Lentur Balok Uji 10 x 10 x 40

Untuk pengujian kuat lentur dilakukan dengan menggunakan alat "Universal Testing Machine" dengan kapasitas 2000 N. Metode pengujian yang dilakukan sesuai standar ASTM - C293-68 pada gambar 9. untuk

pengujian ini disiapkan 2 buah benda uji balok berukuran 10 x 10 x 40 cm untuk setiap jenis SCC diuji pada umur 28 hari.

Besarnya Kuat Lentur dihitung berdasarkan persamaan :

$$R = \frac{3 PL}{2 bd^2} \dots\dots\dots (1)$$

Sumber : ASTM -C293-68,2000

- Dimana :
- R = Kuat Lentur (Mpa)
 - P = Beban maksimum yang diberikan pada balok (N)
 - L = Panjang Bentang (mm)
 - b = Lebar rata-rata dari benda uji (mm)
 - d = Tinggi rata-rata benda uji (mm)



Gambar 9. Proses Uji Kuat Lentur

3. Kuat lentur balok persegi

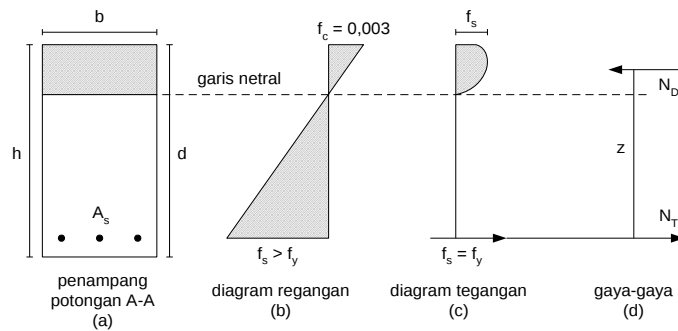
Pada suatu komposisi tertentu balok dapat menahan beban yang terjadi hingga regangan tekan lentur beton maksimum ($\epsilon'_{b \text{ maks}}$) mencapai 0,003 sedangkan tegangan tarik baja tulangan mencapai tegangan luluh

fy. Bila hal demikian terjadi, penampang dinamakan mencapai keseimbangan regangan (penampang bertulangan seimbang).

Berdasarkan pada asumsi yang telah dikemukakan di atas, dapat dilakukan pengujian regangan, tegangan, dan gaya-gaya yang timbul pada penampang balok yang bekerja menahan momen batas, yaitu momen yang timbul akibat beban luar pada saat terjadi hancur. Kuat lentur balok beton tersedia karena berlangsungnya mekanisme tegangan – regangan dalam yang timbul di dalam balok dalam keadaan tertentu dapat diwakili oleh gaya-gaya dalam. Seperti tampak pada Gambar 10, di mana N_D adalah merupakan resultan gaya tarik dalam dan merupakan seluruh gaya tarik yang direncanakan untuk daerah yang berada di bawah garis netral. Resultan gaya tekan dalam dan resultan gaya tarik dalam arah garis kerjanya sejajar, sama besar namun berlawanan arah dengan jarak Z sehingga membentuk kopel momen tahanan dalam yang mana nilai maksimumnya disebut sebagai kuat lentur.

Momen tahan dalam tersebut akan memikul momen lentur rencana aktual yang diakibatkan oleh beban luar. Untuk tujuan perencanaan pada kondisi balok dibebani harus disusun sesuai dengan komposisi dimensi balok beton dan jumlah luasan baja tulangan yang dapat menahan momen akibat beban luar. Yang paling penting diperhatikan untuk menentukan momen tahan dalam, terlebih dahulu adalah mengetahui resultan total gaya beton tekan N_D , dan letak garis kerja gaya dihitung terhadap serat tepi tekan terluar, sehingga jarak Z dapat dihitung. Nilai N_D dan N_T dapat dihitung dengan menyederhanakan bentuk distribusi

tegangan lengkung dirubah dengan bentuk ekivalen yang lebih sederhana, dengan cara memanfaatkan nilai intensitas tegangan rata-rata agar nilai dan letak resultan tidak mengalami perubahan.



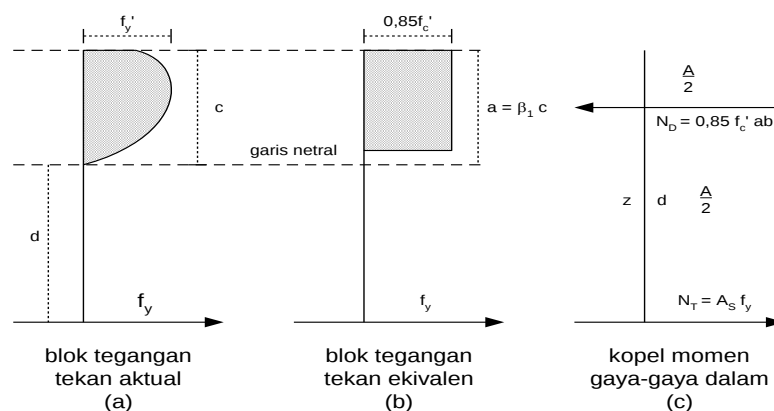
Gambar 10. Balok menahan momen ultimit

Berdasarkan bentuk empat persegi panjang, seperti pada Gambar 11, intensitas tegangan beton tekan rata-rata ditentukan sebesar $0,85 f'_c$ dan diasumsikan bekerja pada daerah tekan dari penampang balok selebar b dan sedalam a , yang mana besarnya dapat ditentukan dengan persamaan:

$$a = \beta_1 c \dots\dots\dots (2)$$

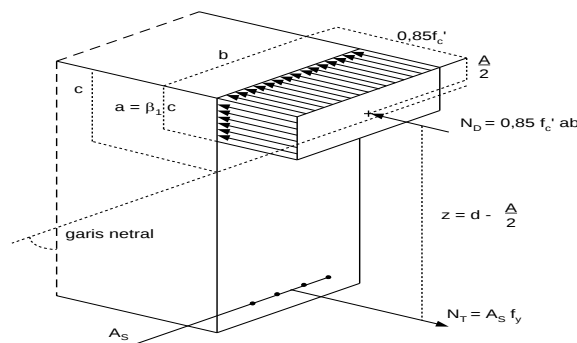
dimana: c = jarak serat tekan terluar ke garis netral

β_1 = konstanta yang merupakan fungsi dari kelas kuat beton



Gambar 11. Blok tegangan ekivalen

Standar SK. SNI 03-2847-2002 menetapkan nilai β_1 diambil $0,85 f_c'$ ≤ 30 MPa, berkurang 0,008 untuk setiap kenaikan 1 MPa kuat beton dan tidak boleh kurang dari 0,65. Dari Gambar 12, dapat dilihat hubungan gaya-gaya dalam dengan menggunakan distribusi tegangan bentuk segi empat ekivalen untuk menentukan momen nominal (M_n) balok beton bertulang segi empat.



Gambar 12. Blok tegangan ekivalen untuk analisis kekuatan

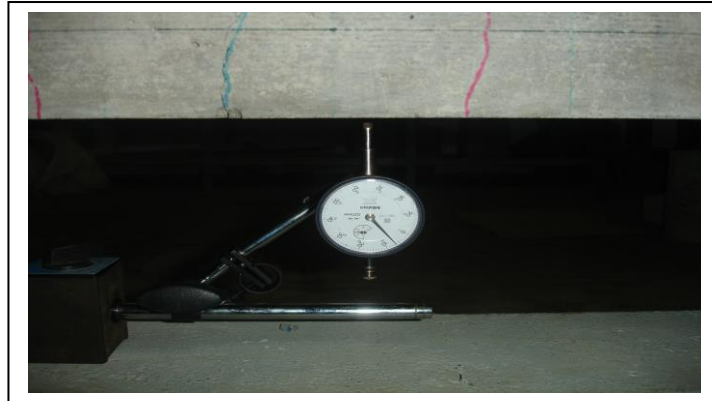
4. Pengujian Lentur Balok Beton Bertulang

Pengujian lentur balok beton bertulang dilakukan dengan single point loading yang bersifat statik dengan pembebanan secara monotonic hingga balok runtuh dapat dilihat pada Gambar 13, dan Gambar 14.



Gambar 13. Alat uji lentur

Untuk mengetahui lendutan dapat digunakan *Dial gauge* dengan ketelitian 0.01 mm , dapat dilihat pada Gambar 14



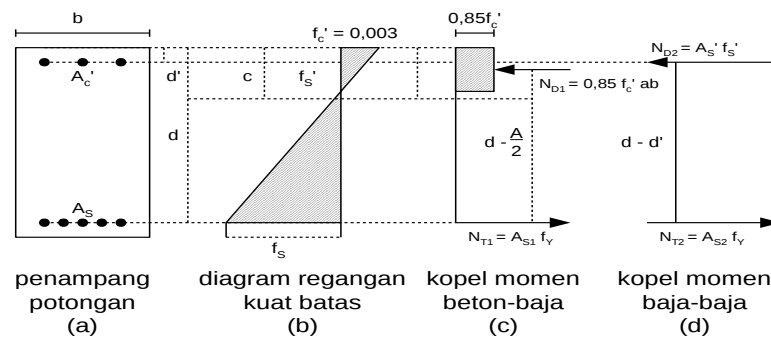
Gambar 14. Alat pengukur lendutan

5. Kuat lentur balok tulangan rangkap

Analisis lentur balok persegi bertulangan rangkap seperti pada Gambar 16 berhubungan dengan penentuan kuat nominal lentur M_n suatu penampang dengan nilai-nilai b , d , d' , A_s , A_s' , f_c' dan f_y untuk analisis balok beton bertulangan rangkap pada dasarnya tidak jauh berbeda dengan balok persegi bertulangan tarik. Yang terpenting untuk dianalisis bahwa tegangan tulangan baja tekan (f_s') yang merupakan fungsi dari regangan yang berada tepat pada posisi titik berat tulangan baja tekan. Bila regangan tekan baja (ϵ_s) sama atau lebih besar dari regangan luluhnya (ϵ_y) maka sebagai batas maksimum tegangan tekan (f_y') diambil sama dengan tegangan luluhnya (f_y) dan jika regangan baja yang terjadi kurang dari regangan luluh (ϵ_y) maka tegangan tekan baja $f_s' = \epsilon_s' E_s$, dimana E_s adalah modulus elastisitas baja.

Pada dasarnya balok beton bertulang ditinjau dari dua sudut pandang yang berbeda dalam menahan gaya. Gaya yang dimaksud di sini

yaitu gaya tekan N_D untuk beton dan baja tekan, gaya tekan total terbagi menjadi dua komponen ialah gaya tekan yang ditahan oleh beton N_{D1} dan gaya yang ditahan oleh tulangan baja tekan N_{D2} . Sehingga untuk menganalisis momen tahan dalam dari balok diperhitungkan dua kopel momen dalam, yaitu kopel pasangan beton tekan dengan tulangan baja tarik dan pasangan tulangan baja tekan dengan ditambah tulangan baja tarik sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 16. Kuat momen total balok bertulangan rangkap merupakan penjumlahan dari kedua kopel momen dalam.



Gambar 16. Analisa tulangan rangkap

Kuat momen dari pasangan kopel tulangan baja tekan dan baja tarik tambahan dapat dihitung dengan persamaan:

$$M_{n2} = N_{T2} Z_2 \dots\dots\dots (3)$$

Dengan asumsi bahwa tulangan baja tarik telah luluh terlebih dahulu maka dianggap $f_s = f_y$ sehingga persamaan (3) menjadi:

$$M_{n2} = A_{s2} f_y (d - d') \dots\dots\dots (4)$$

Keseimbangan gaya-gaya: $\Sigma(H) = 0$, sehingga $N_{D2} = N_{T2}$, maka:

$$A_{s'} f_{s'} = A_{s2} f_y \dots\dots\dots (5)$$

Dengan asumsi bahwa tulangan baja tekan telah luluh terlebih dahulu maka $f_s' = f_y$ sehingga persamaan (5) menjadi:

$$A_s' f_y = A_{s2} f_y \dots\dots\dots (6)$$

dimana: $A_s' = A_{s2}$

Maka setelah disubstitusikan, persamaan dapat ditulis sebagai berikut: $M_{n2} = A_s' f_y (d - d') \dots\dots\dots (7)$

Sementara untuk menentukan kuat momen dari pasangan kopel gaya beton tekan dan tulangan baja tarik dihitung sebagai berikut:

$$M_{n1} = N_{T1} Z_1 \dots\dots\dots (8)$$

Dengan asumsi bahwa tulangan baja tarik telah luluh terlebih dahulu, maka dianggap $f_s = f_y$ sehingga persamaan (8) menjadi:

$$M_{n1} = A_{s1} f_y \left(d - \frac{1}{2} a \right) \dots\dots\dots (9)$$

Karena: $A_s = A_{s1} + A_{s2}$ maka $A_{s1} = A_s - A_{s2}$

$A_{s2} = A_s'$ maka $A_{s1} = A_s - A_s'$

Setelah disubstitusikan maka persamaan dapat ditulis sebagai berikut: $M_{n1} = (A_s - A_s') f_y \left(d - \frac{1}{2} a \right) \dots\dots\dots (10)$

Dengan menjumlahkan kedua momen kopel tersebut akan diperoleh kuat momen ideal balok beton bertulangan rangkap sebagai berikut: ; $M_n = M_{n1} + M_{n2} = (A_s - A_s') f_y \left(d - \frac{1}{2} a \right) + A_s' (d - d') \dots\dots(11)$

Momen tahanan M_R diperoleh dengan mengalikan faktor reduksi kekuatan terhadap momen nominal M_n sehingga dapat ditulis sebagai berikut: $M_R = \Phi M_n \dots\dots\dots(12)$

Asumsi tersebut dengan mengacu pada anggapan dasar bahwa kedua penulangan baik tekan maupun tarik telah meluluh sebelum atau paling tidak pada saat regangan beton mencapai 0,003. Keadaan ini dapat dianalisa namun tergantung pada posisi garis netral penampang balok beton bertulang.

Letak atau posisi garis netral dapat ditentukan dengan terlebih dahulu menghitung tegangan beton tekan.

$$N_T = N_{D1} + N_{D2}$$

$$A_s f_y = (0,85 f_c') ab + A_s f_s'$$

$$a = \frac{(A_s - A_{s'}) f_y}{(0,85 f_c') b} \text{ atau } a = \frac{A_{s1} f_y}{(0,85 f_c') b} \dots\dots\dots (13)$$

Setelah tinggi blok tegangan beton tekan diperoleh (a), maka letak garis netral juga dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$a = \beta_1 c \dots\dots\dots (14)$$

6. Analisa tulangan geser

Perencanaan geser untuk bagian struktur terlentur berdasarkan anggapan bahwa beton dapat menahan sebagian sdari gaya geser, sedangkan kekuatan geser di atas kemampuan beton untuk menahan geser dilimpahkan kepada tulangan baja geser. Cara yang umum dipakai dan dilaksanakan untuk penulangan geser adalah dengan menggunakan tulangan sengkang, dimana selain pemasangan sengkang mudah dan pengaturan jarak lebih tecepat.

Untuk komponen-komponen yang menahan gaya geser dan lentur saja, persamaan 13.3.1.1 SK. SNI. 03-2847-2002 memberikan kapasitas kemampuan beton untuk menahan gaya geser V_c adalah sebagai berikut:

$$V_c = \left(\frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \right) b_w d \dots\dots\dots (15)$$

Dapat juga dengan menggunakan persamaan yang lebih terinci sebagai berikut:

$$V_c = \left(\sqrt{f_c'} + 120 \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) \frac{b_w d}{7} \dots\dots\dots (16)$$

dimana M_u adalah momen terfaktor yang terjadi bersama gaya geser terfaktor maksimum V_u pada penampang kritis, sedangkan batas atas faktor pengali dari V_c adalah sebagai berikut:

$$\frac{V_u d}{M_u} \leq 1,0 \dots\dots\dots (17)$$

$$V_c \leq 0,30 \sqrt{f_c'} b_w d \dots\dots\dots (18)$$

Bila diketahui gaya geser yang bekerja V_u lebih besar dari kapasitas geser beton ΦV_c maka diperlukan tulangan geser, namun jika geser yang bekerja di sembarang tempat sepanjang beton lebih besar dari $\frac{1}{2}\Phi V_c$ peraturan mengharuskan memasang tulang geser minimum.

Untuk sengkang vertikal, V_s , dapat ditentukan dengan menggunakan ketentuan 13.5.6.2 SK. SNI. 03-2847-2002 sebagai berikut:

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \dots\dots\dots (19)$$

7. Analisa lendutan pada balok

SK. SNI. 03-2847-2002 merekomendasikan perhitungan lendutan dengan menggunakan momen inersia efektif I_e , dengan syarat sebagai berikut: $I_{cr} < I_e < I_g$

$$\text{dimana: } I_g = \frac{1}{12} b h^3 \dots\dots\dots (20)$$

$$I_{cr} = \frac{1}{3} b y^3 + n A_s (d - y)^2 + n A_s' (y - d)^2 \dots\dots\dots (21)$$

dengan:

$$n = \frac{E_s}{E_c} \dots\dots\dots (22)$$

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left\{ 1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right\} I_{cr} \dots\dots\dots (23)$$

dengan:

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} \dots\dots\dots (24)$$

untuk beton normal:

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} \dots\dots\dots (25)$$

Lendutan komponen struktur merupakan fungsi dari panjang bentang, perletakan dan kondisi ujung bentang sederhana, jenis beban baik beban terpusat ataupun beban merata dan kekakuan lentur komponen. Untuk menentukan lendutan maksimum dapat diselesaikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta = \frac{kW (l_n)^3}{48 E_c I_e} \dots\dots\dots (26)$$

8. Pengendalian retak pada balok

Retak terjadi pada umumnya menunjukkan bahwa lebar celah retak sebanding dengan besarnya tegangan yang terjadi pada batang tulangan baja tarik dan beton pada ketebalan tertentu yang menyelimuti batang baja tersebut.

Meskipun retak tidak dapat dicegah, namun ukurannya dapat dibatasi dengan cara menyebar atau mendistribusikan tulangan. Dengan kata lain, berarti retak lebih kecil akan terjadi jika beberapa tulangan kecil digunakan dengan jarak yang sedang dibandingkan dengan menggunakan lebih sedikit tulangan besar dengan jarak yang lebar. Untuk menentukan lebar retak maksimum yang akan terjadi pada permukaan tarik batang lentur dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

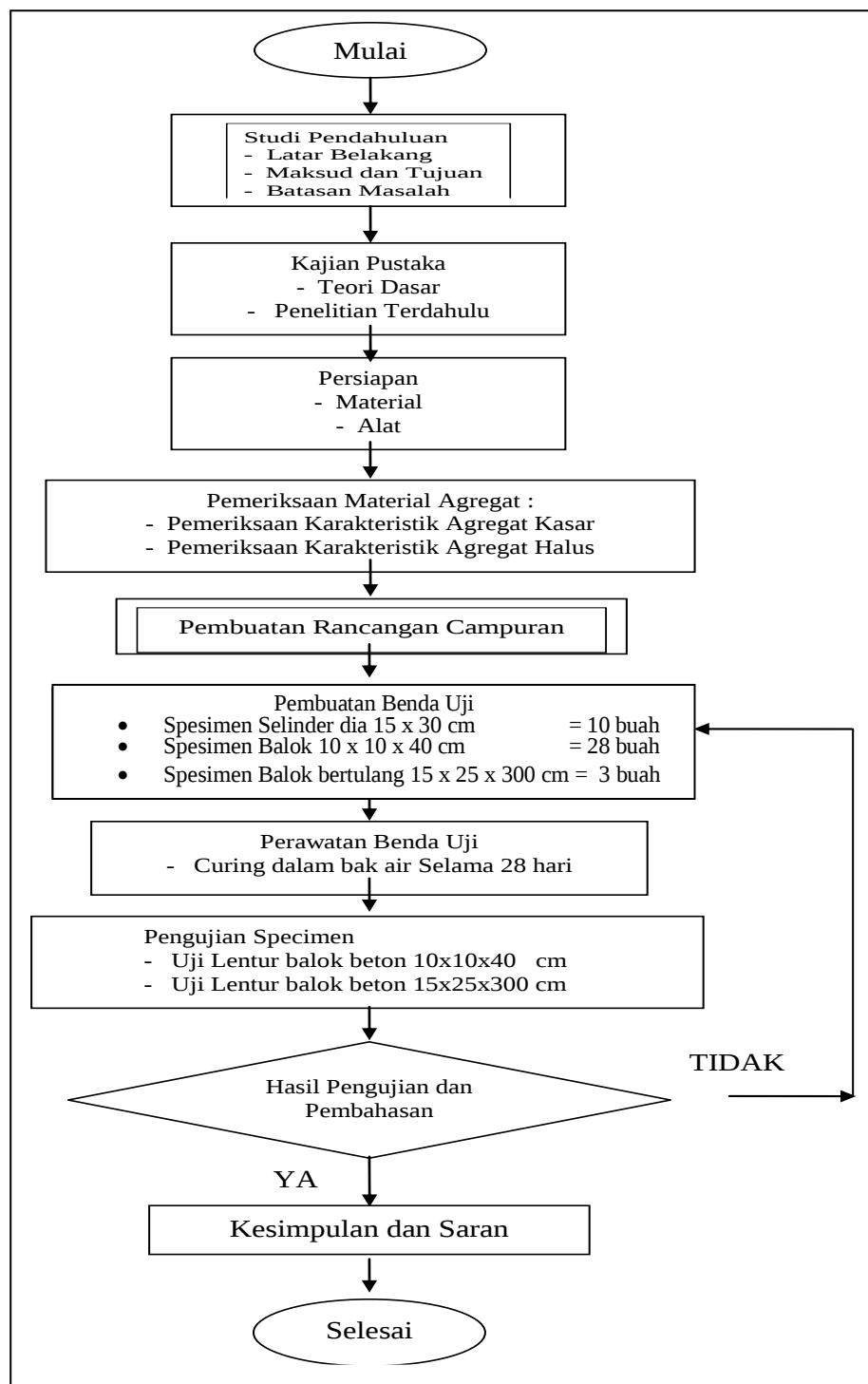
$$W = 0,076 \beta_h f_s \sqrt[3]{d_c A} \dots\dots\dots (27)$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. BAGAN ALIR PENELITIAN

Secara garis besar tahapan pelaksanaan dari metode dan proses penelitian yang digunakan dapat dilihat dalam gambar 17 berikut ini :



Gambar 17. Diagram Alir Metodologi Penelitian

B. JENIS PENELITIAN DAN DISAIN PENELITIAN

1. Jenis penelitian

Jenis penelitian ini adalah selain kajian pustaka juga dilakukan uji eksperimental tentang pengaruh serat baja terhadap kuat lentur balok beton bertulang. Untuk mencai tujuan dari penelitian ini, maka perlu direncanakan tahapan pelaksanaan.

2. Tahapan penelitian

Tahapan – tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- **Uji karakteristik bahan beton**

Pengujian ini terdiri dari : pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur, modulus elastisitas berdasarkan hasil mix desain dengan menggunakan metode Self Compacting Concrete (SCC).

- **Uji karakteristik bahan baja tulangan**

Pengujian ini meliputi pengujian kuat tarik baja tulangan ulir diameter 19 mm dan 10 mm yang akan di gunakan sebagai tulangan longitudinal. Adapun tulangan geser menggunakan tulangan polos diameter 8 mm. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tegangan leleh dan modulus elastisitas baja.

- **Disain pendahuluan penelitian balok**

- a. Perhitungan lentur balok beton 10 x 10 x 40

- Balok beton normal
- Balok beton SCC dengan serat 0%

- Balok beton SCC dengan serat 1%
 - Balok beton SCC dengan serat 2%
 - Balok beton SCC dengan serat 3%
 - Balok beton SCC dengan serat 4%
 - Balok beton SCC dengan serat 5%
- b. Perhitungan lentur balok beton bertulang normal
- c. Perhitungan lentur balok beton bertulang SCC
- d. Perhitungan lentur balok beton bertulang SCC dengan Serat Maksimum yang diperoleh dari pengujian lentur balok 10 x 10 x 40 cm
- e. Tahap balok sebelum mengalami retak
- f. Tahap balok sesudah mengalami retak (Tegangan Elastis)
- g. Tahap keruntuhan balok (Tegangan Ultimit)
- h. Perhitungan tulangan geser
- i. Perhitungan lendutan maksimum balok

C. LOKASI DAN WAKTU PENELITIAN

1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Struktur, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

2. Waktu Penelitian

Lama penelitian dilaksanakan selama 8 bulan (Juni 07 - Feb 2008)

D. ALAT DAN BAHAN PENELITIAN

1. Alat Penelitian

a. Alat untuk pengujian bahan

- *Universal testing Machine* kapasitas 100 ton.
- Alat uji lentur kapasitas 1 ton
- Mesin Pencampur bahan (*Mixer*)
- Cetakan berbentuk silinder 15 cm x 30 cm
- Cetakan balok ukuran 10 cm x 10 cm x 40 cm
- *Frame* uji modulus elastisitas
- *Slump flow test*
- *Frame* uji tarik belah
- *Dial gauge* dengan ketelitian 0.01 mm
- Neraca
- Bak perendaman
- Meteran

b. Alat untuk pengujian balok beton bertulang

- Mesin pencampur bahan beton kapasitas 0.5 m³
- Alat uji lentur balok beton bertulang kapasitas 35 ton
- Gergaji
- Palu
- Meteran
- Alat pendeteksi lebar retak

2. Bahan Penelitian

- Semen Portland tipe I

- Agregat halus yang digunakan pasir Bili – bili (sesuai standar SII. 0052 – 80)
- Agregat kasar yang digunakan batu pecah dari Bil – bili (sesuai standar SII. 0052 – 80)
- Air yang digunakan untuk campuran adalah air dari PDAM Makassar
- *Serat baja*
- *Additive Glenium 311*
- *Additive Pozolit*
- *Besi diameter 19 – U32*
- *Besi diameter 10 – U24*
- *Besi diameter 8 – U24*

E. PROSEDUR PENELITIAN

Prosedur penelitian dilakukan dalam beberapa tahap, diantaranya :

1. Pengujian bahan

- a. Pengujian kuat tekan silinder, kuat tarik belah silinder dan uji tarik tulangan baja menggunakan *Universal Testing Machine* kapasitas 100 ton mengikuti standar ASTM C39 - 01 dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. *Universal Testing Machine*

Pengujian kuat lentur balok menggunakan *Flexural Compressor Machine* kapasitas 2000 kg mengikuti standar ASTM C293 – 02 dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. *Flexural Compressor Machine*

- c. Pengujian nilai modulus elastisitas dilakukan dengan menggunakan Combined Compressometer Extensometer mengikuti standar ASTM C469 - 02. dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar. 19. *Combined UTM and ME frame*

2. Pengujian balok beton bertulang

Balok beton bertulang yang dijadikan obyek dalam penelitian ini adalah balok beton bertulangan rangkap yang terdiri dari 3 buah benda uji dengan menggunakan tanpa dan dengan bahan tambah additive serta bahan tambah aditive dan serat baja. Dari hasil pengujian benda uji serat yang diperoleh dari serat maksimum pada pengujian balok 10 x 10 x 40 cm yang sebagai benda uji balok beton bertulang dengan bahan tambah additive dan serat baja. Sebagai bahan pembanding dibuat benda uji balok beton bertulang tanpa serat baja (0 %) tanpa bahan additive dan dengan bahan additive dengan komposisi campuran beton dan ukuran yang sama.

Pengujian ke-3 balok beton bertulang dilakukan dengan *single point loading* yang bersifat statik dengan pembebanan secara monotonik hingga balok runtuh, dapat dilihat pada Gambar 20 dan Gambar 21.

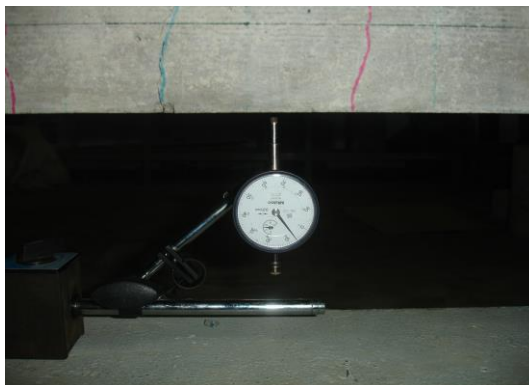


Gambar 20. Rangka baja uji lentur



Gambar 21. Pompa hidrolik uji lentur

Untuk mengetahui lendutan di gunakan *Dial gauge* dengan ketelitian 0.01 mm , lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 22. Alat pengukur lendutan

F. VARIABEL PENELITIAN

Dalam penelitian ini variabel yang akan diteliti adalah variabel bebas terdiri dari :

- Balok beton 10 x 10 x 40 cm 0% additive dan serat baja
- Balok beton 10 x 10 x 40 cm dengan additive dan 0% serat baja
- Balok beton 10 x 10 x 40 cm dengan additive dan 1% serat baja
- Balok beton 10 x 10 x 40 cm dengan additive dan 2% serat baja
- Balok beton 10 x 10 x 40 cm dengan additive dan 3% serat baja
- Balok beton 10 x 10 x 40 cm dengan additive dan 4% serat baja
- Balok beton 10 x 10 x 40 cm dengan additive dan 5% serat baja
- Balok beton bertulang normal 0% additive dan serat baja (NRCB)
- Balok beton bertulang ditambah bahan additive dan *serat baja* 0 % (NRCB - A)
- Balok beton bertulang ditambah bahan additive dan *serat baja* yang diperoleh dari hasil pengujian serat maksimum pada balok 10 x 10 x 40 cm (1%, 2%, 3%, 4% ,5 %) (FRCB)

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian yang diperoleh melalui pengujian karakteristik bahan pembentuk beton dan kuat lentur balok beton bertulang yang meliputi : pengujian karakteristik agregat kasar, agregat halus, beton segar (*fresh concrete*) dan beton keras (*hardened concrete*). Dari pengujian beton segar diperoleh hasil berupa nilai slump sedangkan beton keras diperoleh hasil berupa nilai kuat tekan (f_c'), kuat tarik belah (*splitting*), kuat lentur dan modulus elastisitas pada umur 28 hari. Adapun untuk pengujian kuat lentur balok beton bertulang meliputi : pengujian kuat lentur, kekakuan, lendutan, pola retak dan pola keruntuhan pada umur 52 hari.

Dari hasil penelitian adalah sebagai berikut :

A. HASIL PENGUJIAN BAHAN

1. Angregat Halus

Tabel 3. hasil pemeriksaan karakteristik agregat halus

No	Karakteristik Agregat halus	Interval Batas	ASTM	Hasil uji laboratorium	Keterangan
1	Kadar Impur	0,2 - 6,0 %	C117	4,61	Memenuhi
2	Kadar organik	warna pembeding	C40	Lebih muda warna pembeding	Memenuhi
3	Kadar air	3,0 - 5,0 %	C556	4,62	Memenuhi
4	Berat Volume	1,4 - 1,9 %	C29	1,46	Memenuhi
5	Absorpsi	0,2 - 2,0 %	C128	5,76	Tdk Memenuhi
6	Berat jenis	1,6 - 3,2 %	C128	2,544	Memenuhi
7	Modulus kehalusan	2,2 - 3,1 %	C128	2,86	Memenuhi

2. Agregat kasar

Tabel 4. Hasil pemeriksaan karakteristik agregat kasar

No	Karakteristik Agregat kasar	Interval batas	ASTM	Hasil uji laboratorium	Keterangan
1	Kadar lumpur	0,2-1,0 %	C117	0,67	Memenuhi
2	Kadar air	0,5-2,0 %	C556	0,87	Memenuhi
3	Berat volume	1,6-1,9 %	C29	1,37	Memenuhi
4	Absorpsi	0,2-4,0 %	C127	1,97	Memenuhi
5	Berat jenis	1,6-3,2 %	C127	2,593	Memenuhi
6	Modulus kehalusan	5,5-8,8 %	C104	7,94	Memenuhi
7	Keausan	15-50 %	C131	28,05	Memenuhi
8	Mutu Beton > K225	< 27 % aus	PBI 71	28,05	Memenuhi

3. Agregat gabungan

Tabel 5. Penggabungan agregat

No Ayakan	% Lolos			50%	25,20%	24,80%	Gabungan	Batas Gradasi
	Pasir	Cip 1 - 2	Cip 2 - 3	Pasir	Cip 1- 2	Cip 2 - 3		
1,5"	100,00	100,00	100,00	50,00	25,20	24,80	100,00	100,00
3/4"	100,00	94,45	6,00	50,00	25,14	1,49	76,63	50-78
3/8"	100,00	30,90	0,40	50,00	8,49	0,10	58,59	30-60
4	98,60	8,20	0,03	37,47	3,05	0,10	40,62	25-46
8	93,00	0,40	0,00	33,34	0,15	0,00	33,49	18-35
16	77,60	0,00	0,00	29,49	0,00	0,00	29,49	12-30
30	32,90	0,00	0,00	12,50	0,00	0,00	12,50	6-12
50	9,80	0,00	0,00	3,72	0,00	0,00	3,72	2-12
100	1,70	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00	0,55	0-6

Berdasarkan angka karakteristik agregat halus (pasir) dan agregat kasar (batu pecah), sebagaimana Tabel 3, 4 dan 5 dapat disimpulkan bahwa agregat tersebut memenuhi syarat. Pengaruh absorpsi atau resapan pasir terhadap komposisi rancangan campuran (*mix design*) disesuaikan pada perhitungan mix design terhadap koreksi jumlah air.

4. Mix Design

Dari hasil perhitungan dan uji coba *mix design* $f_c' = 250 \text{ kg/cm}^2$ dengan menggunakan cara *developmet of environment* (DoE) diperoleh komposisi agregat dan faktor air semen sebagai berikut :

DATA-DATA SEBAGAI BERIKUT :

NO.	DATA-DATA PENGUJIAN	SAT	MIX DISAIN BETON		KET
			K250		
1	Kuat tekan yang disyaratkan	Mpa	=	25	
2	Modulus kehalusan pasir	%	=	2,50 %	
3	Modulus kehalusan kerikil	%	=	7,29 %	
4	Ukuran maksimum agregat	Mm	=	20 mm	
5	Berat jenis spesifik SSD pasir		=	2,544	
6	Berat jenis spesifik SSD kerikil		=	2,593	
7	Kadar air pasir (Wp)	%	=	3,47 %	
8	Kadar air kerikil (Wk)	%	=	1,10 %	
9	Absorpsi pasir (Rp)	%	=	1,63 %	
10	Absorpsi kerikil (Rk)	%	=	1,42 %	
11	Prosentase gabungan tebaik agregat untuk SCC :				
a	Pasir	%	=	50%	
b	Kerikil	%	=	50%	
12	Volume selinder diameter 15 x 30 cm	M ³	=	0,0053	
	Volume balok 10 x 10 x 40 cm	M ³	=	0,0040	
	Volume balok 15 x 25 x 300 cm	M ³	=	0,1125	
13	a. Menghitung Kuat Tekan Rata-rata Sesuai SNI 03-2874-2002 tentang tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung halaman 24 dari 278. jika jumlah contoh pengujian kurang dari 15 contoh dan kuat tekan f'c lebih dari 35 Mpa maka kuat tekan rata-rata perlu, f'cr adalah : f'cr = f'c + 10,00 (Mpa) f'c + M (dimana M = 1,645 x Sr , Sr = 80 Kg/cm2) M = 13,16 Mpa = 131,60 Kg/Cm2 f'cr = 250 +131,6 Mpa = 381,60 Mpa				
		Mpa	=	25	
		kg/cm ²	=	381,6	
14	b. Penetapan faktor air semen				
	Dari grafik faktor air semen (fas) dan kuat tekan dari SNI 2002 diperoleh untuk kuat tekan 356,6 kg/ cm ² diperoleh fas = 0,50 Fas				
			=	0,50	
15	c. Penetapan kadar air bebas Kadar air bebas ditentukan dari tabel hubungan slump awal dengan kadar air bebas (Neville, 2000, halaman 753)				
	Diestimasi slump awal adalah 10 cm	Cm	=	10	
	Kadar air bebas keseluruhan 190 kg (Neville, 2000, halaman 753) = 2/3 Wf + 1/3 Wc (Wf = 160 & Wc = 190)	Kg/M ³	=	205,00	
	Berdasarkan hasil trial mix/error and mix diperoleh kebutuhan air untuk 1m ³ SCC dibutuhkan kg air. = 205 kg				

16	d. Penetapan kadar semen (kg untuk 1 m ³ beton) Kadar semen =kadar air bebas / faktor air semen (kg)	Kg/M ³	= 410,00	
17	e. Perhitungan volume agregat (batu pecah + pasir) untuk 1 m ³ beton Vol Agregat 1000 lt – volume air – volume semen (liter) Dimana volume semen	Liter Kg	= 664,427 = 410	
18	f. Perhitungan berat pasir dan batu pecah untuk 1 m ³ beton			
	Volume pasir = Volume batu pecah			
	Berat batu pecah = 0,5 x 664,427 x 2,593			
	Volume batu pecah x berat jenis batu pecah (kg) x 0,5	Kg	= 861,429	
	Berat pasir = 0,5 x 664,427 x 2,554			
	Volume pasir x berat jenis pasir (kg)	Kg	= 845,151	
19	g. Perhitungan chemical admixture yang dibutuhkan untuk 1 m ³ beton			
a	Superplasticizer (GLENIUM 311)			
	Superplasticizer yang digunakan adalah 1,5 % dari berat semen yang digunakan. Jumlah yang diperoleh dari hasil trial mix			
	1,5 % x Kadar semen (kg)	Kg	= 6,150	
		Liter	= 6,150	
b	Retarder (POZZOLIT)			
	Retarder yang digunakan adalah 0,5 % dari berat semen.			
	Jumlah yang diperoleh dari hasil trial mix			
	0,5 % x Kadar semen (kg)	Kg	= 2,050	
		Liter	= 2,050	
20	h. Perhitungan Mix Desain			
	1. Air (Wa) (Kg/M3 Beton)	Kg/M ³	= 196,800	
	2. Semen (Ws) (Kg)	Kg	= 410,000	
	3. Pasir (BSSDp) (Kg)	Kg	= 845,151	
	4. Batu Pecah (BSSDk) (Kg)	Kg	= 861,429	
	5. GLENIUM 311 (Liter)	Liter	= 6,150	
	6. POZZOLIT (Liter)	Liter	= 2,050	
	7. Air (Wa) (Kg/M3 Beton) ut beton normal	Kg/M ³	205,00	

Tabel 6. Komposisi kebutuhan bahan campuran beton untuk 1 m³

NO	VARIASI SERAT	BERAT (kg)							FAS
		KERIKIL	PASIR	SEMEN	AIR	ADDITIVE		STEEL FIBER	
						GLENIUM	POZZOLIT		
1.	NRCB	861,429	845,151	410,00	205	0	0	0	0,5
2.	NRCB – A	861,429	845,151	410,00	196,80	6,150	2,050	0	0,5
3.	FRCB – 1 %	861,429	845,151	410,00	196,80	6,150	2,050	4,10	0,5
4.	FRCB – 2 %	861,429	845,151	410,00	196,80	6,150	2,050	8,20	0,5
5.	FRCB – 3 %	861,429	845,151	410,00	196,80	6,150	2,050	12,30	0,5
6.	FRCB – 4 %	861,429	845,151	410,00	196,80	6,150	2,050	16,40	0,5
7.	FRCB – 5 %	861,429	845,151	410,00	196,80	6,150	2,050	20,50	0,5

5. Serat baja

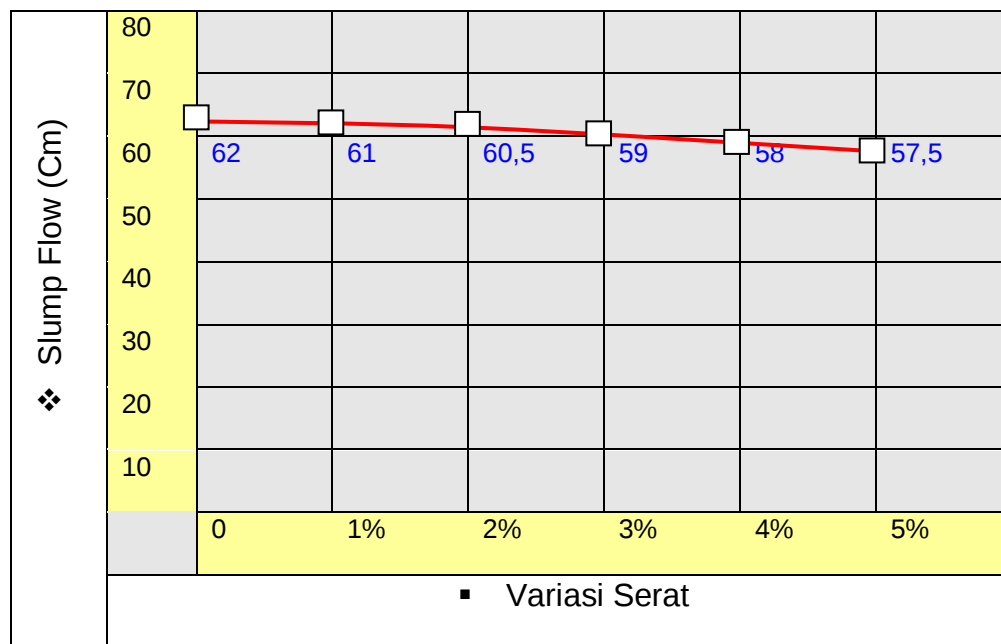
Dari pengujian tarik serat baja diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 7. Hasil pemeriksaan karakteristik serat baja

NO	KARATERISTIK SERAT BAJA	HASIL PENGUJIAN
1.	Diameter	0,8 Mm
2.	Berat Jenis	7,25 t/m ³
3.	Kuat tarik	120 kg/cm ²
4.	Perpanjangan	27,78 %

6. Slump Flow beton segar

Pengukuran slump dilakukan untuk mengetahui kelecakan (*workabilitas*) adukan beton. Kelecakan adukan beton merupakan ukuran dari tingkat kemudahan campuran untuk diaduk, diangkut, dituang dan dipadatkan tanpa menimbulkan pemisahan bahan penyusun beton. Tingkat kelecakan ini dipengaruhi oleh komposisi campuran, kondisi fisik dan jenis bahan pencampurnya. Pengaruh penambahan serat baja terhadap nilai slump dapat dilihat pada Gambar. 23.

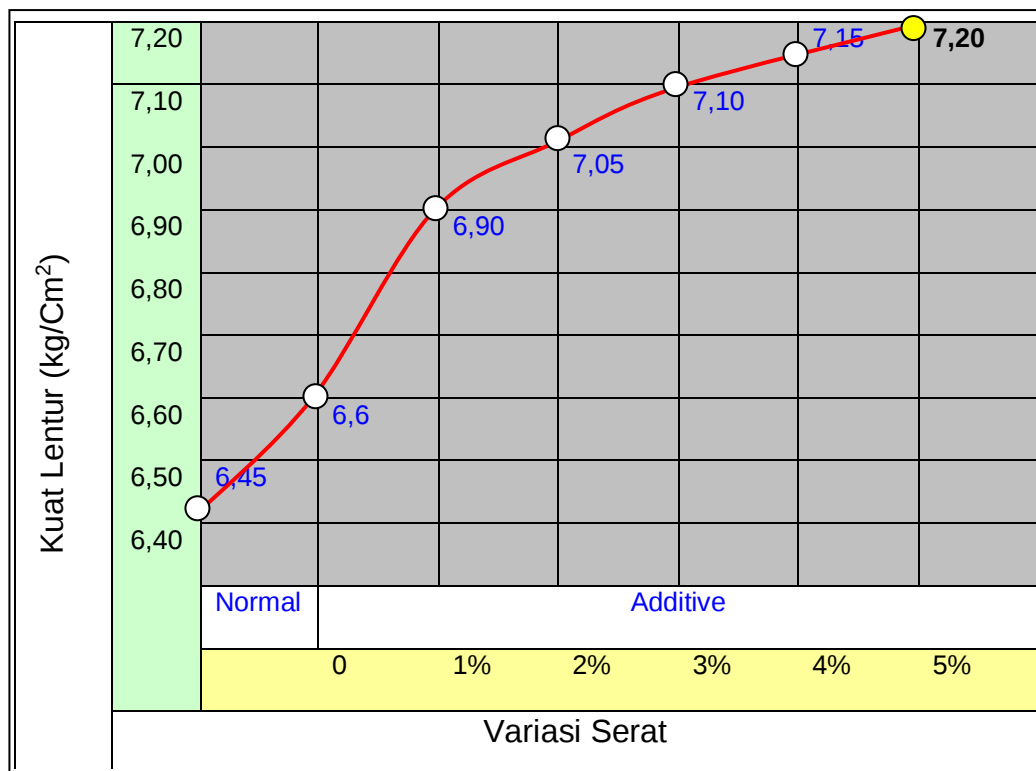


Gambar. 23 Pengaruh serat terhadap slump

Dari Gambar. 23 terlihat bahwa semakin besar variasi serat yang di tambahkan pada campuran beton maka tingkat kelecakan (*workabilitas*) adukan beton akan semakin rendah.

7. Kuat lentur balok 10 x 10 x 40 cm (f_r')

Hasil pengujian kuat lentur balok beton pada umur 28 hari dapat dilihat pada Gambar. 24.



Gambar. 24 Pengaruh serat terhadap kuat lentur

Hasil pengujian menunjukan nilai kuat lentur beton di tambah serat baja menghasilkan nilai maksimum pada penambahan serat 5 % atau mengalami peningkatan 20,8 % dari beton normal dan terendah pada penambahan serat 1 %, namun masih lebih besar dari kuat lentur beton normal. Sedangkan nilai kuat lentur pada beton additive mengalami peningkatan 4,5 % dari kuat lentur beton normal.

B. HASIL PENGUJIAN BALOK TERHADAP KUAT LENTUR

Hasil uji pembebanan pada balok beton bertulang tanpa serat dan yang ditambah serat baja adalah sebagai berikut :

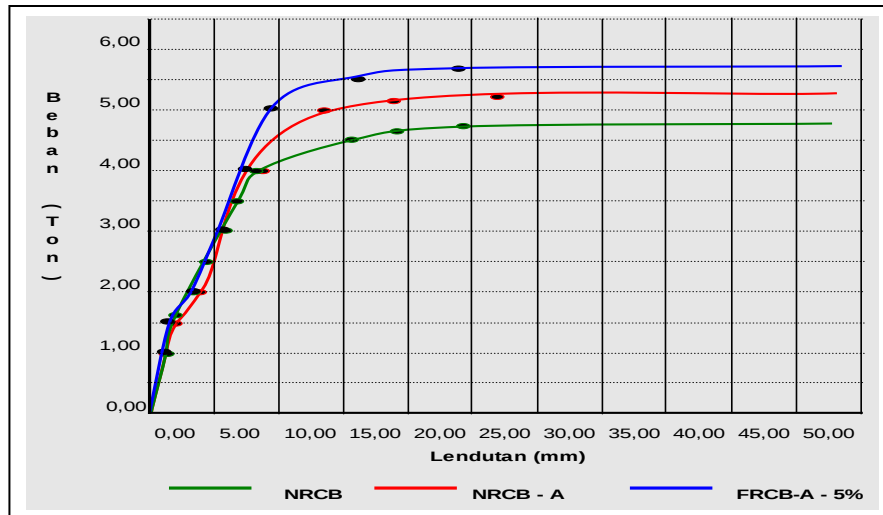
Tabel 8. Hasil uji pembebanan balok beton bertulang

		EXPERIMEN		
		NRCB	NRCB + ADDITIVE + SERAT	FRCB + ADDITIVE + SERAT
		0%	0%	5%
1.	Kuat lentur (Mpa)	22,56	24,96	27,84
2.	Momen Max. (ton.m)	2,940	3,250	3,630
3.	Beban retak, Pcr (ton)	1,400	1,500	1,600
4.	Beban leleh, Py (ton)	4,500	5,000	5,400
5.	Beban Ultimit, Pu (ton)	4,700	5,200	5,800
6.	Lendutan pada saat retak awal, Δ_{cr} (mm)	2,00	1,74	1,67
7.	Lendutan pada saat Leleh, Δ_y (mm)	15,42	13,95	10,13
8.	Lendutan pada saat Beban ultimit, Δ_u (mm)	29,00	25,58	24,35
9.	Daktilitas Lendutan	2,00	2,48	2,79
	Daktilitas Kurvatur	1,034	1,015	1,003
10.	Lebar retak awal, Wcr (mm)	0,16	0,15	0,11
11.	Lebar retak Ultimit, Wu (mm)	3,00	2,60	2,20
12.	Rerata Panjang retak (mm)	3,7 - 27,6	3,6 - 26,0	2,7 - 25,2
13.	Rerata Sudut retak terhadap sumbu vertikal (°)	21,6	15,4	7,7

1. Kuat lentur

Dari Tabel 8. di atas terlihat jelas bahwa beban retak pada beton normal lebih kecil dari beton additive, demikian halnya dengan beton additive ditambah serat (bendrat) 5%, dan beban leleh maksimum terjadi pada penambahan serat 5 % dengan mengalami peningkatan sebesar 20,00 % terhadap beton normal dan 11,11 % terhadap beton additive tanpa serat. Demikian halnya dengan beban ultimit. Beton serat mengalami peningkatan kuat lentur 23,40 % terhadap beton normal dan

10,64 % terhadap beton additive. Sedangkan kondisi yang terjadi pada lendutan akibat beban dengan lendutan maksimum terjadi pada beton normal sebesar 16,03 % dan beton additive 11,79 % terhadap beton serat 5%. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar. 25.

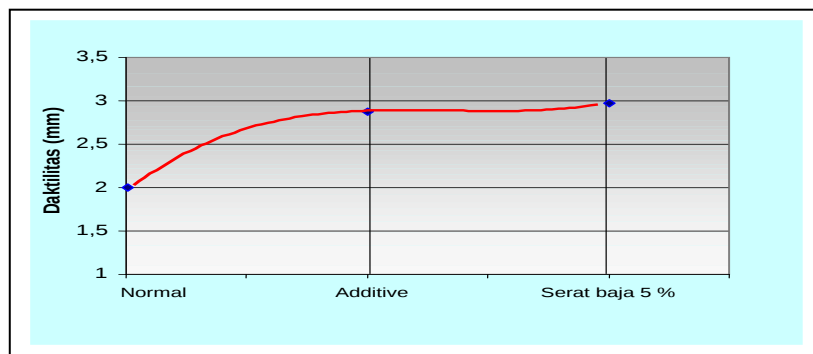


Gambar. 25 Hubungan beban dan lendutan

2. Daktilitas

Pada Tabel 8. dapat terlihat dengan jelas perbedaan daktilitas antara beton bertulang normal dengan yang ditambah serat. Untuk menentukan nilai daktilitas masing-masing benda uji dapat dihitung dari kurva beban – lendutan dan kurva hubungan momen - kelengkungan.

Balok beton bertulang normal mempunyai daktilitas lendutan masing-masing lebih kecil 24,00 % dari beton additive, lebih kecil 39,50 % dari beton serat 5% dengan daktilitas tertinggi terjadi pada beton bertulang ditambah serat 5 % sebesar 1,39 kali lebih besar dari beton normal, sedangkan yang terjadi akibat momen terhadap kelengkungan daktilitas tertinggi terjadi pada penambahan serat baja 5 % sebesar 3,00 % dari beton normal. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar. 26.



Gambar. 26 Pengaruh serat terhadap daktilitas

3. Pola retak

Pola retak diamati berdasarkan model retak yang dapat dilihat pada grid-grid balok beton bertulang. Pada balok beton normal, retak pertama terjadi pada posisi di bawah beban, tepatnya serat bawah penampang bagian tengah balok pada saat P_{cr} 1,4 ton demikian pula selanjutnya dengan balok beton additive pada saat P_{cr} 1,5 ton, dan beton serat 5% retak awal terjadi pada saat balok beton bertulang menerima beban P_{cr} 1,6 ton.

Dari hasil pengamatan retakan sebagaimana terlampir dalam Tabel 8. pada ke-3 balok tersebut terlihat bahwa panjang retak pertama berkisar antara 3,76 – 27,6 mm dengan lebar retak 0,06 – 0,16 mm untuk beton normal, panjang retak pertama berkisar antara 3,60 – 26,00 mm dengan lebar retak 0,04 – 0,15 mm untuk beton additive dan panjang retak pertama berkisar antara 2,70 – 25,20 mm dengan lebar retak 0,02 – 0,11 untuk beton serat 5 %. Dilihat dari posisi awalnya, retak tergolong jenis retak lentur (*flexural crack*) yang mana pola retaknya membentuk garis vertikal sejajar dengan garis sumbu tegak lurus terhadap sumbu panjang balok. Seiring dengan meningkatnya penambahan beban maka

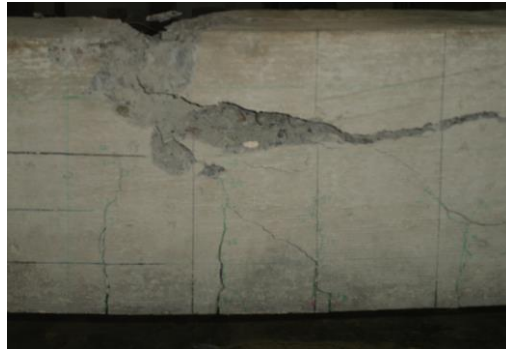
semakin banyak retakan yang terjadi di sepanjang bentangan balok, pola retak yang terjadi mengalami perubahan kemiringan dengan membentuk sudut masing – masing $68,4^\circ$ untuk beton normal, $74,6^\circ$ untuk beton additive, dan $82,3^\circ$ untuk beton serat 5 % terhadap sumbu horisontal balok. Setelah retak lentur terjadi, kemudian retak dikendalikan oleh adanya tulangan tarik sementara pertambahan lebar retak secara berkesinambungan berkembang seiring dengan bertambahnya beban. Untuk lebih jelasnya mengenai perbedaan pola retak beton normal dan beton serat dapat di lihat pada Gambar. 27, Gambar. 28 dan Gambar. 29.



Gambar. 27 Pola retak beton normal



Gambar. 28 Pola retak beton additive



Gambar.29 Pola retak beton serat 5%

4. Pola Runtuh

Model keruntuhan ke-3 balok uji dapat diperiksa secara *visual* dari pola retak sesudah keruntuhan. Pola keruntuhan ke-3 balok uji ini dapat di kategorikan sebagai keruntuhan tarik (*tension failure*) dimana tulangan tarik terlebih dahulu mencapai kekuatan leleh yang di ikuti dengan terjadinya penambahan kelengkungan yang besar pada momen lentur sampai akhirnya beton hancur. Pada Gambar. 27, untuk beton normal memperlihatkan pola keruntuhan geser (*shear failure*) adapun pada Gambar. 28, untuk beton additive memperlihatkan pola keruntuhan geser (*shear failure*) dan Gambar. 29, untuk beton serat memperlihatkan pola keruntuhan lentur (*flexural failure*) dengan di dominasi oleh momen lentur. Beban ultimit yang dapat dicapai masing - masing adalah 4,7 ton untuk beton normal, 5,2 ton untuk beton additive, dan 5,8 ton untuk beton serat 5 % sampai beton mengalami hancur pada bagian atas tengah bentang. Pada beton normal dan beton additive sebelum beton runtuh terdengar suara ledakan keras dan serat atas terlepas berbeda dengan beton serat sebelum keruntuhan balok terjadi suara tidak terlalu keras

sedangkan serat atas tidak terlepas dengan di tandai tulangan tekan mengalami tekuk keatas, untuk lebih jelas dapat di lihat pada Gambar. 30 dan Gambar. 31.



Gambar. 30 Pola runtuh balok beton bertulang



Gambar. 31 Tulangan tekan tertekuk keatas

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat di ambil beberapa simpulan sebagai berikut :

1. Penambahan serat baja (bendrat) menunjukan pengaruh yang cukup signifikan terhadap peningkatan kuat lentur sebesar 23,40 % terhadap beton normal .
2. Balok beton bertulang dengan di tambah serat baja 5 % mempunyai nilai daktilitas terhadap lendutan yang paling tinggi pengaruhnya sebesar 1,39 kali atau 39,50% dari balok beton bertulang normal.
3. Penambahan serat baja pada balok beton bertulang terbukti berpengaruh terhadap pola retak, terutama perbedaan pada lebar retak dengan mengalami pengurangan 0,02 mm – 0,11 mm dan panjang retak mengalami perpendekan 2,7 mm – 25,2 mm demikian pula sudut retak lebih besar 13,9 ° dari beton bertulang normal terhadap sumbu horisontal.
4. Penambahan serat baja pada balok beton bertulang juga berpengaruh terhadap pola keruntuhan balok, pada balok beton bertulang normal dan balok beton bertulang additive pola keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan geser (*shear failure*) sedang pada balok beton bertulang ditambah serat memiliki pola keruntuhan lentur (*flexural failure*).

B. SARAN

Berdasarkan simpulan di atas, maka diajukan beberapa saran sebagai berikut :

1. Disarankan pada waktu penambahan serat kedalam campuran beton dilakukan setelah slump tes diperoleh sesuai dengan yang diinginkan dan kemudian serat di masukkan secara merata kedalam mixer yang sementara berputar.
2. Agar penelitian lebih akurat terutama dalam menganalisa regangan beton dan regangan tulangan disarankan menggunakan *strain gauge*.
3. Agar pembacaan lendutan lebih akurat disarankan menggunakan *linear varying displacement transducers (LVDT)*.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI. 2005. *Building Code Requirement for Structural Concrete (ACI 318 M – 05) and Comentary (ACI 318 M – 05/318 R – 05)*, Amirican Concrete Institute.
- Chen, J.F., and Teng, J.G. 2003. *Shear Capacity of Fiber – Reinforced Polymer – Strengthened Reinforced Concrete Beam : Fiber Reinforced Polymer Ruptur*, Jurnal of Structural Engineering, ASCE., Vol. 129, No. 5, May, pp. 615 – 625.
- Clarke, J.L., Garas, F.K. and Armer, G.S.T., 1985. *Design of Concrete Structures the use of Model Analysis*, Elsevier Applied Scence Publishers Ltd, England.
- Dipohusodo, I., 1996. *Struktur Beton Bertulang, Berdasarkan SK SNI T – 15 – 1991 – 03*, Departemen Pekerjaan Umum RI.
- Departemen Pekerjaan Umum 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung dengan Standar SK SNI 03 – 2847 - 2002*. Badan Standarisasi Nasional.
- Feldman, D., Hartono, A.J. 1995. *Bahan Polimer Konstruksi Bangunan*, Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Gambhir, M.L., 1986. *Concrete Technology*, Tata McGraw Hill Publishing Company, New Delhi.
- Lydon, F.D., 1982. *Concrete Mix Design*, Applied Science Publishers, London.
- McCormac, J.C., 1998. *Design of Reinforced Concrete*, Addison Wesley Longman, Inc., California.
- Mulyono, T., 2004. *Teknologi Beton*, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Neville, A.M., 1981. *Properties of Concrete*, Pitman Publishing Inc., London.
- Nilson, A.H., 1997. *Design of Concrete Structures*, McGraw – Hill Companies, Inc., New York.
- Orchad, D.F., 1982. *Concrete Technology*, Applied Science Publishers, London.
- Pauly, T. and Park, R., 1993. *Reinforced Concrete Structures*, John Wiley & Sons, A Wiley-Interscience Publication, Ney York.

Program Pasca Sarjana Unhas, 2005. *Pedoman Penulisan Tesis dan Disertasi*, Makassar.

Sunggono, 1995. *Buku Teknik Sipil*, Penerbit Nova, Bandung.

Sudirman, 2005. *Pengaruh Serat Ijuk Terhadap Sifat Mekanis Beton*, PPS Unhas.

Tanijaya, J., 2001. *Perilaku Mekanik Balok – T Beton Bertulang Hibrida dengan Bukaan pada Badan Akibat Beban Siklik*, Jurnal Teknik Sipil, Vol. 8, No.1, Jan. Hal. 21 – 28.

Umar, 2005. *Analisi Lentur Pelat Beton Serat Pracetak Dengan Variasi Jarak Tulangan*, PPS Unhas.

Wahjono dan Sarjono, W., 2003. *Pengaruh Penambahan Fiber Bendrat pada Kuat Geser Balok Beton Bertulang Tanpa Senggang*, Jurnal Teknik Sipil, Vol. 3, No. 2, April, Hal. 77 – 83.