

**Pengaruh jenis serat limbah daur ulang produk industri dan
agregat daur ulang terhadap retak akibat shrinkage di umur awal
beton berserat**



Disusun oleh:

**Sandra Wijaya
F.0102109**

**FAKULTAS EKONOMI
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2010**



ABSTRAK

Bagian terbesar dari limbah konstruksi bangunan terdiri dari dinding bata merah dan beton, yang berpotensi untuk dapat di daur ulang sehingga dapat membantu untuk usaha pelestarian lingkungan. Pada penelitian ini limbah beton digunakan sebagai agregat kasar untuk beton daur ulang. Limbah industri yang digunakan sebagai serat adalah kaleng, ban, plastik, hibrida.

Beton serat adalah beton yang dibuat dari campuran semen, air, agregat dan sejumlah serat yang disebar secara acak. Penambahan serat pada beton dengan agregat normal maupun daur ulang adalah salah satu upaya memaksimalkan kinerja beton. Tulisan ini menyajikan pengaruh jenis serat terhadap kemampuan menahan retak di umur awal beton akibat *shrinkage* (penyusutan). Terdapat 10 jenis campuran beton diamati pada pengujian ini. Dua campuran terdiri dari beton tanpa serat dengan agregat normal dan daur ulang. Delapan campuran lainnya terdiri dari beton dengan agregat normal dan beton dengan agregat daur ulang dengan kombinasi 4 jenis serat yaitu serat kaleng (1% volume beton), serat ban (1% volume beton), serat plastik (1% volume beton) dan serat hibrida (campuran serat plastik 0,5% dan serat kaleng 0,5% volume beton). Dimensi serat yang dipakai adalah panjang 5cm dan lebar 0,4cm. Kinerja ketahanan formasi retak di umur awal semua benda uji diukur dan dibandingkan dengan menggunakan *Restrained Shrinkage Ring* metoda *Austria* (OeVBB).

Hasil pengujian menunjukkan bahwa, beton dengan agregat normal memiliki panjang total retak 22% lebih kecil, tebal retak 6,25% lebih kecil, jumlah retak 14,28% lebih sedikit, waktu muncul retak 9,09% lebih lama dibandingkan dengan beton agregat daur ulang. Beton dengan penambahan serat menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan beton tanpa serat dalam menahan retak di umur awal. Beton berserat plastik memiliki kinerja paling bagus di antara beton berserat lainnya (ban, kaleng, hibrida) dalam menahan formasi retak di umur awal beton akibat *shrinkage*. Beton dengan serat plastik memiliki panjang total retak 74,29% lebih kecil, tebal retak 25% lebih kecil, jumlah retak 28,57% lebih sedikit, waktu muncul retak 27,27% lebih lama dibandingkan dengan beton tanpa serat.

Kata kunci: beton serat, agregat daur ulang, serat, *shrinkage*, retak di umur awal.

ABSTRACT

The largest part of the building construction waste consists of brick and concrete walls, which potentially can be recycled that supports the environmental preservation. In this study, concrete waste is used as coarse recycled aggregate for concrete. Industrial waste are used as a fiber such as cans, tires, plastic.

Fiber concrete is concrete that is made from a mixture of cement, water, aggregates and a number of randomly distributed fibers. The addition of fiber in to concrete with normal aggregate and recycling is one effort to maximize the performance of concrete. This paper presents the Influence of Type of Waste Recycled Industrial Products and Recycled Aggregate to Cracking Due to Early Age shrinkage of Fibre Reinforced Concrete. There were 10 types of concrete mixtures was observed. Two mixtures were containing normal and recycled aggregate without fibers. Eight other

mixtures were containing normal aggregate and recycled aggregate concrete with a combination of 4 types of fiber: fiber cans (1% volume of concrete), tire fibers (1% volume of concrete), plastic fiber (1% volume of concrete) and hybrid fiber (a mixture of plastic fibers and fiber cans 0.5% 0.5% volume of concrete). The used fiber is 5cm long and 0.4 cm wide. Concrete performance of crack formation at the early age of all specimens were measured and compared using the method Ring Restrained shrinkage of Austria (OeVBB).

The results show that, normal aggregate concrete has a total length of cracks 22% smaller, 6.25% thinner cracks, 14.28% fewer cracks compared to the recycled concrete. Concrete with addition of fibers showed better performance compared to concrete without fibers against crack at early age. Concrete with plastic fiber has the best performance among other fibrous concrete in arrastry the crack formation due to shrinkage at the early age concrete. It has a total length of 74.29% smaller cracks, thickness 25% smaller, the amount of 28.57% fewer, compared to the concrete without fiber.

Keywords: fiber concrete, recycled aggregates, fibers, shrinkage, cracking in early age.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Saat ini beton merupakan bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dan sangat dibutuhkan. Namun disisi lain, material ini disadari berkontribusi besar terhadap gangguan lingkungan.

Persoalan perlindungan dan pelestarian lingkungan terus bermunculan sebagai dampak penggunaan sejumlah produk industri yang mengikuti proses kehidupan modern masyarakat. Tersedianya limbah roda kendaraan adalah dampak pertumbuhan kendaraan yang tinggi. Demikian pula banyak ditemukan limbah kaleng dan plastik karena semakin banyak produk makanan, minuman, dan sejumlah bahan lain yang menggunakan kaleng dan plastik sebagai bahan pengemas. Bahan tersebut tidak terpakai setelah bahan inti atau bahan terbungkus dipakai.

Limbah reruntuhan bangunan juga semakin banyak karena cepatnya proses perubahan bangunan dikota mengikuti tuntutan pembangunan ekonomi. Banyak kawasan pemukiman lama yang dibongkar menjadi ruko, shopping mall, apartement, dan berbagai bentuk kawasan bisnis. Bangunan lama diganti dengan bangunan baru dengan wajah yang lebih modern (Hardjasaputra, 2008). Selain itu bencana alam gempa bumi seringkali menyisakan ribuan ton sampah reruntuhan bangunan.

Proses daur ulang limbah produk industri diperlukan untuk mengurangi persoalan lingkungan. Beberapa limbah industri berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan bangunan. Limbah reruntuhan bangunan memungkinkan didaur ulang menjadi agregat bahan beton.

Beton serat adalah bahan komposit berupa campuran beton konvensional dengan bahan serat yang terdistribusi acak. Penambahan serat ke dalam beton akan meningkatkan kuat tarik beton yang umumnya sangat rendah. Pertambahan kuat tarik akan memperbaiki kinerja komposit beton serat dengan kualitas yang lebih bagus dengan beton konvensional.

Pada awal pengerasan beton sering terjadi penyusutan volume beton. *Shrinkage* adalah penyusutan volume. *Shrinkage* yang berlebih pada beton mengakibatkan terjadinya deformasi rangkai seiring bertambahnya umur beton, sehingga perlu adanya pengendalian dan perhitungan yang teliti menyangkut susut beton.

Pada umur awal, setelah beton segar dituang ke dalam cetakan terjadi penguapan air dari beton segar. Jika kecepatan pelepasan air akibat penguapan lebih besar dari kecepatan bergerak air dari dalam beton segar ke permukaan akan memunculkan tegangan di permukaan benda uji. Tegangan tersebut merupakan tegangan tarik yang dipicu oleh *shrinkage* karena adanya *capillary suction* (Holt dan Leivo, 2003). Keadaan ini berpotensi retak karena kekuatan beton di umur awal belum cukup kuat menahan tegangan tarik di permukaan benda uji beton (Heka dan Hubertorva, 2006).

Pada beton kadar air semen rendah dan partikel agregat yang sangat halus menyebabkan penurunan yang besar dari kelembaban relatif selama proses hidrasi. Hal ini akan menyebabkan penyusutan. Keberadaan serat diharapkan memperbesar kuat tarik beton yang masih sangat rendah di umur awal. Skripsi ini melaporkan pengamatan pengaruh penambahan serat terhadap susut pada umur awal beton. Penelitian dititikberatkan pada pengaruh penambahan serat terhadap perkuatan menahan retak akibat penyusutan di umur awal beton.

1.2 Rumusan Masalah

Penyusutan di umur awal beton akibat penguapan air dari dalam beton akan menimbulkan tegangan tarik permukaan, beton pada umur awal belum cukup kuat dalam menahan tegangan tarik permukaan tersebut hal ini akan mengakibatkan retak.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

- a. Beton tanpa serat dengan agregat normal sebagai referensi.
- b. Beton tanpa serat dengan agregat daur ulang.
- c. Serat hasil daur ulang limbah industri (ban, kaleng dan plastik).
- d. Penambahan serat adalah 1 % dari volume beton.
- e. Beton dicampur dengan faktor air semen 0.4
- f. Pengujian dititikberatkan pada retak akibat *shrinkage* pada umur awal beton (1 sampai 24 jam).
- g. Kinerja serat diukur berdasarkan kemampuannya mereduksi retak di umur awal beton.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja beton serat dalam menahan retak akibat *shrinkage* (susut) pada umur awal beton (1 sampai 24 jam) dengan agregat normal dan agregat daur ulang setelah penambahan serat daur ulang limbah industri (ban, kaleng, plastik).

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran awal tentang potensi pemanfaatan limbah ban, kaleng, plastik, dan reruntuhan bangunan untuk diolah menjadi bahan bangunan alternatif yang mendukung program *global green concrete*.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 Beton

Beton didapat dari pencampuran semen portland, air, dan agregat (dan kadang-kadang bahan tambah, yang sangat bervariasi mulai dari bahan kimia tambahan, serat, sampai bahan buangan non-kimia) pada perbandingan tertentu (Kardiyono, 1996).

2.1.2 Beton Serat

Beton serat didefinisikan sebagai beton yang dibuat dari campuran semen, agregat, air dan sejumlah serat yang disebar secara acak. Ide dasar beton serat adalah menulangi beton dengan serat yang disebarkan secara merata kedalam adukan beton dengan orientasi acak sehingga dapat mencegah terjadinya retakan-retakan beton diumur awal.

Beton serat dapat dianggap sebagai bahan komposit yang terdiri dari beton dan serat (*fibre*). Perilaku beton serat menunjukkan ketahanan yang lebih besar dibandingkan beton biasa dalam menahan tegangan tarik setelah terjadi retak. Beton serat menunjukkan ketahanan yang lebih besar daripada beton biasa. Lekatan antara serat dan pasta semen akan terjadi bila serat dicampurkan ke dalam adukan beton. Apabila beton serat mengalami gaya tarik maka akan terjadi tahanan lekatan (*strength bond*) antara serat dan beton, kemudian setelah terjadi retak, serat masih mampu mendukung tegangan tarik yang dialami beton.

Serat pada umumnya berupa batang-batang dengan diameter 5 dan 500 μm (mikro meter) dan panjang sekitar 10 mm sampai 100 mm. Bahan serat dapat berupa serat asbes, serat tumbuh-tumbuhan (rami, bambu, ijuk), serat plastik (*polypropylene*), atau potongan kawat baja (Tjokro dimulyo, 1996). Jenis serat dan dimensinya ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Beton serat mempunyai kelebihan dibanding beton tanpa serat dalam beberapa sifat strukturnya, antara lain keliatan (*ductility*), ketahanan terhadap beban kejut (*impact resistance*), kuat tarik dan kuat lentur (*tensile and flexural strength*), kelelahan (*fatigue life*), kekuatan terhadap pengaruh susut (*shrinkage*), dan ketahanan terhadap keausan (*abration*).

Penambahan serat ke dalam beton akan meningkatkan kuat tarik beton yang umumnya sangat rendah. Pertambahan kuat tarik akan memperbaiki kinerja komposit beton serat dengan kualitas yang lebih bagus dibandingkan dengan beton konvensional (As'ad, 2006). Lebih rinci, keuntungan penambahan serat pada beton adalah: pertama, serat yang terdistribusi secara acak di dalam volume beton pada jarak yang relatif sangat dekat dengan yang lain akan memberi tahanan terhadap tegangan berimbang ke segala arah dan memberi keuntungan material struktur yang disiapkan untuk menahan beban dari berbagai arah. Kedua, perbaikan perilaku deformasi seperti ketahanan terhadap impak, daktilitas yang lebih besar, kuat lentur dan kapasitas torsi yang lebih baik. Ketiga, serat meningkatkan ketahanan beton terhadap formasi dan pembentukan retak (As'ad, 2007). Keempat, peningkatan ketahanan pengelupasan (*spalling*) dan retak pada selimut beton akan membantu penghambatan korosi besi tulangan dari serangan kondisi lingkungan yang berpotensi korosi (Ding Y, 2003). Penggunaan serat sintetik akan meningkatkan ketahanan material beton terhadap bahaya api. Secara umum semua keuntungan tersebut akan berarti peningkatan ketahanan struktur bangunan.

Riset tentang beton serat terus berkembang. Hingga sekarang, sejumlah penelitian yang bermaksud memaksimalkan fungsi serat pada beton melalui penggunaan lebih dari satu jenis serat mulai digalakkan dalam beberapa tahun terakhir. Beberapa jenis serat cocok untuk menahan tegangan tarik di umur awal beton dan mengurangi resiko retak yang berkontribusi positif pada durabilitas beton.

Dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa penambahan serat sebanyak 0,75 % sampai 1 % volume adukan akan memberikan hasil yang optimal.

Aspek rasio serat adalah ukuran kelangsingan dari serat secara individual. Aspek rasio serat dihitung dengan cara panjang serat dibagi dengan diameter serat untuk satu buah serat. Serat untuk beton umumnya mempunyai aspek rasio yang bervariasi antara 20 sampai 1000. Parameter ini juga menjadi ukuran dari kekakuan serat dan akan mempengaruhi pencampuran dan penempatan (Zollo, 1997)

Cement and Concrete Institute (2002) menyatakan bahwa untuk mendapatkan hasil yang efektif dari beton serat diperlukan syarat sebagai berikut:

- a. Serat secara signifikan harus lebih kuat daripada matrixnya.
- b. Volume kandungan serat harus memadai.
- c. Harus ada lekatan yang baik antara serat dengan matrixnya.
- d. Panjang serat harus mencukupi.

Kekuatan serat akan meningkat seiring dengan peningkatan diameternya. Tabel 2.1 memuat beberapa jenis serat yang sering digunakan sebagai bahan tambah beton.

Tabel 2.1 Jenis serat dengan dimensi dan kekuatannya.

Sample	Dosis serat (kg/m ³)	Nama serat	Material	Bentuk	Panjang (mm)	Diameter (μ m)	Modulus (N/mm ²)	Daya rentang (N/mm ²)
GL	1,5	Ar-Glassfibre harex	Kaca		12	15		
POLY-1	1,5	Polycon HPC	Plastik	Berserabut	18	19	3500-4000	320-450

POLY-2	1,5	M18 Fibrin 23 X-T	Plastik	Satu kawat	12	18	4200	560
POLY-3	1,5	Polycon HPC 20	Plastik	Berserabut	20	37	3500-4000	320-450
STE-1	50	FSF 30/ 0.6	Baja	Bengkok	30	600	200000	>1000
STE-2	50	KSF 45/ 1.0	Baja	Bengkok	45	1000	200000	>1100
STE-3	50	SF O1-32	Baja	Datar	32	3800	200000	>980
STE-4	50	KSF 30/ 0.6	Baja	Bengkok	30	*400 600	200000	>1100
HYB-1	30	FSF 30/ 0.6	Baja	Bengkok	30	600	200000	>1100
	7	Durus TM	Plastik	Kerut	40	900	4000	550
HYB-2	30	KSF 30/ 0.6	Baja	Bengkok	30	600	200000	>1100
	5	S-152 HPP	Plastik	Kerut	45	900	400	>600
		Novomesh						
HYB-3	30	FSF 30/ 0.6	Baja	Bengkok	30	600	200000	>1000
	5	Durus TM	Plastik	Kerut	40	900	400	550

2.1.3 Material Penyusun Beton Serat

2.1.3.1 Semen Portland

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (PUBI-1982, dalam Kardiyono, 1996). Fungsi semen adalah untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang padat dan juga untuk mengisi rongga-rongga antar butir agregat.

Semen Portland untuk pemakaian struktur harus berkualitas baik agar dapat berfungsi secara efektif. Sifat-sifat semen yang paling penting adalah kehalusan butir, waktu ikat awal, panas hidrasi dan berat jenis semen.

Bahan dasar penyusun semen portland terdiri dari bahan-bahan yang terutama mengandung kapur, silika dan oksida besi, maka bahan-bahan itu menjadi unsur-

unsur pokok semennya. Sebagai hasil perubahan susunan kimia yang terjadi diperoleh susunan kimia yang kompleks. Susunan bahan kimia pada semen dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Susunan bahan kimia pada semen

Oksida	Persen (%)
Kapur (CaO)	60 – 65
Silika (SiO ₂)	17 – 25
Alumina (Al ₂ O ₃)	3 – 8
Besi (Fe ₂ O ₃)	0,5 – 6
Magnesia (MgO)	0,5 – 4
Sulfur (SO ₃)	1 – 2
Potash (Na ₂ O + K ₂ O)	0,5 – 1

Komposisi kimia semen portland pada umumnya terdiri dari CaO, SiO₂, Al₂O₃ dan Fe₂O₃, yang merupakan oksida dominan. Oksida lain jumlahnya hanya beberapa persen dari berat semen adalah MgO, SO₃, Na₂O dan K₂O. Keempat oksida utama tersebut di atas di dalam semen berupa senyawa C₃S, C₂S, C₃A dan C₄AF, dengan mempunyai perbandingan tertentu pada setiap produk semen, tergantung pada komposisi bahan bakunya. Senyawa utama semen portland dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Senyawa utama semen portland

Nama senyawa	Rumus empiris	Rumus oksida	Notasi pendek	Rata-rata (%)
Tricalcium silikat	Ca ₃ SiO ₅	3CaO.SiO ₂	C ₃ S	50
Dicalcium silikat	Ca ₂ SiO ₄	2CaO.SiO ₂	C ₂ S	25

<i>Tricalcium aluminat</i>	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	12
<i>Tetracalcium aluminoferrit</i>	$\text{Ca}_2\text{AlFeO}_3$	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	8
<i>Calcium sulfat dihidrat</i>		$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	CSH_2	3,5

Sumber : *Teknologi Beton; Kardiyono Tjokrodimulyoo. 1994*

Beberapa macam semen sesuai dengan tujuan pemakaian pada konstruksi bangunan menurut SNI 15-2049-1994 semen Portland diklasifikasikan dalam lima jenis seperti tertera dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Jenis-jenis Semen Portland

Jenis Semen	Karakteristik Umum
Jenis I	Semen portland yang digunakan untuk tujuan umum.
Jenis II	Semen portland yang penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
Jenis III	Semen portland yang penggunaannya memerlukan persyaratan awal yang tinggi setelah pengikatan terjadi.
Jenis IV	Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut panas hidrasi yang rendah
Jenis V	Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut ketahanan yang kuat terhadap sulfat.

Sumber : *Teknologi Beton; Kardiyono Tjokrodimulyoo. 1994*

2.1.3.2 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini menempati sebanyak 60%-80% dari volume mortar atau beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar atau beton.

Berdasarkan ukuran besar butirnya, agregat yang dipakai dalam adukan beton dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

- a. Agregat kasar, adalah agregat yang butirannya berkisar antara 5-40 mm.
- b. Agregat halus, adalah agregat yang butirannya berkisar antara 0,15-5 mm.

2.1.3.3 Air

Air merupakan bahan dasar pembuat beton, penting namun harganya paling murah. Air diperlukan untuk reaksi dengan semen dan sebagai bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air yang memenuhi syarat sebagai air minum, memenuhi syarat pula untuk bahan campuran beton. Tetapi tidak berarti air harus memenuhi persyaratan air minum. Jika diperoleh air dengan standar air minum, maka dapat dilakukan pemeriksaan secara visual yang menyatakan bahwa air tidak berwarna, tidak berbau, dan cukup jernih. Menurut Kardiyono (1996), dalam pemakaian air untuk beton sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut:

- a. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter.
- b. Tidak mengandung garam-garam yang merusak beton (asam, zat organik, dll) lebih dari 15 gram/liter.
- c. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
- d. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

Menurut Kardiyono (1996) kekuatan beton dan daya tahannya berkurang jika air mengandung kotoran. Pengaruh pada beton diantaranya pada lamanya waktu ikatan awal serta kekuatan beton setelah mengeras. Adanya lumpur dalam air diatas 2 gram/liter dapat mengurangi kekuatan beton. Air dapat memperlambat ikatan awal beton sehingga beton belum mempunyai kekuatan dalam umur 2-3 hari. *Sodium karbonat* dan *potasium* dapat menyebabkan ikatan awal sangat cepat dan konsentrasi yang besar akan mengurangi kekuatan beton.

Air yang dibutuhkan agar terjadi proses hidrasi kira-kira 25% dari berat semen (Kardiyono, 1996). Penggunaan air yang terlalu banyak dapat mengakibatkan berkurangnya kekuatan beton. Disamping digunakan sebagai bahan campuran beton, air digunakan pula untuk merawat beton dengan cara pembasahan setelah dicor dan untuk membasahi atau membersihkan acuan.

2.1.3.4 Serat Sebagai Penahan Retak Di Umur Awal Beton

Ide dasar penambahan serat adalah memberi tambahan pada beton dengan serat yang disebarkan secara merata ke dalam adukan beton dengan orientasi random akan dapat mencegah terjadinya retak-retak beton secara dini, baik akibat panas hidrasi, penyusutan, dan pembebanan. Penambahan serat dalam beton dapat memperbaiki kekuatan tarik beton dan sifat getasnya

Pemakaian serat yang tersebar secara acak dalam beton dapat mengendalikan keretakan penyusutan dini. Serat akan menjadi kekuatan yang menjembatani yang akan menunda keretakan dan juga mencegah keretakan yang berlanjut. Sementara itu, kegunaan serat hibrida berupa bahan-bahan serat yang berbeda atau kombinasi dari keduanya. Bahan-bahan tersebut merupakan sebuah sistem yang menggabungkan beberapa fungsi dari serat-serat yang dipakai, misalnya fungsi struktural dan non struktural pada penggunaan serat baja dengan serat *polypropilene*.

As'ad (2008) melaporkan penelitian daya tahan serat hibrida, kaca, serat plastik dan serat baja pada beton melawan keretakan penyusutan awal, dengan hasil yang cukup efektif menahan retak di umur awal. Pada Tabel 2.5 menunjukkan beberapa benda uji beton serat dengan jenis serat yang berbeda dan serat hibrida. Hasil pengujian menunjukkan bahwa secara umum serat mengurangi retak dan menunda retak. Serat hibrida menghasilkan penundaan waktu retak yang terlama dan mereduksi tebal retak.

Tabel 2.5 Rangkuman benda uji (As'ad, 2008).

No	Kode benda uji	Kombinasi serat	Serat	Dosis per m ³ beton (kg)
1	SCC tanpa serat	Tanpa serat		
2	FR-SCC[S1]	Serat tunggal	Polypropylene XT	1,5
3	FR-SCC[S2]	Serat tunggal	Polypropylene 1950	1
4	FR-SCC[S3]	Serat tunggal	Baja ujung berangkur 30/0,5	30
5	FR-SCC[HR1]	Serat hibrida	Polypropylene XT Baja ujung berangkur 30/0,5	1,5 30
6	FR-SCC[HR2]	Serat hibrida	Baja ujung berangkur 30/0,5 Polypropylene DURUS	30 5
7	FR-SCC[HR3]	Serat hibrida	Polypropylene XT Baja ujung berangkur 30/0,5 Polypropylene DURUS	1,5 30 5

Keberadaan serat meningkatkan kinerja beton serat pemadatan mandiri (FR-SCC) dalam menahan formasi retak di umur awal beton. Tabel 2.6 menyajikan rangkuman hasil pengujian ketahanan terhadap formasi retak beton serat pemadatan mandiri di umur awal.

Penambahan serat mampu menunda waktu retak awal (T_1) dan memperkecil panjang (L_{kum}), lebar maksimum (W_{max}) dan jumlah (N) retak yang terjadi.

Secara umum terlihat bahwa beton yang mengandung serat yang lebih banyak terutama serat hibrida menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan hasil yang ditunjukkan benda uji berserat tunggal dan benda uji tanpa serat.

Tabel 2.6 Hasil pengujian ketahanan terhadap retak umur awal beton (As'ad, 2008).

Benda uji	Dosis dan jenis serat	T1(menit)	Wmax(mm)	Lkum(mm)	Nretak
SCC tanpa		163	1,47	1449,7	15

serat					
FR-SCC[S1]	1,5 kg/m ³ Polypropylene XT	185	1,24	1122	13
FR-SCC[S2]	1,0 kg/m ³ Polypropylene 1950	180	0,6	1145,7	12
FR-SCC[S3]	30 kg/m ³ Baja ujung berangkur 30/0,5	171	0,8	894,7	11
FR- SCC[HR1]	1,0 kg/m ³ Polypropylene XT 30 kg/m ³ Baja ujung berangkur 30/0,5	195	0,6	431	5
FR- SCC[HR2]	30 kg/m ³ Baja ujung berangkur 30/0,5 5 kg/m ³ Polypropylene DURUS	178	0,5	611,7	9
FR- SCC[HR3]	1,5 kg/m ³ Polypropylene XT 30 kg/m ³ Baja ujung berangkur 30/0,5 5 kg/m ³ Polypropylene DURUS	201	0,27	406,7	8

2.1.4 Pengembangan Agregat Daur Ulang

Keterbatasan sumber daya alam dan ketatnya peraturan untuk menjaga lingkungan di beberapa negara maju menyebabkan harga material baru tergolong tinggi. Sejumlah upaya dilakukan untuk memanfaatkan limbah reruntuhan tembok dan beton dimanfaatkan kembali sebagai agregat melalui proses daur ulang.

Upaya penelitian potensi ini sudah dimulai pada akhir tahun 80-an. *German Committee for Reinforced Concrete* pernah melakukan riset secara komprehensif pada tahun 1996 dalam proyek *Recycled Building Materials in Solid Construction*.

Hasil riset tersebut menyebutkan bahwa pengurangan kuat tekan beton akibat penggunaan agregat daur ulang dibandingkan dengan agregat baru ternyata tidak

terlalu signifikan, namun terjadi perbedaan signifikan dalam kapasitas shrinkage karena agregat daur ulang cenderung menghasilkan beton yang lebih porous.

Keuntungan penggunaan agregat daur ulang antara lain :

- a. Mengurangi material terbuang dari sampah reruntuhan bangunan.
- b. Menjaga kelestarian lingkungan karena tidak perlu menggunakan agregat baru untuk setiap pengecoran.

Beberapa fungsi agregat daur ulang yang sudah diterapkan di negara maju antara lain:

- a. Sebagai pengganti pasir untuk bahan pengisi tanah.
- b. Sebagai media untuk meletakkan pipa.
- c. Sebagai material bahan beton dengan bahan tertentu.
- d. Sebagai agregat sub-base jalan.

Di Indonesia upaya penelitian ini juga sudah mulai dilakukan. Harjasaputra, melalui kerja sama riset dengan salah satu universitas di Singapura melaporkan hasil kuat tekan yang mengalami perbedaan kuat tekan beton sebesar 10 – 15 % antara beton yang menggunakan agregat daur ulang dengan beton yang memakai agregat normal.

2.1.5 Limbah Industri Sebagai Alternatif Serat Pengisi Beton

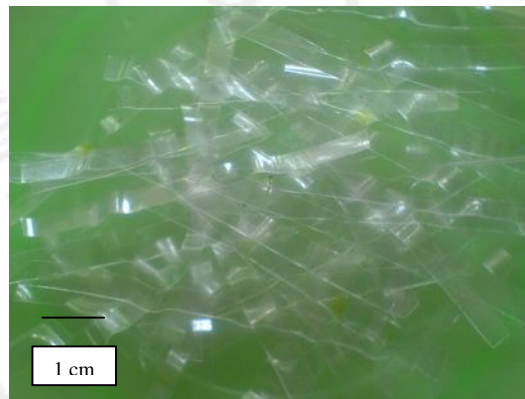
Beberapa penelitian sebelumnya juga pernah dilakukan untuk digunakan sebagai serat pengisi beton, material tersebut diantaranya kaca dan karet. Material tersebut dimasukkan dalam chip mini yang bergeometri acak yang berfungsi sebagai agregat tambahan beton (Stroeven, 2000)

Limbah industri berupa botol plastik, kaleng minuman, dan selanjutnya dibersihkan lalu dipotong-potong dengan ukuran panjang 5 cm dan lebar 0,4 cm menjadi serat sebagai bahan pengisi beton.

Pada penelitian ini, *aspect ratio* (perbandingan panjang dan diameter serat) akan dikendalikan untuk memaksimalkan kontribusi serat pada peningkatan kinerja beton keras. Secara teoritis *aspect ratio* yang lebih besar akan memberi sumbangan kinerja beton keras yang lebih baik (As'ad, 2006).

Penelitian ini memakai 4 jenis serat, antara lain :

- a. Serat plastik, terbuat dari potongan botol minuman aqua bekas. Serat plastik dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Serat plastik

- b. Serat kaleng, terbuat dari potongan kaleng sisa minuman sprite, fanta, coca cola, dan lain lain. Serat kaleng dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Serat kaleng

- c. Serat ban, terbuat dari potongan ban kendaraan bermotor. Serat ban dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Serat ban

- d. Serat hibrida, terdiri dari campuran 50% serat plastik dan 50% serat kaleng. Serat hibrida dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Serat hibrida

Ukuran serat : panjang 5 cm, lebar 0.4 cm.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Penyusutan Umur Awal Beton (*shrinkage*)

Pada awal pengerasan beton sering terjadi penyusutan volume beton. *Shrinkage* adalah penyusutan volume beton yang tidak dipengaruhi perubahan beban dan adanya *shrinkage* yang berlebih pada beton mengakibatkan terjadinya deformasi seiring bertambahnya umur beton. Apabila *shrinkage* pada beton dihalangi secara tidak merata (oleh penulangan misalnya), akan menimbulkan deformasi yang umumnya bersifat menambah terhadap deformasi rangkaiak sehingga diperlukan pengendalian dalam *shrinkage* tersebut agar tercapai tingkat pelayanan struktur yang baik.

Dalam beton biasa, besarnya susut akan bergantung kepada keterbukaan terhadap udara sekitar dan komposisi beton itu sendiri. Keterbukaan terhadap angin sangat memperbesar kecepatan susut. Atmosfir yang lembab akan mengurangi susut, kelembaban yang rendah akan menambah susut.

Umur awal beton adalah saat beton dituang ke dalam cetakan sampai beton mulai mengeras (1 sampai 24 jam). Susut pada umur awal berpotensi menimbulkan retak, karena pada saat itu kuat tarik beton belum terlalu kuat untuk menahan tegangan tarik yang terjadi pada beton.

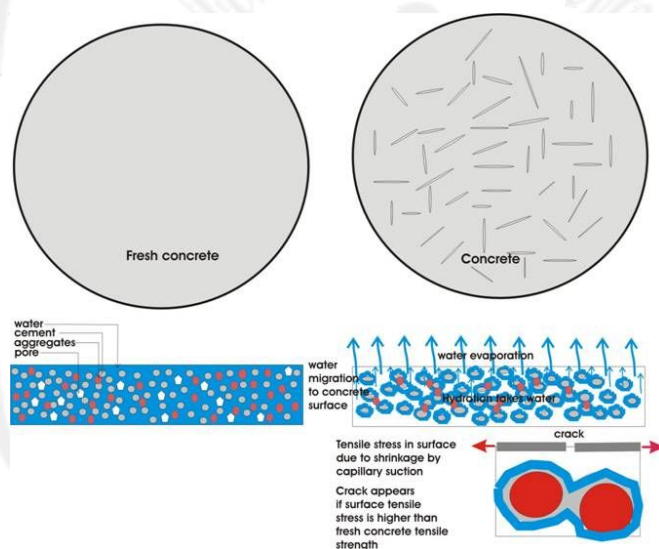
2.2.2 Mekanisme Shrinkage pada Uji Shrinkage Umur Awal Beton

Pada awal pengerasan beton (1 – 24 jam) terjadi penyusutan (*shrinkage*) yang menyebabkan terjadinya retak. Penyusutan pada umur awal beton berpotensi retak karena pada umur awal beton belum mempunyai tegangan tarik yang cukup kuat untuk menahan tegangan permukaan yang terjadi akibat *shrinkage*.

Berikut ini akan dijelaskan mekanisme terjadinya *shrinkage* dalam sebuah beton

- a. Sifat dasar yang tidak stabil dari pembentukan kalsium silikat hidrat pada proses penyusutan saat terjadi pengeringan. Sifat yang tepat dari mekanisme ini sukar dimengerti dan merupakan sesuatu yang bersifat permanen.
- b. Dalam pasta semen terdapat pori-pori besar dan kecil. Mula-mula pori-pori yang terdapat dalam beton terisi penuh oleh air, tetapi dengan bertambahnya umur beton maka air tersebut secara perlahan-lahan akan menguap dari beton. Air yang pertama menguap adalah air dari pori yang besar berlangsung sampai air pada pori yang besar habis. Berkurangnya air pada pori yang besar ini belum cukup menimbulkan tegangan kapiler yang akan mengakibatkan *shrinkage*.
- c. Luas permukaan dari system koloid pasta semen cukup luas sehingga air yang terserap di permukaan akan mempengaruhi keseluruhan sifat system koloid tersebut. Ketika air menguap maka akan terjadi perubahan energi didalam koloid silikat hidrat. Perubahan energi ini akan menyebabkan penyusutan.

- d. Pada saat semen bercampur dengan air maka akan terjadi reaksi kimia, hal ini yang disebut dengan proses hidrasi. Proses ini menghasilkan produk berupa kalsium silikat gel (C-S-H gel) dan kalsium hidroksida. Air yang ada pada beton sebagian digunakan untuk proses hidrasi dan sebagian lagi digunakan untuk mengisi pori-pori pada pasta semen. Pada saat beton mulai mengering, air bebas pada pori yang tidak terikat secara fisik maupun kimiawi akan keluar, tetapi tidak begitu signifikan menyebabkan perubahan volume. Saat air bebas habis, air yang terikat secara fisik keluar, sehingga hal inilah yang signifikan menimbulkan terjadinya penyusutan. Mekanisme ini dijelaskan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Mekanisme retak diumur awal beton.

Ketika beton dibiarkan mengering pada tempat yang terbuka maka beton tersebut akan menyusut. Hal ini disebabkan karena pada beton terjadi penguapan atau evaporasi sehingga tegangan pori pada beton meningkat akibat berkurangnya kadar air. Pada saat beton mengeras dan menyusut, retak yang sangat kecil akan berkembang.

Bila retak kecil tersebut terpotong oleh batangan-batangan serat maka retak tersebut akan tercegah untuk berkembang menjadi retak yang lebih besar. Pengukuran *shrinkage* pada umur awal beton berserat dilakukan dengan cara membandingkan waktu retak awal, lebar retak, jumlah retak dan panjang retak yang terjadi pada benda uji.

2.2.3 Drying Shrinkage Beton

Drying Shrinkage adalah penyusutan yang disebabkan oleh keluarnya air pori karena penguapan (evaporasi). *Drying shrinkage* dimulai setelah beton mengeras dan terjadi kehilangan uap air karena penguapan, yaitu ketika beton berada di lingkungan kering. Faktor-faktor yang mempengaruhi *drying shrinkage* antara lain tipe dan kadar agregat, kelembaban relatif, kadar air agregat, *curing time*, dan tipe semen. Beton akan terus menerus mengalami *drying shrinkage* dalam jangka panjang bahkan sampai bertahun-tahun sampai air yang terkandung di dalam beton benar-benar telah habis menguap.

Dengan perawatan yang baik, yaitu disiram dengan air pada umur awal maka *drying shrinkage* beton akan tertunda karena adanya penyediaan kelembaban dari siraman air tersebut. Setelah beton mencapai kekuatan yang diinginkan, maka perawatan boleh dihentikan. Jadi *drying shrinkage* yang terjadi tidak akan mengurangi kekuatan beton jika dilakukan perawatan pada beton.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Uraian umum

Metodologi penelitian adalah langkah-langkah atau metode yang dilakukan dalam penelitian suatu masalah, kasus, gejala, fenomena atau lainnya dengan jalan ilmiah untuk menghasilkan jawaban yang rasional. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental, metode eksperimental yaitu metode yang dilakukan dengan mengadakan suatu percobaan secara langsung untuk mendapatkan suatu data atau hasil yang menghubungkan antara variabel-variabel yang diselidiki. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengungkapkan hubungan sebab akibat dua variabel atau lebih dengan dikendalikan pengaruh variabel yang lain. Metode eksperimental dapat dilakukan di dalam ataupun di luar laboratorium. Dalam penelitian ini akan dilakukan di dalam laboratorium.

Dalam penelitian ini terdapat beberapa variable yang terdiri dari variabel bebas (*independent variable*) dan variabel tak bebas (*dependent variable*). Variabel bebas dalam penelitian ini adalah penambahan serat dan penggunaan agregat daur ulang. Sedangkan yang menjadi variable tidak bebas adalah *shrinkage* di umur awal beton.

3.2 Benda Uji

Terdapat 10 jenis campuran beton diamati pada pengujian ini. Dua campuran terdiri dari beton tanpa serat dengan agregat normal dan daur ulang. Delapan campuran lainnya terdiri dari beton dengan agregat normal dan beton dengan agregat daur ulang dengan kombinasi 4 jenis serat yaitu serat kaleng (1% volume beton), serat ban (1% volume beton), serat plastik (1% volume beton) dan serat hibrida (campuran serat plastik 0,5% dan serat kaleng 0,5% volume beton). Dimensi serat yang dipakai adalah panjang 5cm dan lebar 0,4cm. Bahan uji yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Bahan uji yang digunakan

NO	Kode benda uji	Kombinasi serat	Serat (dimensi 50/4)	Kandungan serat (% volume benda uji)
1	BSO-A1	Tanpa serat		
2	BS1-A1	Serat tunggal	Serat ban	1
3	BS2-A1	Serat tunggal	Serat kaleng	1
4	BS3-A1	Serat tunggal	Serat plastik	1
5	BS23-A1	Serat hibrida	Serat kaleng Serat plastik	0,5 0,5
6	BSO-A2	Tanpa serat		
7	BS1-A2	Serat tunggal	Serat ban	1
8	BS2-A2	Serat tunggal	Serat kaleng	1
9	BS3-A2	Serat tunggal	Serat plastik	1
10	BS23-A2	Serat hibrida	Serat kaleng Serat plastik	0,5 0,5

3.3 Tahap dan Prosedur Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini dilakukan beberapa tahap penelitian, mulai dari pemilihan bahan penyusun beton (pasir, agregat, semen, air, serat), pengujian bahan, pembuatan benda uji, pengujian benda uji, analisa data dan penarikan kesimpulan hasil penelitian.

Sebagai penelitian ilmiah, maka penelitian ini harus dilaksanakan dalam sistematika dan urutan yang jelas dan teratur sehingga akan didapatkan hasil yang memuaskan dan dapat dipertanggungjawabkan. Oleh karena itu, pelaksanaan penelitian dibagi dalam beberapa tahap, yaitu :

1. Tahap I

Merupakan tahap persiapan. Pada tahap ini bahan dan peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian dipersiapkan terlebih dahulu agar nantinya penelitian ini dapat berjalan dengan lancar dan tanpa hambatan.

2. Tahap II

Disebut tahap uji bahan. Pada tahap ini dilakukan penelitian terhadap agregat kasar dan agregat halus. Hal ini dilakukan untuk mengetahui sifat dan karakteristik bahan yang akan digunakan. Selain itu juga untuk mengetahui apakah agregat-agregat yang akan digunakan memenuhi persyaratan atau tidak. Hasil dari pengujian ini akan digunakan sebagai data rencana campuran adukan beton.

3. Tahap III

Disebut tahap pembuatan benda uji. Pada tahap ini dilakukan pekerjaan sebagai berikut :

- a) Penetapan rencana campuran (*mix design*) adukan beton.
- b) Pembuatan adukan beton.
- c) Pemeriksaan nilai *slump* adukan beton.
- d) Pembuatan benda uji untuk pengujian *shrinkage* umur awal beton.

4. Tahap IV

Pada tahap ini dilakukan pengujian *shrinkage* umur awal beton. Pengujian dilakukan dengan mengamati masing-masing benda uji, diamati waktu awal munculnya retak kemudian dibandingkan benda uji mana yang mengalami proses retak paling cepat. Di sini akan dihitung panjang total, jumlah, serta lebar maksimum retak yang terjadi pada masing-masing benda uji. Pengamatan dilakukan dengan pemotretan dan pengukuran yang dilakukan tiap jam. Pengamatan dihentikan setelah beton pada umur kurang lebih 8 jam, karena beton mulai mengeras dan dilakukan pengamatan terakhir pada umur 24 jam.

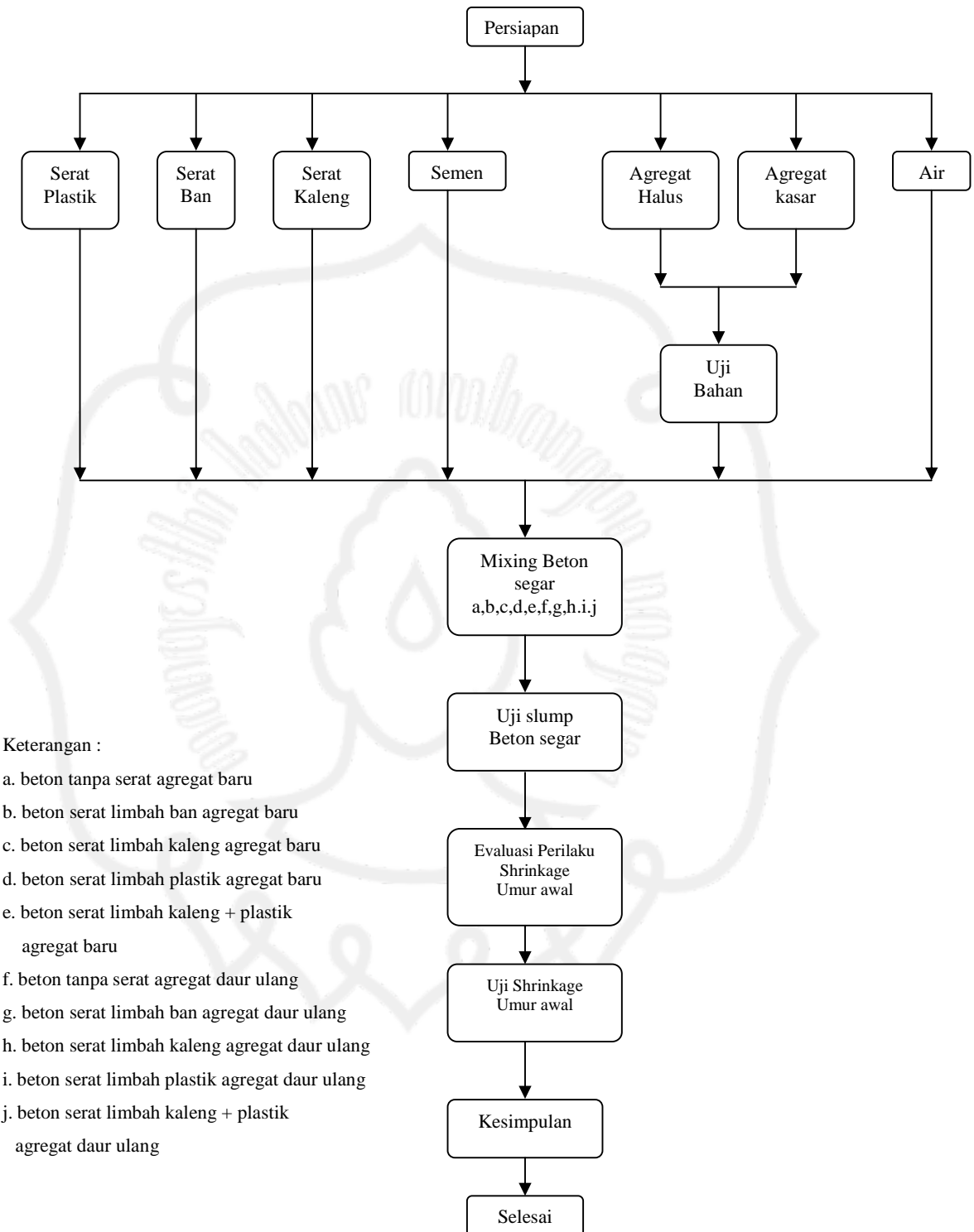
5. Tahap V

Disebut tahap analisa data. Pada tahap ini, data yang diperoleh kemudian dianalisa dan dibandingkan untuk mendapatkan suatu kesimpulan pengaruh penambahan serat daur ulang limbah industri dan pemakaian agregat daur ulang reruntuhan bangunan terhadap retak akibat *shrinkage* di umur awal beton.

6. Tahap VI

Merupakan tahap pengambilan kesimpulan. Pada tahap ini, data yang telah dianalisa pada tahap VI dibuat suatu kesimpulan yang berhubungan dengan tujuan penelitian.

Tahapan penelitian ini dapat dilihat secara skematis dalam bentuk bagan alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Bagan alir tahap-tahap penelitian.

3.4 Standar Penelitian dan Spesifikasi Bahan Dasar

Pengujian bahan-bahan pembentuk beton dilakukan untuk mengetahui sifat dan karakteristik dari material pembentuk. Pengujian dilakukan terhadap agregat halus dan agregat kasar, sedangkan air yang digunakan sesuai dengan spesifikasi standar air dalam PBI 1971 pasal 3.6. Standar penelitian yang digunakan sebagai dasar pengujian bahan penyusun beton dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Standar Penelitian dan Spesifikasi Bahan Dasar Penyusun Beton

No	Bahan penelitian	Standar terpakai
1.	Semen	Spesifikasi pabrik
2.	Agregat halus a. Standar pengujian b. Spesifikasi	<ol style="list-style-type: none"> 1. ASTM C-40, standar penelitian untuk pengujian kotoran organik 2. ASTM C-117, standar penelitian untuk pengujian agregat yang lolos saringan no.200 dengan pencucian (tes kandungan lumpur) 3. ASTM C-128, standar penelitian untuk menentukan <i>specific gravity</i> 4. ASTM C-136, standar penelitian untuk analisis saringan <ol style="list-style-type: none"> 1. ASTM C-33, spesifikasi standar untuk agregat halus 2. PBI 1971, spesifikasi standar untuk agregat halus (bab 3.3)
3.	Agregat kasar a. Standar pengujian b. Spesifikasi	<ol style="list-style-type: none"> 1. ASTM C-127, standar penelitian untuk pengujian <i>specivic gravity</i> 2. ASTM C-131, standar penelitian untuk pengujian keausan 3. ASTM C-136, standar penelitian untuk analisis ayakan 4. ASTM C-566, standar penelitian untuk pengujian kadar air <ol style="list-style-type: none"> 1. PBI-1971, spesifikasi standar untuk agregat kasar (bab 3.4)
4.	Air	Spesifikasi standar PBI 1971/SK SNI-1991

3.5 Alat-alat yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan alat yang tersedia di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Timbangan.

Ada dua jenis timbangan yang dipakai dalam penelitian:

- 1) Neraca merk “*Murayama Seisakusho Ltd Japan*”, kapasitas maximum 5 kg, ketelitian sampai 0,10 gram, digunakan untuk mengukur material di bawah kapasitasnya.
- 2) Timbangan *Bascule* merk “*DSN Bola Dunia*”, kapasitasnya 150 kg ketelitian sampai 0,10 kg, digunakan untuk mengukur berat sampel dan material di bawah kapasitasnya

b. Oven merk “*Binder*”

Oven ini berkapasitas 300°C, 2200W, digunakan untuk mengeringkan material (pasir dan kerikil).

c. Ayakan dan Mesin Penggetar Ayakan

Ayakan dan penggetar yang digunakan adalah merk “*Control*” *Italy*, mempunyai bentuk lubang ayakan bujur sangkar dengan ukuran yang tersedia adalah 75 mm; 50 mm; 38 mm; 37,5 mm; 25 mm; 12,5 mm; 9,5 mm; 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 0,85 mm; 0,30 mm; 0,15 mm; dan pan.

d. *Conical Mould*

Conical mould dengan ukuran diameter atas 3,8 cm; diameter bawah 8,9 cm; dan tinggi 7,6 cm dilengkapi dengan alat penumbuk. Alat ini digunakan untuk mengukur keadaan *SSD (Saturated Surface Dry)* pasir.

e. Mesin *Los Angelos*

Mesin *Los Angelos* merk “*Controls*” *Italy* dilengkapi dengan 11 buah bola baja. Alat ini digunakan untuk menguji ketahanan aus (abrasi) agregat kasar.

f. Kerucut *Abram*

Kerucut *Abrams* terbuat dari bahan baja dengan ukuran diameter atas 10 cm, diameter bawah 20 cm, tinggi 30 cm, lengkap dengan tongkat baja yang ujungnya ditumpulkan dengan panjang 60 cm dan diameter 16 mm. Alat ini berguna untuk mengukur nilai *slump* adukan beton.

g. Alat bantu

- 1) Vibrator, digunakan untuk memadatkan pada saat pembuatan benda uji.
- 2) Sendok semen.
- 3) Gelas Ukur kapasitas 250 ml, digunakan untuk meneliti kandungan zat organik dan kandungan lumpur pada agregat halus.
- 4) Ember.
- 5) Cangkul.

3.6 Pengujian Bahan Dasar Beton

Pengujian terhadap bahan-bahan pembentuk beton perlu dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat bahan dasar pembentuk beton. Pengujian tersebut meliputi pengujian agregat halus, agregat kasar dan kemurnian semen. Air yang digunakan sesuai dengan standar untuk air dalam PBI 1971 Bab 3.6.

3.6.1 Agregat Halus

3.6.1.1 Pengujian Kadar Lumpur dalam Agregat Halus

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kadar lumpur yang terkandung dalam pasir yang akan digunakan dalam pembuatan beton.

Kadar lumpur dalam agregat halus harus sesuai dengan standar yang ditetapkan dalam ASTM C-117 dan PBI 1971 pasal 3.3 ayat 3, yang menyebutkan bahwa pasir yang digunakan harus bersih dan tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% dari berat keringnya. Apabila kadar lumpur lebih dari 5% maka pasir tersebut harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan untuk campuran adukan beton.

3.6.1.2 Pengujian Kadar Zat Organik dalam Agregat Halus

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kadar zat organik dalam pasir. Kandungan zat organik yang berlebihan akan mengakibatkan berkurangnya kekuatan beton yang dihasilkan. Pasir yang digunakan dalam pembuatan beton harus sesuai dengan standar ASTM C-40 dan PBI pasal 3.3 ayat 4. Kandungan zat organik dapat diketahui melalui percobaan warna *Abrams Harder* dengan menggunakan larutan NaOH 3%. Walaupun kekuatan beton yang dihasilkan pada umur 28 hari kurang dari 95% dari kekuatan beton pada umur yang sama, beton tersebut masih dapat digunakan dengan cara dicuci terlebih dahulu dengan air. Untuk mengetahui kandungan zat organik dalam pasir yang akan digunakan dilakukan dengan mengamati warna air yang ada pada gelas ukur setelah didiamkan selama 24 jam. Hasil pengamatan disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.3. Pengaruh Kadar Zat Organik Terhadap Prosentase Penurunan Kekuatan Beton

Warna	Penurunan Kekuatan (%)
Jernih	0
Kuning Muda	0 – 10
Kuning Tua	10 – 20
Kuning Kemerahan	20 – 30
Coklat Kemerahan	30 – 50
Coklat Tua	50 – 100

(Rooseno, 1995)

3.6.1.3 Pengujian *Specific Gravity* Agregat Halus

Tujuan dari pengujian *specific gravity* adalah untuk mengetahui *bulk specific gravity SSD* (perbandingan berat pasir jenuh dalam kondisi kering permukaan dengan volume pasir total), *bulk specific gravity* (perbandingan antara berat pasir dalam kondisi kering dengan volume pasir total), *apparent specific gravity* (perbandingan antara berat pasir kering dengan volume butir pasir), dan *absorbtion* (perbandingan berat air yang diserap dengan berat pasir kering). Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM C-128 yang membahas tentang standar penelitian untuk menentukan *specific gravity* agregat halus.

3.6.1.4 Pengujian Gradasi Agregat Halus

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui variasi diameter ukuran butir pasir, persentase dan modulus halusnya. Modulus kehalusan merupakan angka yang menunjukkan tinggi rendahnya tingkat kehalusan butir dalam agregat.

Menurut PBI 1991 pasal 35 ayat 1, gradasi agregat halus yang baik adalah sebagai berikut:

- a. Sisa diatas ayakan 4 mm minimal 2% berat.
- b. Sisa diatas ayakan 1 mm minimal 10% berat.
- c. Sisa diatas ayakan 0,15 mm minimal 80–90% berat.

Standar yang dipakai dalam pengujian ini adalah ASTM C-136 yang membahas tentang standar penelitian untuk analisis saringan agregat halus.

3.6.2 Agregat Kasar

Pengujian agregat kasar dilakukan berdasarkan standar ASTM dengan spesifikasi bahan menurut standar ASTM C-33 dan PBI 1971 pasal 3.4. Dalam penelitian ini digunakan agregat kasar berupa kerikil.

3.6.2.1 Pengujian *Specific Gravity* Agregat Kasar

Berat jenis merupakan variabel yang sangat penting dalam merencanakan campuran beton, hal tersebut dikarenakan dengan mengetahui berat jenis dapat dihitung volume agregat kasar yang diperlukan. Tujuan dari pengujian ini adalah :

- a. Mengetahui *bulk specific gravity* yaitu perbandingan antara berat kerikil dalam kondisi kering dengan volume kerikil total.
- b. Mengetahui *bulk specific gravity SSD* yaitu perbandingan antara berat kerikil jenuh dalam kondisi kering permukaan dengan volume kerikil total.
- c. Mengetahui *apparent specific gravity* yaitu perbandingan antara berat kerikil dalam kondisi kering dan selisih berat butiran dalam keadaan kering dengan berat dalam air.
- d. Mengetahui daya serap (*absorption*) yaitu perbandingan antara berat air yang diserap dengan berat kerikil.

Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM C-127.

3.6.2.2 Pengujian Abrasi Agregat Kasar

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui daya tahan agregat kasar terhadap gesekan. Agregat kasar tidak boleh mengalami kehilangan berat sebesar 50% dari berat semula. Hal ini sesuai dengan aturan yang ada dalam PBI 1971 pasal 3.4 ayat 5. Alat yang digunakan dalam pengujian ini adalah alat yang disebut *Los Angeles*. Standar pengujian ini berdasarkan standar ASTM C-131.

3.6.2.3 Pengujian Gradasi Agregat Kasar

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui variasi diameter ukuran butir pasir, modulus halus dan prosentasenya. Modulus kehalusan merupakan angka yang menunjukkan tinggi rendahnya tingkat kehalusan butir dalam agregat. Untuk pengujian gradasi agregat kasar harus memenuhi syarat :

- a. Sisa ayakan diameter 31,5 mm harus 0% berat.
- b. Sisa diatas ayakan 4,0 mm harus berkisar 90–98% berat.
- c. Selisih antara sisa kumulatif diantara dua ayakan yang berurutan maksimum 60% berat dan minimum 10% berat.

Standar yang dipakai dalam pengujian ini adalah ASTM C-136 yang membahas tentang standar penelitian untuk analisis saringan agregat kasar.

3.6.3 Pengujian Nilai Slump Beton

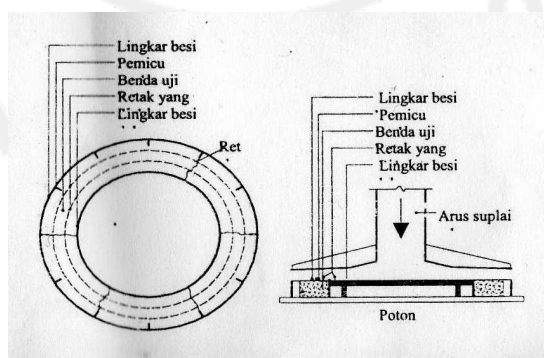
Slump beton adalah besaran kekentalan (*viscosity*) / plastisitas dan kohesif dari beton segar. Menurut SK-SNI M-12-1989-F, cara pengujian nilai slump adalah sebagai berikut:

- a. Membersihkan cetakan dan pelat
- b. Meletakkan cetakan diatas pelat
- c. Mengisi cetakan sampai penuh dengan 3 lapisan, tiap lapis berisi kira-kira 1/3 isi cetakan, kemudian setiap lapis ditusuk dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali tusukan secara merata.
- d. Segera setelah selesai penusukan, meratakan permukaan benda uji dengan tongkat dan menyingkirkan semua sisa benda uji yang ada di sekitar cetakan.
- e. Mengangkat cetakan perlahan-lahan tegak lurus ke atas.
- f. Mengukur slump yang terjadi.

3.6.4 Pengujian *Shrinkage* Umur Awal

Uji *restrained shrinkage* adalah uji susut beton di umur awal (0-24 jam). Alat ini terbuat dari besi lingkaran dengan diameter luar dan diameter dalam adalah masing-masing 58 dan 24 cm. Di sisi dalam besi lingkaran luar terpasang 12 besi dengan jarak seragam yang berfungsi sebagai crack generator. Beton diletakkan di antara besi lingkaran luar dan besi lingkaran dalam. Benda uji ditutup dengan *fibre glass* bening yang dilengkapi dengan penyuplai udara kering yang dihembuskan ke permukaan.

Pengujian ini mengacu kepada *Austrian Guidelines for Fibre Concrete (Richtlinie faserbeton)*. Beton segar ditempatkan dalam besi lingkaran antara besi lingkaran luar dan besi lingkaran dalam. Beton segar diangin-anginkan sebentar hingga proses *setting* beton memulai fase beton plastis atau sekitar 2 jam setelah pencampuran. Udara kering dihembuskan dari *blower* ke permukaan benda uji dengan kecepatan udara konstan dengan tujuan mempercepat penguapan pada permukaan beton. Pendataan panjang retak dan lebar retak pada permukaan benda uji dilakukan setiap jam. Sketsa peralatan *restrained shrinkage* ditunjukkan pada Gambar 3.2. Alat uji *restrained shrinkage* ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.2 Sketsa peralatan *restrained shrinkage* di umur awal.



Gambar 3.3 Uji *restrained shrinkage*

Tujuan pengujian ini adalah untuk membandingkan kinerja *Shrinkage* umur awal beton yang terdiri dari 10 jenis benda uji. Pengujian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan serat terhadap perkuatan beton di umur awal dalam menahan retak akibat *shrinkage*. Penelitian ini juga untuk mengetahui pengaruh penggunaan agregat daur ulang reruntuhan bangunan sebagai bahan campuran beton. Kinerja *Shrinkage* dapat dibandingkan dengan cara mengukur panjang retak, lebar retak, jumlah retak, dan waktu pertama kali muncul retak. Tahap tahap pengujian antara lain :

- a. Mixing beton, membuat campuran beton sesuai mix design.
- b. Benda uji dimasukkan ke alat pengujian *restrained shrinkage*.
- c. Benda uji diangin-anginkan sebentar hingga proses setting beton memulai fase beton plastis atau sekitar 2 jam.
- d. Udara kering dihembuskan dari *blower* ke permukaan benda uji dengan kecepatan udara konstan.
- e. Mencatat waktu pertama kali muncul retak, kemudian mencatat panjang retak, lebar retak, dan jumlah retek yang terjadi setiap jam.
- f. Pengamatan dihentikan setelah beton pada umur kurang lebih 8 jam, karena beton mulai mengeras dan dilakukan pengamatan terakhir pada umur 24 jam.

BAB 4

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian agregat halus dalam penelitian ini meliputi pengujian kandungan lumpur pasir, kandungan zat organik pasir, berat jenis dan gradasi pasir. Hasil pengujian agregat halus disajikan dalam Tabel 4.1. Untuk perhitungan dan data-data pengujian secara lengkap terdapat pada Lampiran A.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Agregat halus.

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Syarat	Kesimpulan
Kandungan zat organik	Larutan NaOH 3% Kuning muda	Jernih atau kuning muda	Memenuhi syarat
Kandungan lumpur	4.20%	Maksimum 5%	Memenuhi syarat
<i>Bulk specific gravity</i>	2.38	-	-
<i>Bulk specific gravity SSD</i>	2.48	-	-
Modulus halus butir	2.53	2,3 – 3,1	Memenuhi syarat

Hasil pengujian gradasi agregat halus serta persyaratan batas dari ASTM C33-97 dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.1. Perhitungan dan analisa dari gradasi agregat halus dapat dilihat pada Lampiran A.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus serta syarat batas menurut ASTM dan *British Standard*.

No	Diameter Ayakan (mm)	Berat Tertahan			Berat Lolos Kumulatif (%)	ASTM C-33
		Gram	%	Kumulatif (%)		
1	9,5	0	0	0	100	100
2	4,75	120,5	4,03	4,03	95,97	95 - 100
3	2,36	206	6,89	10,91	89,09	80 - 100
4	1,18	398,5	13,32	24,23	75,77	50 - 85
5	0,85	600	20,05	44,28	55,72	25 - 60
6	0,3	1000	33,42	77,71	22,29	10 - 30
7	0,15	434,5	14,52	92,23	7,77	2 - 10
8	0	232,5	7,77	100	0	0
Jumlah		2992	100	353,39	-	-

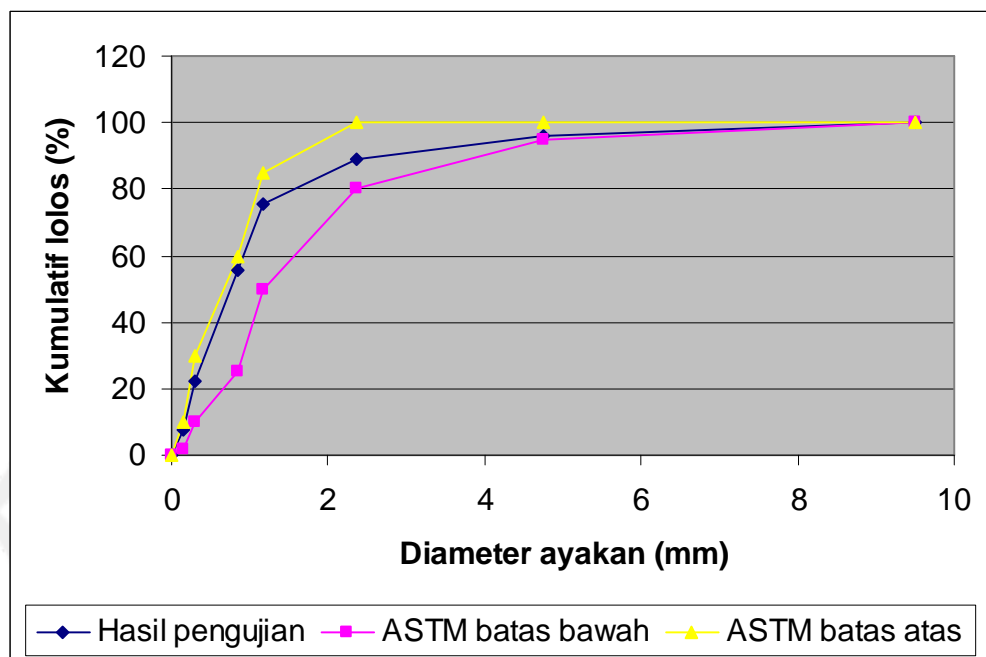
$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus} &= \frac{\sum \text{berat kumulatif tertinggal} - 100}{100} \\
 &= \frac{353,39 - 100}{100} \\
 &= 2,53
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Agregat yang hilang} &= \frac{3000 - 2992}{3000} \times 100\% \\
 &= 0,267\%
 \end{aligned}$$

Syarat : Modulus halus agregat halus antara 2,3 – 3,1
(Kardiyono Tjokrodinuljo, 1996).

Hasil analisis modulus halus agregat halus sebesar 2,53 sehingga masih memenuhi syarat sebagai agregat halus. Hasil analisis saringan menunjukkan bahwa pasir yang diuji telah memenuhi syarat batas yang ditentukan oleh ASTM C-33

Berdasarkan syarat dari *British Standard* maka pasir yang digunakan dalam penelitian termasuk dalam daerah 2 yang merupakan pasir agak kasar. Sehingga hasil tersebut digunakan untuk perhitungan *mix design*.



Gambar 4. 1 Distribusi Butir Agregat Halus

4.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

4.2.1 Hasil Pengujian Agregat Kasar Normal

Pengujian agregat kasar dalam penelitian ini meliputi pengujian berat jenis, abrasi (keausan), kandungan lumpur. Pengujian Agregat Kasar Normal dapat dilihat pada Tabel 4.3. Gradasi agregat kasar menurut ASTM C33 dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.2.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Agregat Kasar.

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
<i>Bulk specific gravity</i>	2,63	-	-
<i>Bulk specific gravity SSD</i>	2,67	-	-
Abrasi	32.80%	Maksimum 50 %	Memenuhi syarat
Modulus halus butir	7.37	5 - 8	Memenuhi syarat

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Gradasi Agregat Kasar dan Syarat Menurut ASTM C-33.

No	Diameter Ayakan (mm)	Berat Tertahan			Berat Lolos Kumulatif (%)	ASTM C-33
		Gram	%	Kumulatif (%)		
1	25	0	0	0	100	100
2	19	212	7,08	7,08	92,92	90 – 100
3	12,5	1422,7	47,5	54,58	45,42	-
4	9,5	657,5	21,95	76,53	23,47	20 – 55
5	4,75	653	21,8	98,33	1,67	0 – 10
6	2,36	50	1,67	100	0	0 – 5
7	1,18	0	0	100	0	-
8	0,85	0	0	100	0	-
9	0,3	0	0	100	0	-
10	0,15	0	0	100	0	-
11	0	0	0	100	0	-
Jumlah		2995,2	100	836,52	-	-

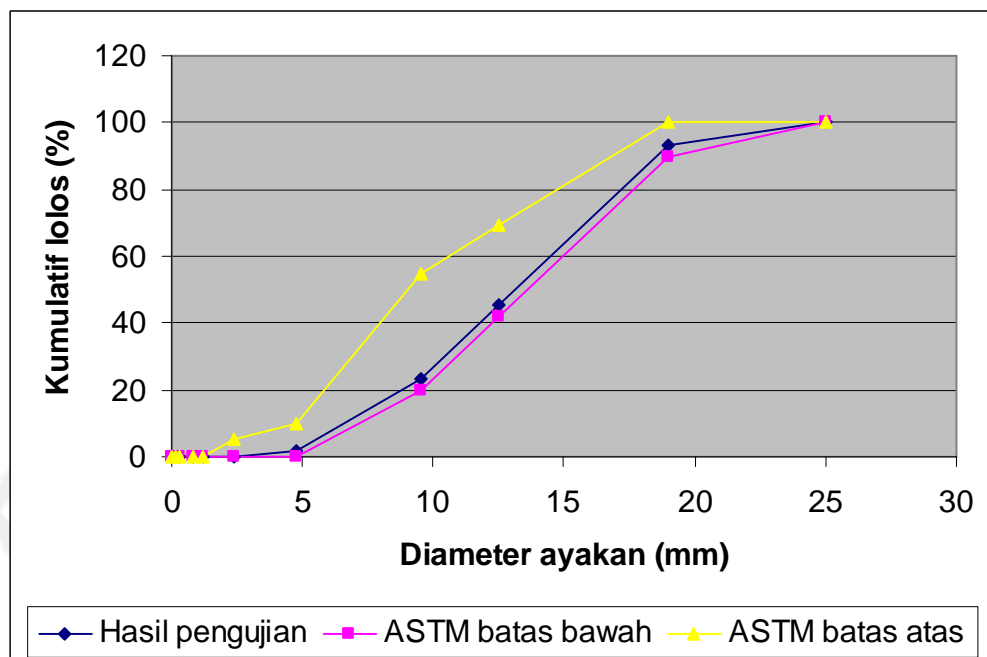
$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus} &= \frac{\sum \text{berat kumulatif tertinggal} - 100}{100} \\ &= \frac{836,52 - 100}{100} = 7,37 \end{aligned}$$

$$\text{Agregat yang hilang} = \frac{3000 - 2995,2}{3000} \times 100\% = 0,15\%$$

Syarat : Modulus halus agregat kasar antara 5 - 8

(Kardiyono Tjokrodikuljo, 1996).

Hasil analisis modulus halus agregat kasar sebesar 7,37 sehingga masih memenuhi syarat sebagai agregat kasar. Hasil analisis saringan menunjukkan bahwa kerikil yang diuji telah memenuhi syarat batas yang ditentukan oleh ASTM C-33



Gambar 4. 2 Distribusi Butir Agregat Kasar Normal

4.2.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar Daur Ulang

Agregat kasar yang diuji dalam penelitian ini meliputi pengujian berat jenis, abrasi (keausan), kandungan lumpur. Hasil pengujian agregat kasar daur ulang dapat dilihat pada Tabel 4.5. Gradasi agregat kasar menurut ASTM C33 dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.3.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Agregat Kasar.

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
<i>Bulk specific gravity</i>	2.33	-	-
<i>Bulk specific gravity SSD</i>	2.42	-	-
Abrasi	35%	Maksimum 50 %	Memenuhi syarat
Modulus halus butir	7.29	5 - 8	Memenuhi syarat

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Gradasi Agregat Kasar dan Syarat Menurut ASTM C-33.

No	Diameter Ayakan (mm)	Berat Tertahan			Berat Lolos Kumulatif (%)	ASTM C-33
		Gram	%	Kumulatif (%)		
1	25	0	0	0	100	100
2	19	208,5	6,96	6,96	93,04	90 – 100
3	12,5	1368,5	45,69	52,65	47,35	-
4	9,5	691,5	23,08	75,73	24,27	20 – 55
5	4,75	536,5	17,91	93,64	6,36	0 – 10
6	2,36	190,5	6,36	100	0	0 – 5
7	1,18	0	0	100	0	-
8	0,85	0	0	100	0	-
9	0,3	0	0	100	0	-
10	0,15	0	0	100	0	-
11	0	0	0	100	0	-
Jumlah		2995,5	100	828,98	-	-

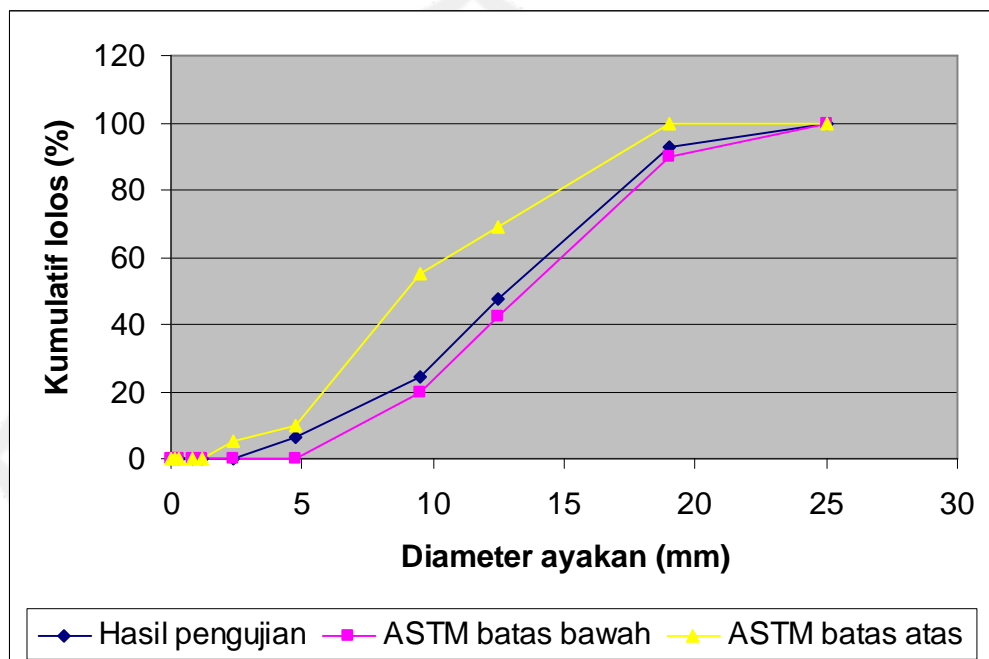
$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus} &= \frac{\sum \text{berat kumulatif tertinggal} - 100}{100} \\ &= \frac{828,98 - 100}{100} = 7,29 \end{aligned}$$

$$\text{Agregat yang hilang} = \frac{3000 - 2995,5}{3000} \times 100\% = 0,15\%$$

Syarat : Modulus halus agregat kasar antara 5 - 8

(Kardiyono Tjokrodikuljo, 1996).

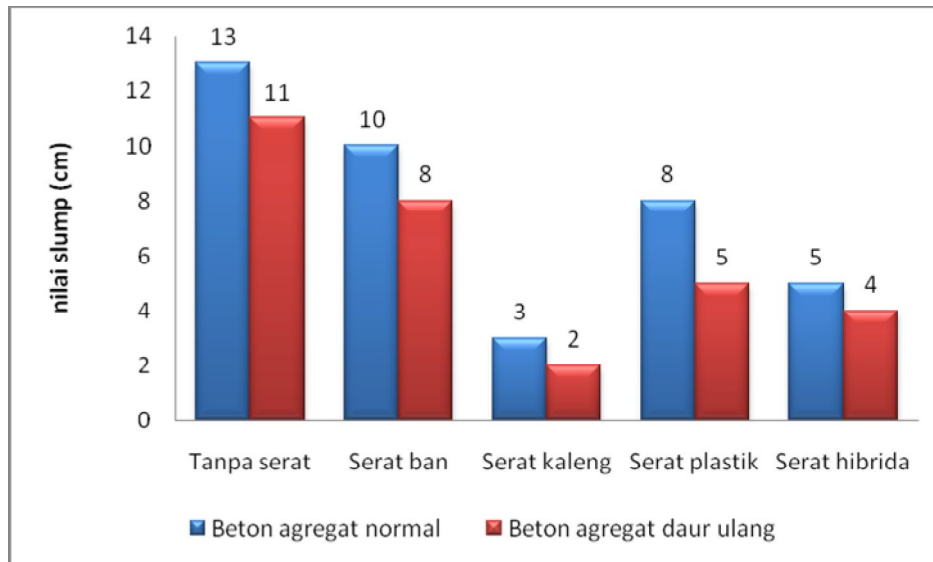
Hasil analisis modulus halus agregat kasar daur ulang sebesar 7,29 sehingga masih memenuhi syarat sebagai agregat halus. Hasil analisis saringan menunjukkan bahwa agregat kasar daur ulang yang diuji telah memenuhi syarat batas yang ditentukan oleh ASTM C-33.



Gambar 4.3 Distribusi Butir Agregat Kasar Daur Ulang

4.3 Hasil Pengujian Slump

Hasil pengujian nilai slump dari masing-masing campuran beton dengan penggunaan agregat kasar normal maupun daur ulang, serat maupun non serat disajikan pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Hasil pengujian slump

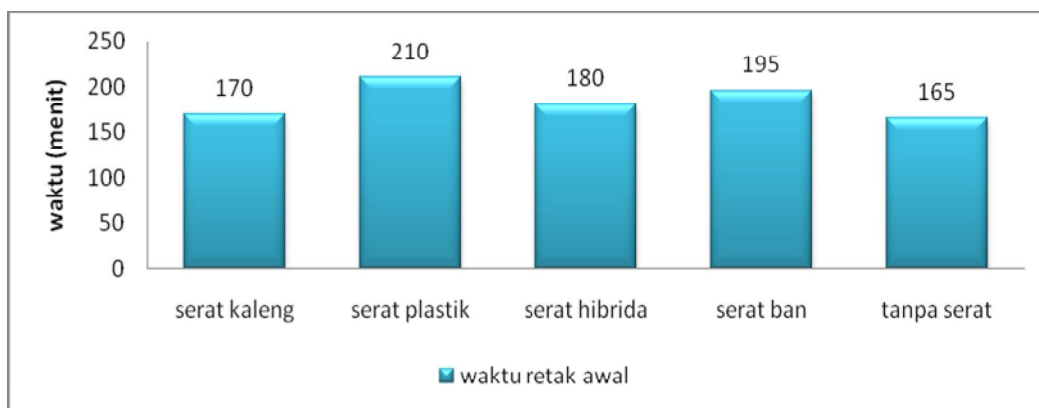
4.4 Hasil Pengujian *Shrinkage* Umur Awal Beton Berserat

Pengujian ini bertujuan membandingkan kinerja *Shrinkage* umur awal beton yang terdiri dari 10 macam benda uji. Setiap benda uji terdiri dari 2 sample untuk di ambil nilai rata-ratanya. Kinerja yang di amati meliputi waktu pertama muncul retak, panjang total terjadi retak, jumlah retak yang terjadi, serta tebal maksimum retak.

4.4.1 Hasil Pengujian *Shrinkage* Umur Awal Beton Agregat Daur Ulang

4.4.1.1 Waktu Pertama Kali Retak

Data hasil pengamatan waktu pertama kali muncul retak pada beton agregat daur ulang disajikan dalam Gambar 4.5 sebagai berikut.



Gambar 4.5 Waktu Pertama Muncul Retak

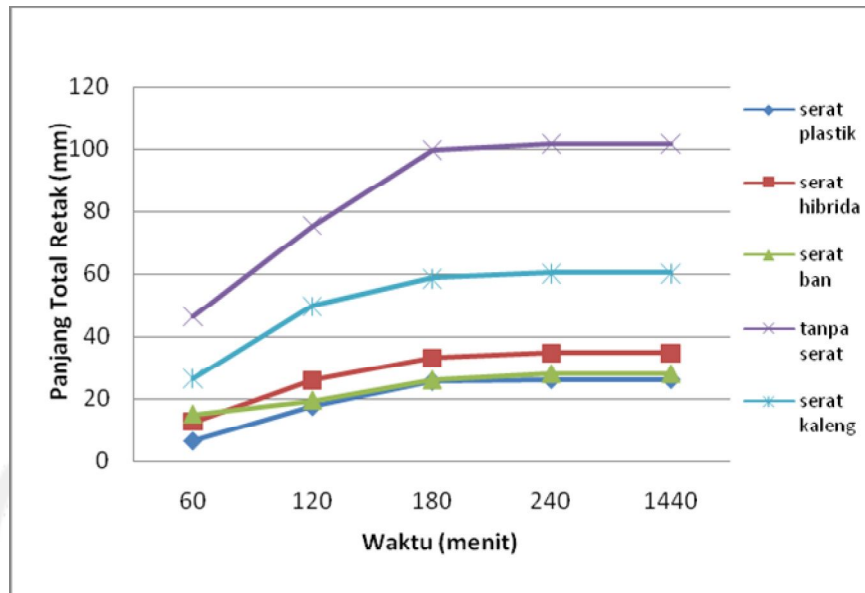
Pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa beton agregat daur ulang tanpa serat memiliki waktu retak awal yang paling cepat di bandingkan beton agregat daur ulang dengan penambahan serat. Beton agregat daur ulang dengan serat plastik memiliki waktu pertama muncul retak yang paling lama dibandingkan beton agregat daur ulang dengan penambahan serat ban, kaleng, maupun serat hibrida.

4.4.1.2 Panjang Total Retak

Data hasil pengamatan panjang total retak pada beton agregat daur ulang disajikan dalam Tabel 4.7 dan Tambar 4.6. Pegamatan panjang retak di mulai sejak waktu retak awal kemudian dilakukan pengamatan setiap 60 menit.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Panjang Total Terjadi Retak Beton Agregat Daur Ulang.

Waktu(menit)	Kaleng(mm)	plastik(mm)	hibrida(mm)	ban(mm)	tanpa serat(mm)
60	26.5	6.25	12.625	15	46.5
120	49.75	17.5	26	19.5	75.5
180	58.5	25.55	33.2	26	99.75
240	60.25	26.15	34.7	28	101.75
1140	60.25	26.15	34.7	28	101.75

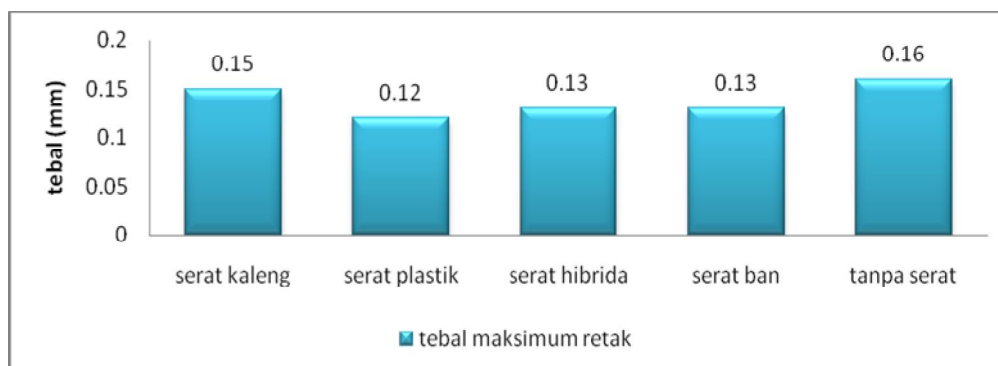


Gambar 4. 6 Panjang Total Retak

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa beton agregat daur ulang tanpa serat memiliki panjang total retak yang paling besar di bandingkan beton agregat daur ulang dengan penambahan serat. Beton agregat daur ulang dengan penambahan serat plastik memiliki panjang total retak yang paling kecil dibandingkan beton agregat daur ulang dengan penambahan serat ban, kaleng, maupun serat hibrida.

4.4.1.3 Lebar Maksimum Retak

Data hasil pengamatan lebar maksimum retak pada beton agregat daur ulang disajikan dalam Gambar 4.7 sebagai berikut.



Gambar 4.7 Tebal Maksimum Retak

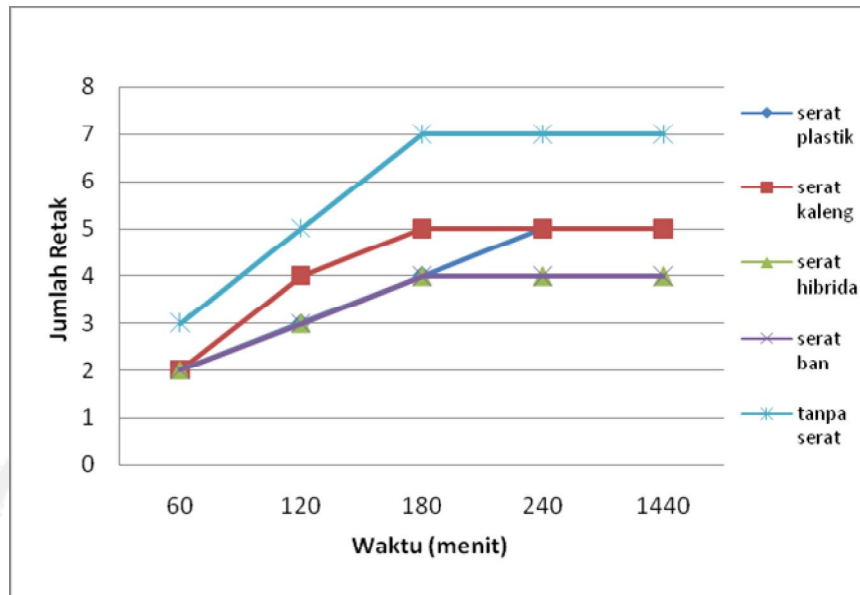
Gambar 4.7 menunjukkan bahwa beton agregat daur ulang tanpa serat memiliki tebal maksimum retak yang paling besar di dibandingkan beton agregat daur ulang dengan penambahan serat. Beton agregat daur ulang dengan penambahan serat plastik memiliki tebal maksimum retak yang paling kecil dibandingkan beton agregat daur ulang dengan penambahan serat ban, kaleng, maupun serat hibrida.

4.4.1.4 Jumlah Total Retak

Data hasil pengamatan jumlah total retak pada beton agregat daur ulang disajikan dalam Tabel 4.8 dan Gambar 4.8. Pengamatan jumlah total retak di mulai sejak waktu retak awal kemudian dilakukan pengamatan setiap 60 menit.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian jumlah Total Terjadi Retak Beton Agregat Daur Ulang.

Waktu(menit)	kaleng	plastik	hibrida	ban	tanpa serat
60	2	2	2	2	3
120	4	3	3	3	5
180	5	4	4	4	7
240	5	5	4	4	7
1140	5	5	4	4	7



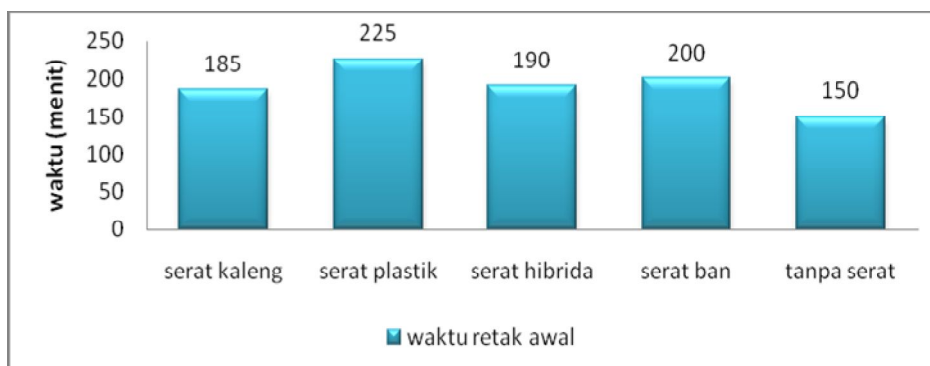
Gambar 4. 8 Jumlah Total Retak

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa beton agregat daur ulang tanpa serat memiliki jumlah total retak yang paling besar di bandingkan beton agregat daur ulang dengan penambahan serat. Beton agregat daur ulang dengan penambahan serat hibrida dan beton agregat daur ulang dengan penambahan serat ban memiliki jumlah total retak yang lebih sedikit dibandingkan beton agregat daur ulang dengan penambahan serat kaleng, maupun serat plastik.

4.4.2 Hasil Pengujian *Shrinkage* Umur Awal Beton Agregat Normal

4.4.2.1 Waktu Pertama Kali Retak

Data hasil pengamatan waktu pertama kali muncul retak pada beton agregat normal disajikan dalam Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Waktu Pertama Muncul Retak

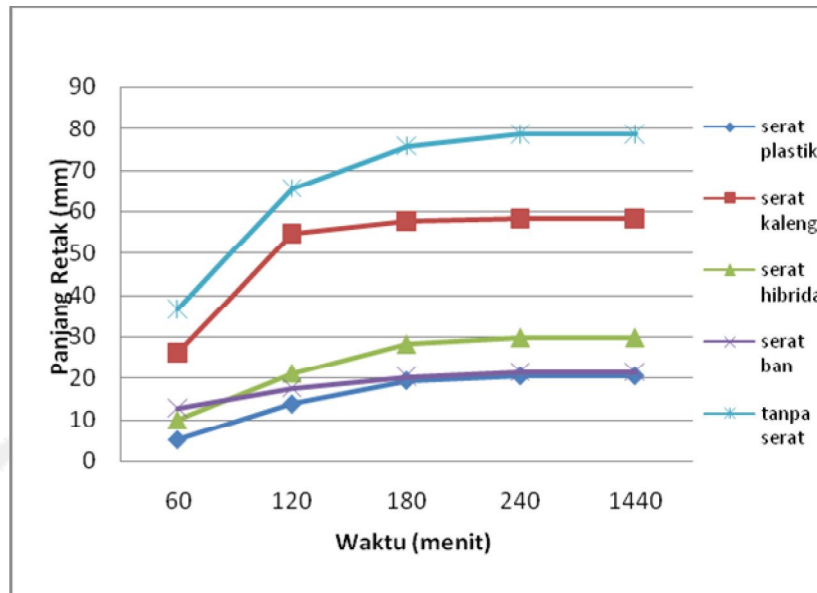
Gambar 4.9 menunjukkan bahwa beton agregat normal tanpa serat memiliki waktu retak awal yang paling cepat di bandingkan beton agregat normal dengan penambahan serat. Beton agregat normal dengan penambahan serat plastik memiliki waktu pertama muncul retak yang paling lama dibandingkan beton agregat normal dengan penambahan serat ban, kaleng, maupun serat hibrida.

4.4.2.2 Panjang Total Retak

Data hasil pengamatan panjang total retak pada beton agregat normal disajikan dalam Tabel 4.9 dan Gambar 4.10. Pengamatan panjang retak di mulai sejak waktu retak awal kemudian dilakukan pengamatan setiap 60 menit.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Panjang Total Terjadi Retak Beton Agregat Normal.

Waktu(menit)	Kaleng(mm)	plastik(mm)	hibrida(mm)	ban(mm)	tanpa serat(mm)
60	26	5.05	10	12.75	36.55
120	54.5	13.7	21.25	17.5	65.5
180	57.5	19.35	28.25	20.3	75.75
240	58.25	20.5	29.85	21.35	78.65
1140	58.25	20.5	29.85	21.35	78.65

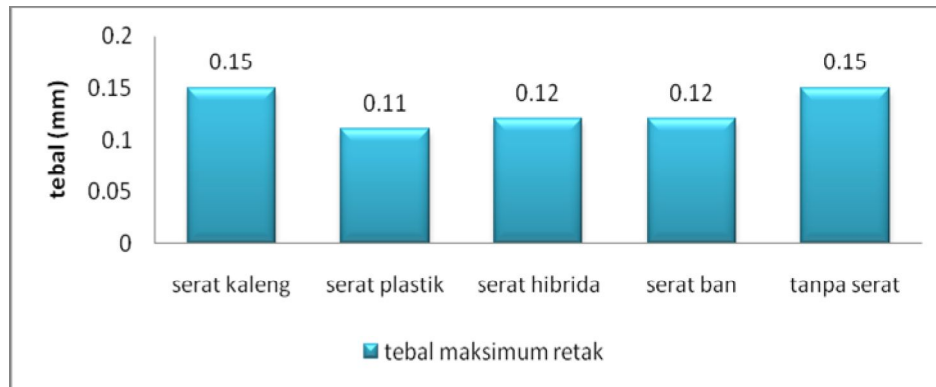


Gambar 4. 10 Panjang Total Retak

Gambar 4. 10 menunjukkan bahwa beton agregat normal tanpa serat memiliki panjang total retak yang paling besar di dibandingkan beton agregat normal dengan penambahan serat. Beton agregat normal dengan penambahan serat plastik memiliki panjang total retak yang paling kecil dibandingkan beton agregat normal dengan penambahan serat ban, kaleng, maupun serat hibrida.

4.4.2.3 Lebar Maksimum Retak

Data hasil pengamatan lebar maksimum retak pada beton agregat normal disajikan dalam Gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Tebal Maksimum Retak

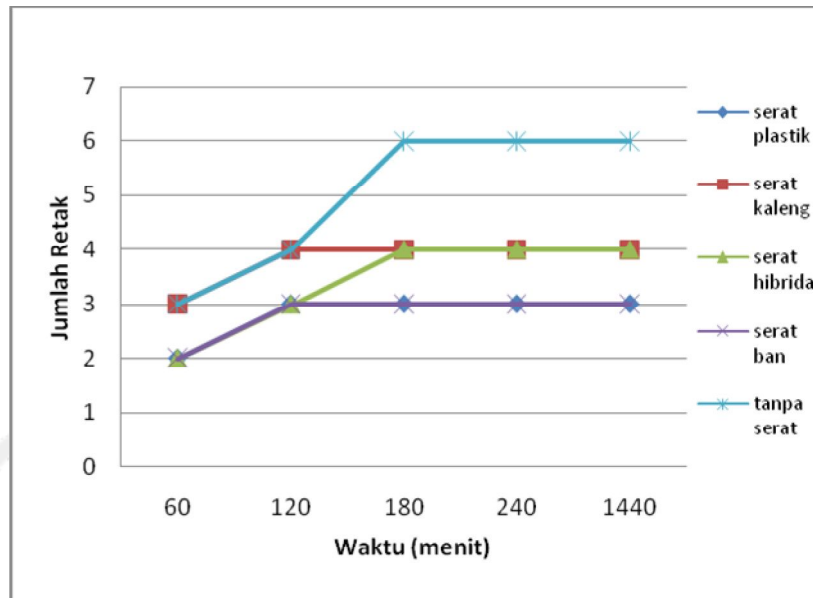
Gambar 4.11 menunjukkan bahwa beton agregat normal tanpa serat dan beton agregat normal dengan penambahan serat kaleng memiliki lebar maksimum retak yang lebih besar di bandingkan beton agregat normal dengan penambahan serat ban, plastik, maupu hibrida.

4.4.2.4 Jumlah Total Retak

Data hasil pengamatan jumlah total retak pada beton agregat normal disajikan dalam Tabel 4.10 dan Gambar 4.12. Pegamatan jumlah total retak di mulai sejak waktu retak awal kemudian dilakukan pengamatan setiap 60 menit.

Tabel 4.10 Hasil Pengujian jumlah Total Terjadi Retak Beton Agregat Normal.

Waktu(menit)	kaleng	platik	hibrida	ban	tanpa serat
60	3	2	2	2	3
120	4	3	3	3	4
180	4	3	4	3	6
240	4	3	4	3	6
1140	4	3	4	3	6



Gambar 4. 12 Jumlah Total Retak

Gambar 4.12 menunjukkan bahwa beton agregat normal tanpa serat memiliki jumlah total retak yang paling besar di bandingkan beton agregat normal dengan penambahan serat. Beton agregat normal dengan penambahan serat plastik dan beton agregat normal dengan penambahan serat ban memiliki jumlah total retak yang lebih sedikit dibandingkan beton agregat normal dengan penambahan serat kaleng, maupun serat ban.

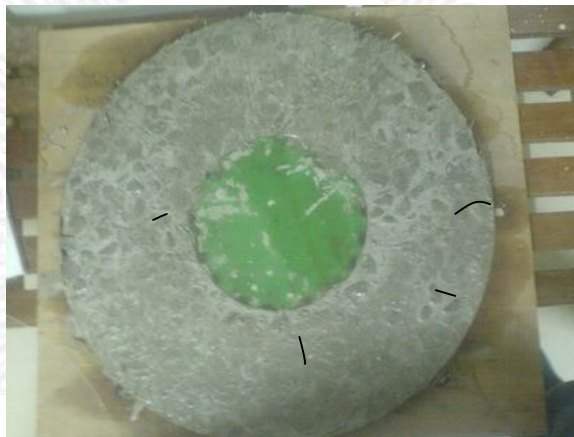
4.5 Foto Benda Uji

4.5.1 Beton Agregat Daur Ulang

Foto benda uji beton serat dengan agregat daur ulang disajikan dalam Gambar 4.13 sampai 4.17. Bintik-bintik hitam menunjukkan tempat terjadinya retak.



Gambar 4. 13 Beton Agregat Daur Ulang Serat Ban.



Gambar 4. 14 Beton Agregat Daur Ulang Serat Hibrida.



Gambar 4. 15 Beton Agregat Daur Ulang Serat Kaleng.



Gambar 4. 16 Beton Agregat Daur Ulang Serat Plastik.



Gambar 4. 17 Beton Agregat Daur Ulang Tanpa Serat.

4.5.2 Beton Agregat Normal

Foto benda uji beton serat dengan agregat normal disajikan dalam Gambar 4.18 sampai 4.22. Bintik-bintik hitam menunjukkan tempat terjadinya retak.



Gambar 4. 18 Beton Agregat Normal Serat Ban.



Gambar 4. 19 Beton Agregat Normal Serat Hibrida.



Gambar 4. 20 Beton Agregat Normal Serat Kaleng.



Gambar 4. 21 Beton Agregat Normal Serat Plastik.



Gambar 4. 22 Beton Agregat Normal Tanpa Serat.

4.6 Pembahasan

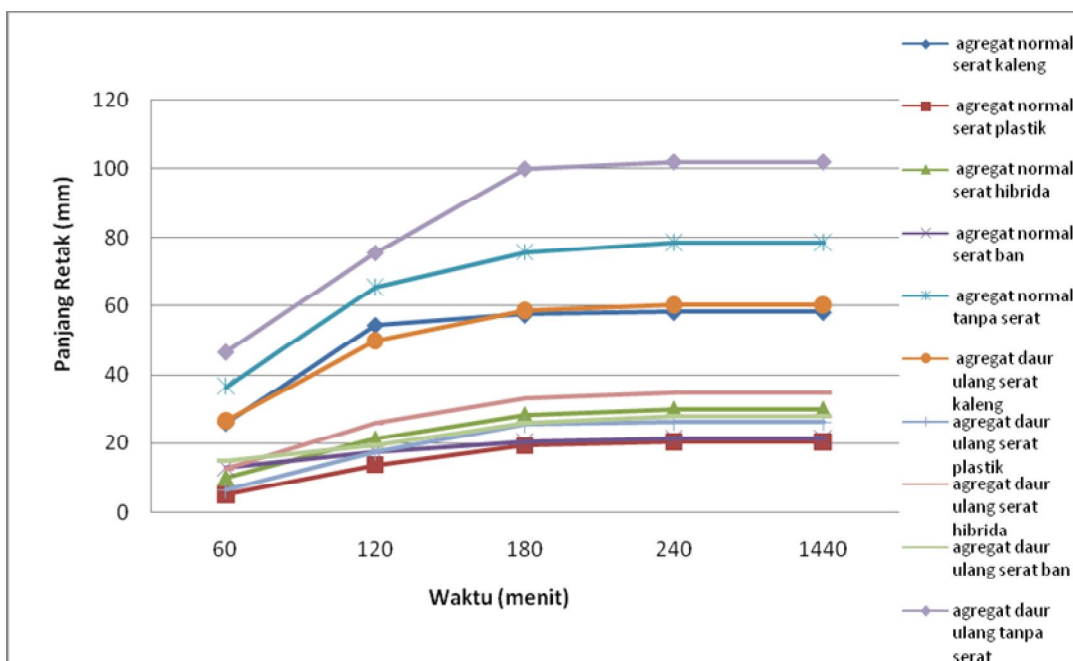
Beton dengan agregat normal memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan beton dengan agregat daur ulang dalam menahan retak di umur awal beton. Keberadaan serat mampu meningkatkan kinerja beton dalam menahan formasi retak di umur awal beton. Penambahan serat mampu memperkecil panjang total retak, lihat Gambar 4.23. Penambahan serat mampu mengurangi jumlah retak yang terjadi, lihat Gambar 4.24. Penambahan serat mampu memperkecil tebal maksimum retak, lihat Gambar 4.25. Penambahan serat mampu menunda waktu retak awal, lihat Gambar 4.26.

Secara umum terlihat bahwa beton yang mengandung serat menunjukkan kinerja lebih baik dibandingkan hasil yang ditunjukkan beton tanpa serat.

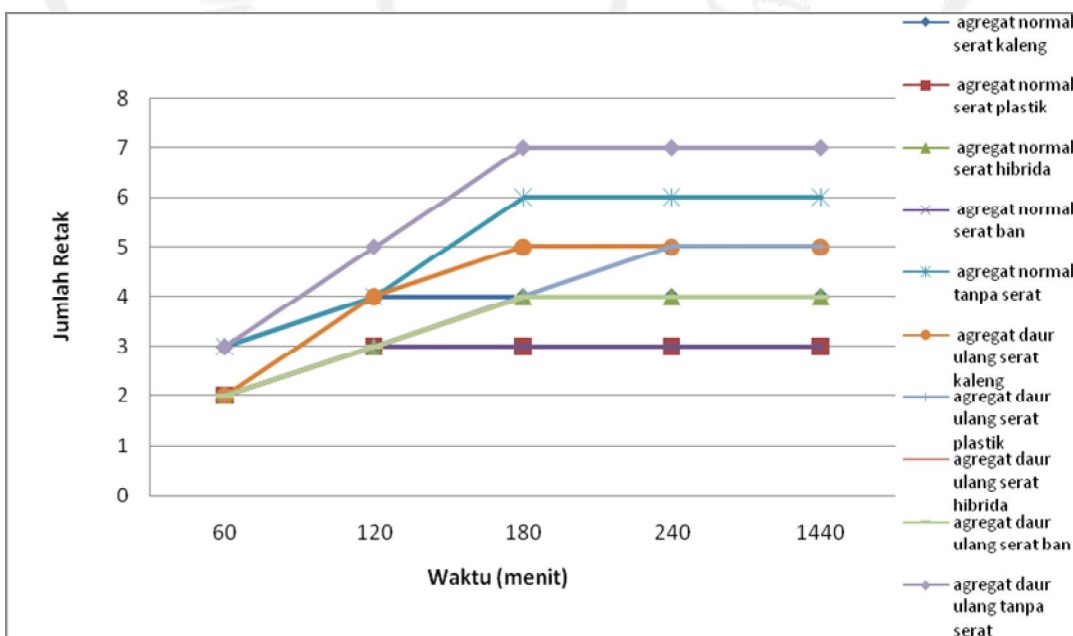
Fenomena tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut. Setelah beton segar dituang ke dalam cetakan, terjadi penguapan air dari beton segar. Jika kecepatan pelepasan air akibat penguapan lebih besar dari kecepatan hidrasi air dari dalam beton segar ke permukaan akan memunculkan tegangan di permukaan benda uji. Tegangan tersebut merupakan tegangan tarik yang dipicu oleh *shrinkage* karena adanya *capillary suction* (Holt E dan Leivo M, 2003). Keadaan ini berpotensi retak karena kekuatan beton di umur awal belum cukup kuat menahan tegangan tarik di permukaan benda uji beton (Heka R dan Hubertorva M, 2006).

Serat meningkatkan kuat tarik beton. Pada umur awal, adhesi beton dan serat berkontribusi pada peningkatan kuat tarik beton. Serat berfungsi sebagai angkur mini yang menunda kejadian retak. Waktu retak awal, lebar maksimum retak dan jumlah retak pada beton berserat lebih kecil dibandingkan pada beton tanpa serat.

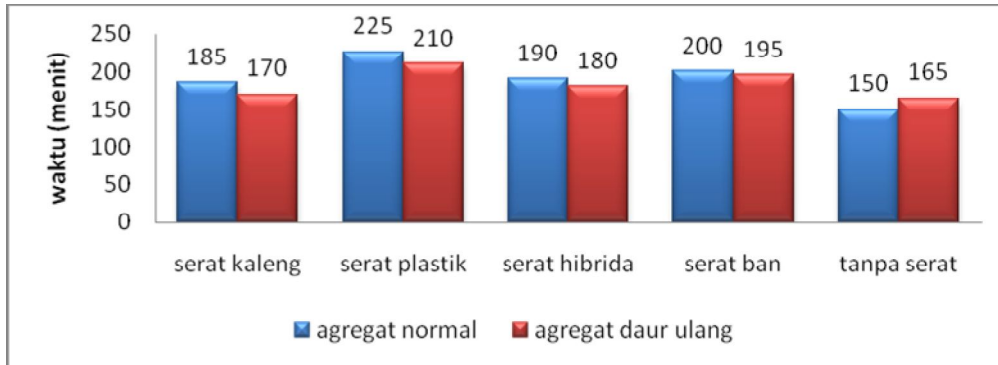
Berdasarkan Gambar 4.23 sampai Gambar 4.26, beton berserat plastik memiliki kontribusi paling baik dibandingkan beton tanpa serat dan beton serat lainnya (ban, kaleng dan hibrida). Serat plastik memiliki tarik bahan yang paling bagus diantara serat ban, kaleng dan hibrida. Serat ban sangat elastis dan cenderung lentur sehingga kurang baik dalam menahan tagangan tarik beton. Serat kaleng cenderung lebih kaku sehingga kurang baik dalam menahan tegangan tarik beton. Serat kaleng bahkan menunjukkan kinerja yang lebih buruk dibandingkan serat ban karena serat kaleng memiliki kuat tarik yang lebih kecil. Serat hibrida, kombinasi antara serat plastik dan serat kaleng memiliki kinerja yang lebih baik daripada serat kaleng, tetapi lebih buruk daripada serat ban.



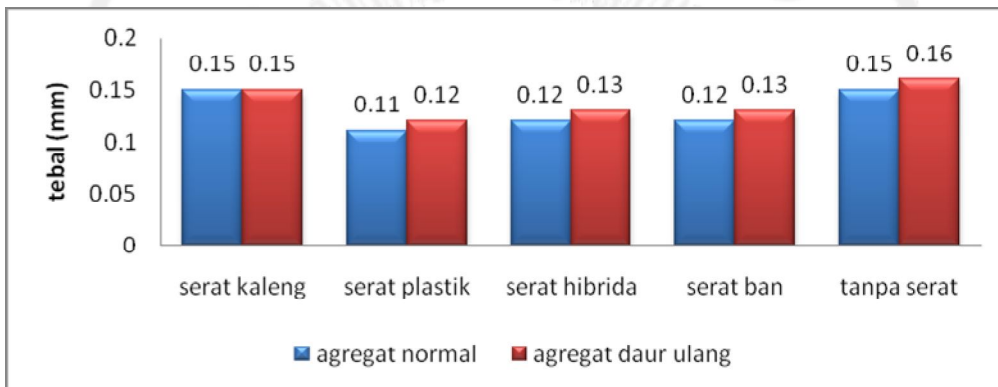
Gambar 4. 23 Panjang Total Retak.



Gambar 4. 24 Jumlah Total Retak.



Gambar 4. 25 Waktu Retak Awal.



Gambar 4. 26 Tebal Maksimum Retak.

