



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PERILAKU KUAT GESER PADA BETON
DENGAN MENGGUNAKAN SERAT KAWAT
BENDRAT**

SKRIPSI

**Ivan Christian Lukito
0706266336**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JUNI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**DIRECT SHEAR STRENGTH OF ANNEALED-
WIRE-FIBER-CONCRETE**

THESIS

Ivan Christian Lukito

0706266336

**FACULTY OF ENGINEERING
CIVIL ENGINEERING STUDY PROGRAM
DEPOK
JUNE 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PERILAKU KUAT GESER PADA BETON
DENGAN MENGGUNAKAN SERAT KAWAT
BENDRAT**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk
memperoleh gelar Sarjana**

Ivan Christian Lukito

0706266336

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN STRUKTUR
DEPOK
JUNI 2011**

Universitas Indonesia

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Dengan ini, saya menyatakan bahwa Skripsi dengan judul

**“STUDI PERILAKU KUAT GESER PADA BETON DENGAN
MENGUNAKAN SERAT KAWAT BENDRAT”**

Adalah hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan duplikasi dari skripsi yang pernah dipublikasikan atau pernah digunakan untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di Perguruan Tinggi. Adapun bila ada kesamaan hanya pada referensi dengan mencantumkan nama peneliti.

Depok, 2011



Ivan Christian Lukito

0706266336

ORIGINALITY STATEMENT OF THESIS

I declared thesis with title

**“DIRECT SHEAR STRENGTH OF ANNEALED-WIRE-FIBER-
CONCRETE”**

Is the result of my own and is not duplication of any thesis ever published to obtain degree in any university or academic courses. If there are any resemblance only in references with name of the author written on the references.

Depok, 2011



Ivan Christian Lukito

0706266336

LEMBARAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul :

**“STUDI PERILAKU KUAT GESER PADA BETON DENGAN
MENGUNAKAN SERAT KAWAT BENDRAT”**

Disusun oleh : Ivan Christian Lukito

Nomor Mahasiswa : 0706 266 336

Jurusan : Teknik Sipil

Peminatan : Struktur

**Disusun untuk melengkapi persyaratan kurikulum program Sarjana
Reguler Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.**

Telah disetujui untuk diajukan dalam Sidang Skripsi

Depok, 14 Juni 2011

Menyetujui,



Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

Dosen Pembimbing I

Menyetujui,



Ir. Essy Ariyuni, M.Sc, Ph.D

Dosen Pembimbing II

LEMBARAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

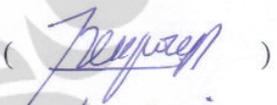
Nama : Ivan Christian Lukito
NPM : 0706266336
Program Studi : Teknik Sipil (Peminatan: Struktur)

Judul Skripsi :

“STUDI PERILAKU KUAT GESER PADA BETON DENGAN MENGUNAKAN SERAT KAWAT BENDRAT”

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Tim Penguji : Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA ()
: Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA ()
: Ir. Essy Ariyuni, M.Sc, Ph.D ()
: Ir. Madsuri, MT ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 17 Juni 2011

VALIDATION SHEET

This thesis is submitted by :

Name : Ivan Christian Lukito
NPM : 0706266336
Study Program : Teknik Sipil (Peminatan: Struktur)

Thesis :

“DIRECT SHEAR STRENGTH OF ANNEALED-WIRE-FIBER- CONCRETE”

Have been successfully examined in front of the examiners team and accepted as part of the requirements necessary to obtain the Engineering Bachelor Degree of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Indonesia.

EXAMINERS TEAM

Examiners : Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA ()
: Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA ()
: Ir. Essy Ariyuni, M.Sc, Ph.D ()
: Ir. Madsuri, MT ()

State on : Depok

Date : June, 17th 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Sipil Peminatan Struktur pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA, selaku dosen pembimbing I yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Ir. Essy Ariyuni, M.Sc, Ph.D, selaku dosen pembimbing II yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (3) Orang tua, adik, dan seluruh keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan baik secara material maupun moral;
- (4) Teman satu kelompok skripsi, Adi Saputra Hendri Lim dan Ayu Widya Murti, untuk kerja sama yang sangat baik selama melakukan penelitian;
- (5) Bapak Sudjatmoko, selaku Kepala R&D Adhimix Batching Plant Lenteng Agung, yang telah membantu kami untuk memenuhi kebutuhan material;
- (6) Laboran Laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia yang memberi dukungan tenaga dan moral, Pak Supri, Pak Hanafie, Pak Agus *Ironman*, Pak Yudi Boger, Pak Yudi Obet, Pak Idris, Pak Apri, Pak Sony, Mas Min;
- (7) Karyawan Laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia yang memberi dukungan tenaga dan moral, Ibu Santi, Ibu Ida, Ibu Debby, Michael, Azis, Pak Fajar;
- (8) Sahabat-sahabat dari Jurusan Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Universitas Indonesia, terutama angkatan 2007 yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini; dan

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan terutama dalam bidang teknologi material dalam lingkup teknik sipil.

Depok, 2011



Ivan Christian Lukito

0706266336



**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ivan Christian Lukito

NPM : 0706 266 336

Program Studi : Teknik Sipil (Peminatan: Struktur)

Departemen : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**“STUDI KUAT GESER PADA BETON NORMAL DENGAN
PENAMBAHAN SERAT KAWAT BENDRAT”**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 17 Juni 2011

Yang menyatakan



Ivan Christian Lukito

ABSTRAK

Nama : Ivan Christian Lukito
Program Studi : Teknik Sipil (Peminatan Struktur)
Judul : Studi Perilaku Kuat Geser pada Beton dengan Menggunakan Serat Kawat Bendrat

Kawat bendrat dibandingkan dengan serat baja yang pada umumnya digunakan untuk campuran beton memiliki kelebihan yakni harga yang lebih murah. Kawat bendrat digunakan sebagai pengganti serat baja dengan cara dipotong menjadi serat berukuran 30 mm. Penggunaan serat kawat bendrat di dalam campuran beton berguna untuk memperbaiki sifat mekanis beton, seperti kuat geser.

Penelitian ini menggunakan sampel geser *double-L* berukuran 30 cm x 20 cm x 7.5 cm dan sampel geser kubus berukuran 30 cm x 15 cm x 10 cm. Sampel diuji dengan menggunakan alat tes tekan universal. Sampel dibuat dengan mutu beton $f_c' 25$ MPa dengan variabel jumlah bendrat di dalam campuran beton sebanyak 0%, 4%, 6%, 8%, 10%, dan 12% terhadap jumlah semen. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sampel yang menggunakan kawat bendrat sebanyak 8% terhadap jumlah semen dalam campuran beton memiliki kenaikan kekuatan geser langsung yang optimum.

Kata kunci:
geser langsung, serat, kawat, bendrat, beton

ABSTRACT

Name : Ivan Christian Lukito
Study Program : Civil Engineering (Structural Engineering)
Title : Direct Shear Strength of Annealed-Wire-Fiber Concrete

Annealed wire is less expensive compared to the steel fibre used for fibre reinforced concrete and it is used as replacement of steel fibre by cutting this wire into pieces by size of 30 mm. The use of annealed wire fibre (AW-fibre) in concrete mix is to strengthen the shear capacity of concrete.

A research outcomes based on a set of laboratory experimental works done to numbers of double L concrete specimens size of 30 cm x 20 cm x 7.5 cm and cube concrete specimens size of 30 cm x 15 cm x 10 cm loaded under direct shear force by a universal compression machine. The specimens were constructed from 25 MPa AW-fiber concrete, using 0%, 4%, 6%, 8%, 10%, and 12% percentage of fibre content to the weight of cement proportion. The result from this research shows that by adding 8% of AW-fibre produced a maximum improvement of the direct shear strength capacity of this type of AW-fibre concrete.

Key words:

direct shear, fibre, annealed, wire, AW-fibre, concrete

DAFTAR ISI

Pernyataan Orisinalitas Skripsi	ii
Originality Statement Of Thesis	iii
Lembaran Persetujuan	iv
Lembaran Pengesahan	v
Validation Sheet	vi
Kata Pengantar	vii
Pernyataan Persetujuan Publikasi Karya Ilmiah untuk Kepentingan Akademis	ix
Abstrak	x
Abstract	xi
Daftar Isi	xii
Daftar Gambar	xv
Daftar Tabel	xvii
Daftar Lampiran	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Penelitian	1
1.2 Perumusan masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Hipotesis	2
1.5 Batasan Masalah	2
1.6 Metode Penelitian	4
1.7 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 STUDI LITERATUR	5
2.1 Material	5
2.1.1 Beton	5
2.1.2 Semen	8
2.1.3 Agregat	11
2.1.4 Air	19
2.1.5 Abu Terbang (Fly Ash)	20
2.1.6 Beton Serat	23
2.2 Kuat Geser	24
BAB 3 METODE PENELITIAN	28
3.1 Metode Pengujian Material	29

3.1.1	Metode Pengujian Konsistensi Semen Hidrolis	29
3.1.2	Metode Pengujian Waktu Ikut Semen Hidrolis	31
3.1.3	Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat Kasar	33
3.1.4	Metode Pengujian Specific Gravity dan Absorpsi Agregat Kasar	35
3.1.5	Metode Pengujian Abrasi	36
3.1.6	Metode Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar	38
3.1.7	Metode Pengujian Specific Gravity dan Absorpsi Agregat Halus	40
3.1.8	Metode Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus	41
3.1.9	Metode Pengujian Kadar Air Agregat Kasar dan Agregat Halus	42
3.1.10	Metode Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	43
3.1.11	Metode Pengujian Kotoran Organik	44
3.2	Metode Perhitungan Campuran Beton (Mix Design)	44
3.3	Metode Pembuatan Benda Uji Beton	48
3.3.1	Metode Pembuatan Benda Uji Double-L (30 cm x 20 cm x 7.5 cm)	48
3.3.2	Metode Pembuatan Benda Uji Geser Kubus (30 cm x 15 cm x 10 cm)	50
3.4	Metode Pengujian Kuat Geser Beton	51
3.4.1	Metode Pengujian Sampel <i>double-L</i>	51
3.4.2	Metode Pengujian Sampel Geser Kubus Khusus	52
3.5	Jumlah Benda Uji	53
3.6	Jadwal Penelitian	55
3.7	Pengumpulan Data Penelitian	55
BAB 4 DATA DAN ANALISIS		56
4.1	Properti Material	56
4.1.1	Semen	56
4.1.2	Agregat Kasar	57
4.1.3	Agregat Halus	62
4.2	Fiber Bendrat	66
4.3	<i>Mix Design</i>	66
4.4	Pembuatan Benda Uji	69
4.5	Trial Mix	71
4.6	Hasil Pengujian Benda Uji Geser Kubus	76
4.7	Hasil Pengujian Benda Uji Geser <i>Double-L</i>	77
4.8	Analisis	78

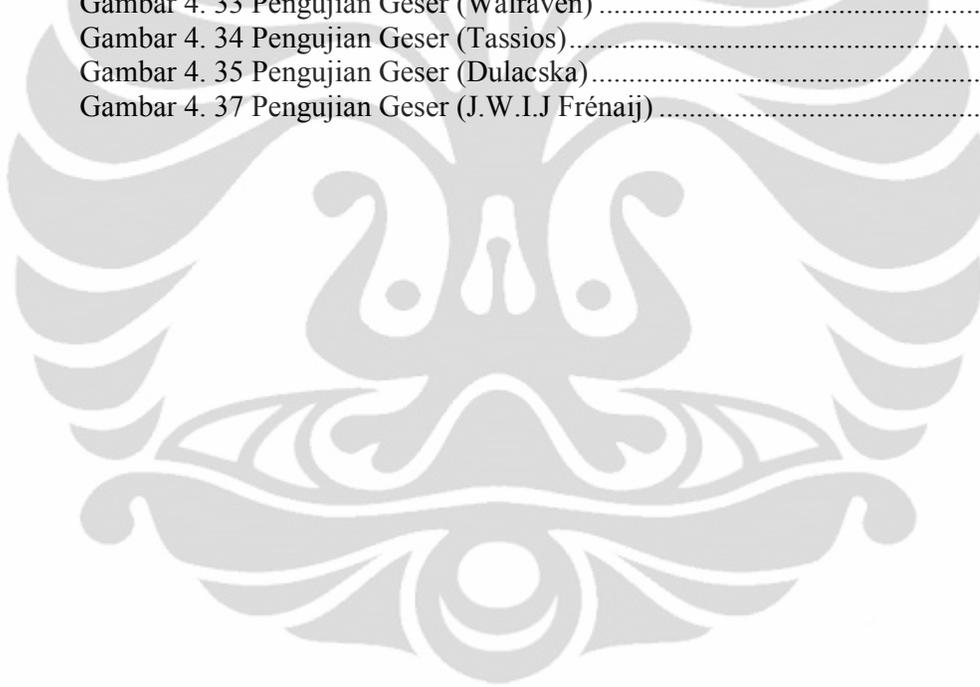
4.9	Perbandingan dengan Jurnal	86
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		92
5.1	Kesimpulan	92
5.2	Saran	93



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Grafik Sifat-Sifat Komponen Senyawa Semen.....	9
Gambar 2. 2 Jenis Agregat berdasarkan Bentuk	13
Gambar 2. 3 Agregat Saling Mengunci (interlocking).....	14
Gambar 2. 4 Kondisi Agregat Kering Oven, Kering Udara, Kering Permukaan, dan Basah	15
Gambar 2. 5 Gradasi Agregat Uniform.....	17
Gambar 2. 6 Gradasi Agregat Gap.....	17
Gambar 2. 7 Gradasi Agregat Continuous	18
Gambar 2. 8 Lokasi Geser Maksimum pada Bangunan Beton	25
Gambar 2. 9 Diagram Gaya Geser pada Balok Beton	25
Gambar 2. 10 Spesifikasi dan Dimensi Benda Uji Double-L	26
Gambar 2. 11 Area Geser Sampel Double-L	27
Gambar 2. 12 Spesifikasi dan Dimensi Benda Uji Geser Kubus.....	27
Gambar 2. 13 Area Geser Sampel Kubus	27
Gambar 3. 1 Flow Chart Penelitian.....	28
Gambar 3. 2 Alat Vicat dengan Jarum untuk Pengujian Konsistensi Semen Hidrolis	31
Gambar 3. 3 Alat Vicat dengan Jarum untuk Pengujian Waktu Ikat Semen Hidrolis	33
Gambar 3. 4 Mesin Los Angeles (Abrasi) dan bagian-bagiannya	38
Gambar 3. 5 Saringan Agregat.....	39
Gambar 3. 6 Gambaran Pengujian Slump.....	49
Gambar 3. 7 Pengujian Sampel Geser Double-L.....	51
Gambar 3. 8 Dimensi Penampang yang Mengalami Geser	52
Gambar 3. 9 Pengujian Sampel Geser Kubus	52
Gambar 3. 10 Dimensi Penampang yang Mengalami Geser	53
Gambar 4. 1 Hasil Percobaan Waktu Ikat.....	57
Gambar 4. 2 Mesin Analisa Saringan	59
Gambar 4. 3 Gradasi Agregat Kasar Dibandingkan dengan SNI 02-2384-1992..	60
Gambar 4. 4 Mesin Los Angeles.....	61
Gambar 4. 5 Gradasi Agregat Halus	64
Gambar 4. 6 Pengujian Kadar Organik	65
Gambar 4. 7 Fiber Bendrat.....	66
Gambar 4. 8 Agregat dikondisikan SSD	69
Gambar 4. 9 Beton Segar Hasil Mixing	70
Gambar 4. 10 Uji Slump	70
Gambar 4. 11 Pencatatan Suhu dan Kelembaban saat Mixing	70
Gambar 4. 12 Beton Segar di Bekisting Benda Uji	71
Gambar 4. 13 Kolam Perawatan Benda Uji.....	71
Gambar 4. 14 Bekisting Benda Uji Geser Kubus dan Benda Uji Double-L.....	72
Gambar 4. 15 Trial Mix Benda Uji Geser Kubus	72
Gambar 4. 16 Retak Benda uji geser double-L tanpa tulangan.....	72
Gambar 4. 17 Benda Uji Geser double-L tanpa Tulangan saat Pengujian.....	73
Gambar 4. 18 Trial Mix Benda Uji Double-L.....	74

Gambar 4. 19 Penggunaan Styrofoam dan Capping pada Benda Uji Geser Kubus	75
Gambar 4. 20 Bekisting Sekali Pakai Benda Uji Double-L dengan Tulangan dan Cetakan Tahu Beton	75
Gambar 4. 21 Kuat Geser Benda Uji Geser Kubus	76
Gambar 4. 22 Kuat Geser Benda Uji Geser <i>Double-L</i>	77
Gambar 4. 23 Grafik Polinomial Benda Uji Geser Kubus	78
Gambar 4. 24 Grafik Polinomial Benda Uji Geser <i>double-L</i>	79
Gambar 4. 25 Hasil Uji Geser dengan Mekanisme Double Shear	81
Gambar 4. 26 Hasil Uji Geser dengan Mekanisme Single Shear	81
Gambar 4. 27 Persebaran Fiber Bendrat pada Area Geser	82
Gambar 4. 28 Densitas Beton berdasarkan Persentase Fiber	84
Gambar 4. 29 Slump Beton berdasarkan Persentase Fiber	84
Gambar 4. 30 Faktor Air Semen Beton berdasarkan Persentase Fiber	85
Gambar 4. 31 Spesifikasi Sampel (Jayaprakash, 2009)	86
Gambar 4. 32 Pengujian Geser (Paulay dan Loeber)	87
Gambar 4. 33 Pengujian Geser (Walraven)	88
Gambar 4. 34 Pengujian Geser (Tassios)	88
Gambar 4. 35 Pengujian Geser (Dulacska)	89
Gambar 4. 37 Pengujian Geser (J.W.I.J Frénaïj)	89



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jenis Semen berdasarkan Sifat Alami Semen.....	8
Tabel 2. 2 Sifat-Sifat Komponen Senyawa Semen (George Earl Troxell, 1968) ...	9
Tabel 2. 3 Komponen Senyawa dalam Semen.....	10
Tabel 2. 4 Tipe-Tipe Semen di Indonesia.....	11
Tabel 2. 5 Tipe Batuan Agregat Alam	12
Tabel 2. 6 Syarat Besar Butir Agregat Kasar.....	18
Tabel 2. 7 Syarat besar butir agregat halus	19
Tabel 2. 8 Sifat Fisik dan Kimia (SNI 03-6863-2002).....	20
Tabel 2. 9 Komposisi Kimia Abu Terbang (www.headwaterresources.com)	21
Tabel 2. 10 Sifat–Sifat Kawat yang Digunakan Sebagai Bahan Fiber Lokal (Suhendro, 2000)	23
Tabel 3. 1 Kapasitas Wadah.....	34
Tabel 3. 2 Berat untuk setiap gradasi benda uji	37
Tabel 3. 3 Berat Contoh Agregat Minimum	42
Tabel 3. 4 Perkiraan Jumlah Air Pencampur yang dibutuhkan dan Kandungan Udara untuk Workability yang berbeda dan Ukuran Agregat Maksimum berdasarkan ACI 211.1-91	46
Tabel 3. 5 Hubungan antara Rasio Air-Semen dan Kuat Tekan Beton Rata-Rata setelah 28 Hari berdasarkan ACI 211.1-91	47
Tabel 3. 6 Hubungan antara Maximum Size Aggregates, Fineness Modulus, dan Estimasi Jumlah Agregat Kasar berdasarkan ACI 211.1-91	47
Tabel 3. 7 Jadwal Penelitian.....	55
Tabel 4. 1 Hasil Percobaan Konsistensi Normal.....	56
Tabel 4. 2 Specific Gravity dan Absorpsi Agregat Kasar.....	57
Tabel 4. 3 Hasil Percobaan Berat Isi dari Agregat Kasar	58
Tabel 4. 4 Hasil Percobaan Analisa Saringan Agregat Kasar.....	59
Tabel 4. 5 Hasil Percobaan Abrasi.....	61
Tabel 4. 6 Specific Gravity dan Absorpsi Agregat Halus.....	62
Tabel 4. 7 Hasil Percobaan Berat Isi Agregat Halus.....	63
Tabel 4. 8 Hasil Percobaan Analisa Saringan Agregat Halus.....	63
Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No.200	65
Tabel 4. 10 Mix Design.....	69
Tabel 4. 11 Persentase Kenaikan Kuat Geser	80
Tabel 4. 12 Korelasi Uji Geser Kubus dan Uji Geser Double-L	80
Tabel 4. 13 Korelasi Kuat Geser Kubus dengan Kuat Tekan	82
Tabel 4. 14 Korelasi Kuat Geser double-L dengan Kuat Tekan.....	83
Tabel 4. 15 Hasil Uji Kuat Geser Kubus dan <i>Double-L</i>	86
Tabel 4. 16 Hasil Pengujian Sampel (Jayaprakash, 2009).....	87
Tabel 4. 17 <i>Mix Design</i> (J.W.I.J Frénaij).....	90
Tabel 4. 18 Hasil Penelitian Kuat Geser J.W.I.J Frénaij.....	90
Tabel 4. 19 Perbandingan dengan Jurnal Penelitian	90

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A - Hasil Uji Geser

Lampiran B - Perhitungan *Mix Design* Beton (Metode ACI)

Lampiran C - Properti Material

Lampiran D - Hasil Uji XRF *Fly Ash*

Lampiran E - Benda Uji Geser Kubus

Lampiran F - Benda Uji Geser *Double-L*



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Teknologi beton terus berkembang seiring kemajuan jaman. Kualitas yang semakin baik, berbagai penelitian penambahan material serta kombinasi dari komposisi material beton dilakukan untuk mendapatkan kualitas beton yang lebih baik dari sebelumnya. Berbagai cara dilakukan seperti penambahan *fly ash* untuk mengurangi jumlah semen dalam beton, berbagai penambahan bahan kimia untuk meningkatkan kekuatan beton, mempercepat peningkatan kekuatan beton, ataupun meningkatkan *workability* dari beton hingga penambahan serat baja dalam campuran beton. Namun beton memiliki kelemahan dalam kuat tariknya. Kelemahan dalam kuat tarik ini mempengaruhi sifat mekanis lain seperti kuat lentur dan kuat geser.

Material baja memiliki sifat yang baik dalam hal kuat tariknya. Bila digunakan sebagai salah satu bahan dalam campuran beton, beton akan mengalami peningkatan kuat tarik. Namun tidak hanya terbatas dalam kuat tarik saja, kuat lentur dan kuat geser pun mengalami peningkatan kekuatan karena kuat lentur dan kuat geser juga memiliki perilaku tarik saat menahan beban lentur dan beban geser.

Dalam penelitian ini, kawat bendrat dipilih sebagai salah satu campuran untuk komposisi beton karena mudah didapatkan di Indonesia dan harganya relatif tidak mahal dibandingkan dengan jenis kawat baja lainnya, sehingga diharapkan hasil penelitian ini mampu diadaptasi untuk diaplikasikan di lapangan.

Pengaruh dari penambahan kawat bendrat dalam sifat-sifat mekanisnya belum banyak diketahui masyarakat secara umum. Literatur tentang topik ini pun masih terbatas. Oleh karena itu, dalam skripsi ini

akan dibahas sifat-sifat mekanis pada beton biasa dengan penambahan serat kawat bendrat. Secara khusus, akan dibahas tentang kuat geser pada beton normal dengan penambahan serat kawat bendrat.

1.2 Perumusan masalah

Masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Bagaimana pengaruh penambahan fiber bendrat pada beton biasa terhadap kuat geser beton?
- Berapa persentase penambahan fiber bendrat optimum terhadap jumlah semen sebagai serat dalam campuran beton?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini secara khusus bertujuan untuk memperbaiki sifat geser dari beton dengan cara menambahkan serat kawat bendrat. Selain itu, akan diteliti juga persentase optimum dari jumlah kawat bendrat terhadap jumlah semen pada beton normal.

1.4 Hipotesis

Baja memiliki sifat tarik yang baik. Uji geser memiliki korelasi dengan nilai dari kuat tarik. Nilai kuat geser dari sampel beton yang diberi penambahan serat kawat bendrat akan mengalami kenaikan dibandingkan dengan beton biasa tanpa penambahan kawat bendrat. Hal ini disebabkan sifat tarik dari beton meningkat.

1.5 Batasan Masalah

Untuk memperjelas penelitian sifat-sifat mekanis pada beton biasa dengan menggunakan serat kawat bendrat ini serta menghindari kesamaan dengan penelitian-penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, maka diberlakukan pembatasan-pembatasan sebagai berikut:

- Spesifikasi sampel beton:
 1. Semen yang digunakan adalah semen tipe PCC *Portland Concrete Cement* dengan merk Tiga Roda dari Indocement.

2. Agregat kasar menggunakan batu pecah ex Rumpin dari *Batching Plant* Adhimix Lenteng Agung dengan ukuran maksimum 25 mm dan tertahan saringan no 4 ASTM.
3. Agregat halus menggunakan pasir alam dari Cimangkok dengan ukuran maksimum 4,75 mm, lolos saringan no 4 ASTM.
4. Air menggunakan air PDAM dari laboratorium bahan dan material jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia Depok
5. *Fly ash* berasal dari PLTU Suralaya dengan spesifikasi pada lampiran.
6. Serat menggunakan kawat bendrat yang digunakan sebagai serat pada beton adalah kawat bendrat yang telah dipotong-potong sepanjang 3 cm \pm 0,1 cm dengan diameter 0,80-1,00 mm.
7. Persentase serat kawat bendrat dalam beton adalah 0%, 4%, 6%, 8%, 10%, dan 12%
8. f_c' yang digunakan adalah 25 MPa
9. Rasio air-semen (W/C Ratio) yang digunakan pada kisaran 0,5
10. Slump rencana adalah 15 cm \pm 2 cm dan pada praktiknya dipertahankan berada pada kisaran tersebut dengan kemungkinan w/c berubah namun tidak signifikan
11. Sampel beton yang digunakan untuk uji kuat geser langsung berupa bentuk kubus berdimensi 30 cm x 15 cm x 10 cm.
12. Sampel beton yang digunakan untuk uji kuat geser langsung berupa beton *double-L* berdimensi 30 cm x 25 cm x 7,5 cm

➤ Penelitian Laboratorium

1. Penelitian yang dilakukan terhadap semen mencakup konsistensi dan waktu ikat semen.
2. Penelitian yang dilakukan terhadap agregat kasar mencakup berat isi, kadar air, abrasi, analisa saringan, *specific gravity*, dan absorpsi.
3. Penelitian yang dilakukan terhadap agregat halus mencakup berat isi, kadar air, analisa saringan, *specific gravity*, absorpsi, pemeriksaan kotoran organik, dan kadar lumpur.
4. Pengujian *slump*.

5. Pengujian kuat geser kubus dan kuat geser *double-L* beton pada umur beton 28 hari.
6. Metode pengujian menggunakan standar ASTM (*American Society for Testing and Materials*) dan ACI (*American Concrete Institute*).

1.6 Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan cara ekperimental yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Material, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

1.7 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Membahas latar belakang dilakukan penelitian, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan penelitian ini.

BAB II STUDI LITERATUR

Membahas dasar teori tentang material dan pengujian yang dibutuhkan untuk menunjang penelitian dari berbagai referensi yang ada.

BAB III METODE PENELITIAN

Membahas tentang metode yang digunakan dalam penelitian dan langkah-langkah yang digunakan dalam pengujian sampel beton.

BAB IV HASIL DAN ANALISIS

Membahas hasil yang didapat setelah dilakukann pengujian sampel beton dan analisis terhadap hasil dari pengujian sampel beton.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Membahas hal-hal yang dapat disimpulkan setelah dilakukannya pengujian dan analisis terhadap sampel beton, serta saran yang dapat dilakukan terkait dengan hasil dilakukannya pengujian dan analisis terhadap sampel beton.

BAB 2

STUDI LITERATUR

2.1 Material

2.1.1 Beton

Definisi beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat.

Kualitas dari suatu beton ditentukan oleh tiga hal, yakni:

a. Sifat beton

Sifat beton dibedakan pada dua kondisi, yakni pada saat kondisi beton segar (*fresh concrete*) dan beton yang telah mengeras (*hard concrete*).

Beton segar merupakan campuran beton yang belum mengeras. Biasanya bertahan beberapa jam setelah campuran beton diaduk. Untuk beton tipe 1, menurut standar ASTM, biasanya beton segar akan bertahan selama 90 menit sebelum menjadi beton keras.

Beton segar memiliki sifat kemudahan pengerjaan (*workability*).

Sifat ini dapat diukur dengan karakteristik sebagai berikut:

- konsistensi
- mobilisasi (mudah mengisi rongga)
- stabil (lebih tahan terhadap segregasi material)

Beton segar tidak boleh dimobilisasi atau didiamkan terlalu lama karena beton segar akan segera mengeras setelah beberapa jam menjadi *hard concrete*. Sedangkan setelah beton mengeras, sifat kemudahan pengerjaannya akan hilang. Namun kuat tekannya meningkat.

b. Proporsi material

Proporsi material tergantung pada kebutuhan kekuatan beton. Material yang digunakan dalam campuran beton antara lain semen,

agregat, air, dan bahan tambahan lain. Persentase masing-masing komponen akan mempengaruhi kualitas beton.

c. Proses produksi

Proses pencampuran beton yang baik akan menghasilkan kualitas beton yang baik. Kontrol kualitas dapat berupa memastikan tidak ada bahan organik yang tercampur saat pencampuran beton, jumlah air disesuaikan dengan kadar air dan kemampuan absorpsi dari agregat, dan lain sebagainya.

Beton memiliki kelebihan dan kekurangan antara lain sebagai berikut (Tjokrodimulyo, 1996),

Kelebihan Beton :

- i. Beton mampu menahan gaya tekan dengan baik, serta mempunyai sifat tahan terhadap korosi dan pembusukan oleh kondisi lingkungan.
- ii. Beton segar dapat dengan mudah dicetak sesuai dengan keinginan. Cetakan dapat pula dipakai berulang kali sehingga lebih ekonomis.
- iii. Beton segar dapat disemprotkan pada permukaan beton lama yang retak maupun dapat diisikan kedalam retakan beton dalam proses perbaikan.
- iv. Beton segar dapat dipompakan sehingga memungkinkan untuk dituang pada tempat-tempat yang posisinya sulit.
- v. Beton tahan aus dan tahan bakar, sehingga perawatannya lebih murah.

Kekurangan Beton :

- i. Beton dianggap tidak mampu menahan gaya tarik, sehingga mudah retak. Oleh karena itu perlu di beri baja tulangan sebagai penahan gaya tarik.
- ii. Beton keras menyusut dan mengembang bila terjadi perubahan suhu, sehingga perlu dibuat dilatasi (*expansion joint*) untuk mencegah terjadinya retakan – retakan akibat terjadinya perubahan suhu.
- iii. Untuk mendapatkan beton kedap air secara sempurna, harus dilakukan dengan pengerjaan yang teliti.

- iv. Beton bersifat getas (tidak daktil) sehingga harus dihitung dan diteliti secara seksama agar setelah dikompositkan dengan baja tulangan menjadi bersifat daktil, terutama pada struktur tahan gempa.

Berdasarkan sifatnya sebagai beton segar (*fresh concrete*) dan beton yang telah mengeras (*Hard Concrete*), kelebihan dan kekurangan tersebut dapat dibuat menjadi lebih spesifik.

Kelebihan beton segar :

- i. Beton segar dapat dengan mudah dicetak sesuai dengan keinginan.
- ii. Beton segar dapat disemprotkan pada permukaan beton lama yang retak maupun dapat diisikan kedalam retakan beton dalam proses perbaikan.
- iii. Beton segar dapat dipompakan sehingga memungkinkan untuk dituang pada tempat-tempat yang posisinya sulit.

Kekurangan beton segar :

- i. Beton segar belum memiliki kekuatan sebelum beton mengeras. Peningkatan kekuatan terjadi seiring berjalannya waktu.
- ii. Beton segar mempunyai temperatur tinggi karena adanya proses hidrasi yang menghasilkan panas hidrasi.

Kelebihan beton yang telah mengeras :

- i. Beton mampu menahan gaya tekan dengan baik, serta mempunyai sifat tahan terhadap korosi dan pembusukan oleh kondisi lingkungan.
- ii. Beton tahan aus dan tahan bakar, sehingga perawatannya lebih murah.

Kekurangan beton yang telah mengeras :

- i. Beton yang telah mengeras mengalami penurunan sifat kemudahan pengerjaan sehingga harus dilakukan pembobokan bila terjadi kesalahan bentuk.
 - ii. Pada saat awal ketika beton mulai berubah dari beton segar menjadi beton yang mengeras, beton mempunyai panas hidrasi yang cukup tinggi. Bila tidak dilakukan perawatan beton dengan baik dengan cara memberikan air secara terus menerus, maka beton akan mengalami retak.
- d. Proses hidrasi

Dalam proses hidrasi, C_3S dan C_2S yang terdapat dalam semen akan bereaksi dengan *hydrogen* akan berubah menjadi $C_3S_2H_3$ dan $Ca(OH)_2$. Produk dari proses hidrasi ini memiliki kelarutan terhadap air yang rendah. Senyawa $C_3S_2H_3$ (*Calcium Silicate Hydrate*) ini merupakan senyawa yang memperkuat beton (karena bersifat mengikat).

Proses hidrasi pada beton ini terjadi sejak 3 jam pertama setelah pemberian air dan dapat dikatakan berhenti atau tidak berpengaruh signifikan setelah beton mencapai umur 28 hari. Selama proses hidrasi ini, air harus selalu tersedia untuk membasahi beton karena proses hidrasi ini menghasilkan panas hidrasi.

2.1.2 Semen

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama terdiri atas Kalsium Silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa Kalsium Sulfat dan boleh ditambah dengan bahan lain (SNI 15-2049-1994).

Tabel 2. 1 Jenis Semen berdasarkan Sifat Alami Semen

Material	Cementitious Nature
Portland Cement	Hydraulic
Lime	Non Hydraulic
Gypsum	
Natural Pozzolan	Pozzolanic – Latent Hydraulic
Fly Ash	
Silica Fume	Latent Hydraulic
Ground Blast – Furnace Slag	Hydraulic – Latent Hydraulic

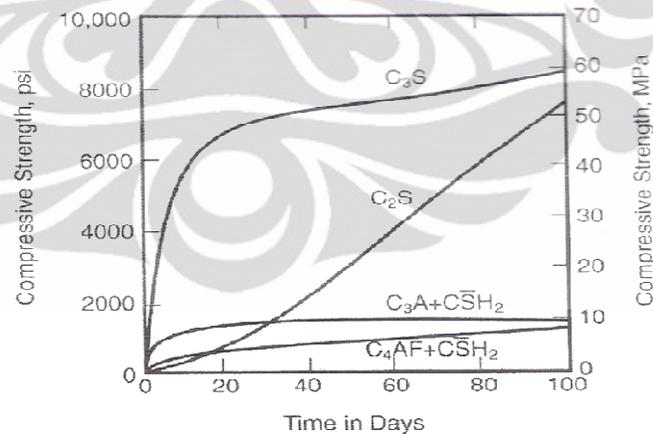
Semen mengandung senyawa-senyawa kimia. Senyawa-senyawa ini bereaksi di dalam campuran beton.

Tabel 2. 2 Sifat-Sifat Komponen Senyawa Semen (George Earl Troxell, 1968)

Komponen	Kelajuan Reaksi	Pelepasan Panas	Kuat Awal	Kuat Ultimate
Trikalsium silikat C_3S	Sedang	Sedang	Bagus	Bagus
Dikalsium Silikat C_2S	Lambat	Sedikit	Rendah	Bagus
Trikalsium Aluminat C_3A	Cepat	Banyak	Bagus	Rendah
Tetra kalsium aluminoferrat C_4AF	Lambat	Sedikit	Rendah	Rendah

Reaksi yang terlihat menonjol adalah

- Reaksi C_3S dan C_2S menyebabkan kuat tekan awal beton menjadi meningkat dengan cepat dan peningkatan kekuatan ini terus berlangsung seiring dengan bertambahnya umur beton. C_3S bereaksi lebih cepat di awal dibandingkan dengan reaksi C_2S .
- Reaksi C_3A di dalam kandungan semen mengakibatkan panas pada campuran beton.



Gambar 2. 1 Grafik Sifat-Sifat Komponen Senyawa Semen

Semen portland kering tidak mempunyai kemampuan untuk mengikat, sehingga semen portland termasuk ke dalam jenis semen hidrolis. Reaksi kimia antara semen dan air menghasilkan produk yang saling mengikat setelah mengeras. Proses ini dinamakan proses hidrasi.

Proses ini menghasilkan panas hidrasi. Panas hidrasi adalah proses dimana terjadi pelepasan panas akibat pencampuran antara semen dan air yang ditandai dengan mengerasnya pasta dan memiliki kekuatan tertentu.

Tabel 2. 3 Komponen Senyawa dalam Semen

	Rumus Kimia	Rumus IUPAC	Persen Kandungan	Proses Hidrasi
<i>Tricalcium Silicate</i>	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S	35-65	Sedang
<i>Dicalcium Silicate</i>	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S	15-40	Lambat
<i>Tricalcium Aluminate</i>	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	0-15	Cepat
<i>Tetracalcium Aluminoferrite</i>	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	6-20	Sedang

Trikalsium silikat Ca_3SiO_g dengan kadar lebih besar membuat campuran beton lebih cepat mengeras, sehingga cepat mencapai kekuatan. CaSiO_t dalam kadar yang lebih banyak dari biasanya akan membuat panas reaksi hidrasi menjadi lebih sedikit dan memperlama waktu pengerasan beton (Vlack, Lawrence H. Van. "Ilmu dan Teknologi Bahan 5thed").

Semen yang diproduksi di Indonesia dibedakan lima tipe :

1. Tipe I : semen untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus.
2. Tipe II : semen yang mempunyai panas hidrasi sedang atau pelepasan panas yang relatif sedikit, untuk penggunaan beton tahan sulfat .
3. Tipe III : semen yang mempunyai panas hidrasi tinggi, untuk penggunaan beton dengan kekuatan awal tinggi (cepat mengeras).
4. Tipe IV : semen yang mempunyai panas hidrasi rendah, biasa digunakan untuk pengecoran dengan volume yang sangat besar.
5. Tipe V : semen yang mempunyai ketahanan terhadap sulfat

Tabel 2. 4 Tipe-Tipe Semen di Indonesia

Cement Type	Standard Chemical Requirement				Uses
	C3S	C2S	C3A	C4AF + 2C3A	
I					General use; no special are not required
II			8		General use; has moderate sulfate resistance and heat of hydration
III			15		Required for high early strength mix
IV	35	40	7		Required for low heat hydration mix
V			5	25	Required for high sulfate resistance mix

2.1.3 Agregat

Agregat adalah material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah dan kerak tungku besi, yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton semen hidraulik atau adukan (SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung).

Menurut sumbernya, agregat dibagi menjadi dua jenis (Heddy R. Agah. *Introduction to Material Properties Course Note*. 2008), yakni :

a. Agregat alam

Agregat yang berasal dari alam langsung diambil dari tempat alami tanpa ada campur tangan manusia kecuali dalam hal penghancuran, pembentukan ukuran, dan pencucian.

Yang termasuk dalam jenis ini antara lain batu kali, batu kapur, cangkang kerang.

Agregat alam terbagi lagi menjadi tiga jenis berdasarkan tipe batuan:

➤ *Igneous rock*

Batuan ini terbentuk akibat pembentukan batuan dengan cara pendinginan (*cool melting*) baik yang terjadi di atas permukaan tanah ataupun di bawah tanah secara alami. Kandungan yang dimiliki batuan

ini antara lain kristal dan mineral dalam bentuk *crystalline matrix*. Ukuran agregat dipengaruhi oleh fungsi dari tingkat pendinginan.

➤ Batuan Sedimen

Batuan sedimen terbentuk akibat konsolidasi dari endapan, pengaruh dari cuaca, dan erosi batuan. Batuan jenis ini terbentuk secara alamiah dengan pemadatan mekanis yang minimal sehingga kemungkinan banyak rongga udara dalam batuan.

➤ Batuan Metamorph

Batuan metamorph adalah batuan yang mengalami pembentukan akibat suhu panas dan tekanan yang intens terhadap batuan sedimen. Hal ini berakibat batuan ini memiliki rongga udara yang minimum dan memiliki matriks yang kuat.

Tabel 2. 5 Tipe Batuan Agregat Alam

Rocks	Type	Specific Gravity	Porosity (%-Vol)
Igneous	Basalt	2,6 - 3,0	50 - 200
	Granite	2,6 - 3,0	100 - 250
Sedimentary	Shale	2,0 - 2,7	10 - 100
	Limestone	2,3 - 2,8	35 - 250
	Sandstone	2,2 - 2,7	20 - 175
Metamorphic	State	2,6-2,9	100 - 200
	Marble	2,6 - 2,8	100 - 250
	Quartzite	2,6 - 2,7	100 - 300

b. Agregat buatan

Agregat buatan dibuat dengan campur tangan manusia. Pembentukan agregat tidak terjadi secara alami di alam.

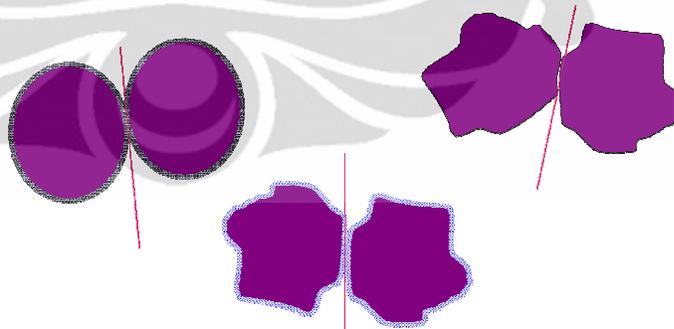
Yang termasuk dalam jenis ini antara lain dari bahan dasar tanah liat, batuan turunan dari produksi minyak bumi, ataupun agregat yang telah direkayasa menjadi agregat ringan.

Beberapa macam jenis agregat berdasarkan bentuk (Teknologi Beton Ir. Tri mulyono. MT) , antara lain :

- Bentuk bulat (Rounded) terbentuk karena banyaknya gesekan yang dialami oleh batuan yang terbawa oleh arus sungai dengan batuan yang terdapat di lereng-lereng sungai, sehingga makin semakin sering batu

tersebut bergesekan akibatnya menjadi berbentuk bulat. Rongga udaranya minimum 33% sehingga rasio luas permukaannya kecil.

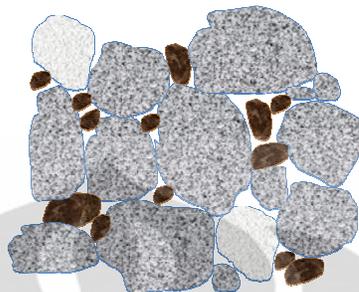
- Bentuk tidak beraturan (irregular), agregat ini bentuk permukaannya hampir sama dengan agregat bentuk bulat yaitu memiliki permukaan yang tidak tajam, hanya bentuknya saja yang tidak beraturan. Rongga udara pada agregat ini sekitar 35%-38% sehingga membutuhkan lebih banyak pasta semen agar mudah dikerjakan.
- Bersudut (angular), bentuknya tidak beraturan serta permukaannya tajam. Rongga udara pada agregat ini sekitar 38%-40% sehingga membutuhkan lebih banyak lagi pasta semen agar mudah dikerjakan.
- Bentuk pipih, dinamakan pipih karena ketebalannya lebih kecil dibandingkan dengan lebar dan panjangnya
- Agregat panjang. Agregat ini panjangnya jauh lebih besar dari pada lebarnya dan lebarnya jauh lebih besar daripada tebalnya. Agregat disebut panjang jika ukuran terbesarnya lebih dari 9/5 dari ukuran rata-rata. Dimana ukuran rata-rata adalah ukuran ayakan yang meloloskan dan menahan butiran agregat.
- Agregat pipih dan panjang. Agregat ini mempunyai panjang yang jauh lebih besar daripada lebarnya, sedangkan lebarnya jauh lebih besar dari tebalnya.



Gambar 2. 2 Jenis Agregat berdasarkan Bentuk

Bentuk agregat berpengaruh terhadap kemampuan saling mengikat antar agregat. Bentuk agregat yang memiliki banyak sudut memiliki kelebihan, yakni meningkatkan kemampuan saling mengunci di dalam campuran semen. Hal ini mempengaruhi kekuatan beton. Kekuatan campuran beton dengan menggunakan agregat yang memiliki banyak

sudut lebih tinggi daripada menggunakan agregat dengan bentuk lain karena sifat saling mengunci tersebut.



Gambar 2. 3 Agregat Saling Mengunci (interlocking)

Namun di balik keuntungan karena peningkatan kekuatan beton akibat sifat saling mengunci tersebut, agregat yang memiliki banyak sudut juga memiliki kelemahan, yakni menurunkan *workability* beton. Hal ini disebabkan sudut-sudut pada agregat meningkatkan gesekan yang dapat membuat *workability* beton menurun dibandingkan dengan penggunaan agregat dengan bentuk bulat. Penggunaan agregat berbentuk pipih dan panjang juga dapat menurunkan *workability* beton karena akan menghambat masuknya campuran beton ke dalam cetakan yang sempit atau karena rapatnya tulangan.

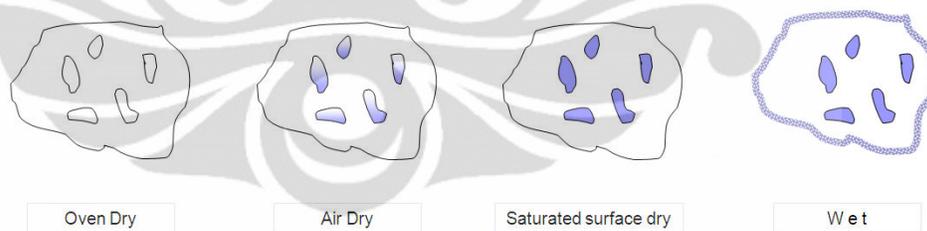
Berdasarkan Berat, agregat dibagi menjadi 3 macam (Teknologi Beton, Ir. Tri mulyono. MT), yaitu:

- a. Agregat ringan biasanya digunakan untuk menghasilkan beton ringan dalam sebuah bangunan. Agregat ringan ini biasanya digunakan untuk isolasi atau bahan untuk pratekan dimana paling banyak digunakan untuk beton pra-cetak. Keuntungan dari beton dengan agregat ringan ini adalah mempunyai sifat tahan api yang baik sedangkan kekurangannya adalah ukuran pori beton yang dibuat dengan agregat ini sangat besar sehingga penyerapannya akan besar juga.
- b. Agregat normal dihasilkan dari pemecahan langsung dari alam. Agregat ini biasanya berasal dari granit, basalt, kuarsa dan sebagainya. Berat jenis rata-ratanya adalah $2.5-2.7 \text{ kg/dm}^3$ atau tidak boleh kurang dari 1.2 kg/dm^3 . Beton yang dibuat dengan agregat ini adalah beton normal yaitu beton dengan berat isi $2200-2500 \text{ kg/dm}^3$.

- c. Agregat berat. Agregat ini mempunyai berat jenis lebih besar dari 2800 kg/m³. Sebagai contohnya adalah magnetit(FeO₄), barytes (BaSO₄) dan serbuk besi. Berat jenis beton yang dihasilkan dapat mencapai 5 kali berat jenis bahannya. Beton yang dibuat dengan agregat ini biasanya digunakan sebagai pelindung dari radiasi sinar X.

Berat dari beton sangat dipengaruhi oleh berat jenis agregat dalam campuran beton tersebut. Berat jenis agregat ada 3 jenis (ASTM D-128-79), yakni:

- Berat jenis (*bulk specific gravity*) ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada kondisi suhu tertentu.
- Berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry = SSD*) yaitu perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam jenuh pada suhu tertentu.
- Berat jenis semu (*apparent specific gravity*) ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu tertentu.



Gambar 2. 4 Kondisi Agregat Kering Oven, Kering Udara, Kering Permukaan, dan Basah

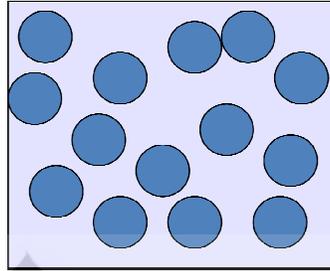
Penyerapan air oleh agregat (*absorption*) adalah kemampuan suatu benda untuk menyerap air dari keadaan kering mutlak menjadi keadaan SSD. Penyerapan air pada agregat dipengaruhi terutama oleh banyaknya pori, diameter pori, serta kontinuitas pori. Agregat yang memiliki porositas yang tinggi, dan memiliki lubang pori besar serta lubang porinya menerus, penyerapan airnya tinggi.

Berdasarkan diameter butiran, agregat dibagi menjadi 2 bagian, yaitu :

1. Agregat halus, yaitu agregat yang lolos saringan No. 4 dan tertahan saringan No. 200. Agregat halus harus terdiri dari bahan-bahan yang berbidang kasar, bersudut tajam dan bersih dari kotoran-kotoran atau bahan-bahan lain yang tidak dikehendaki. Agregat halus bisa terdiri dari pasir bersih, bahan-bahan halus hasil pemecahan batu atau kombinasi dari bahan-bahan tersebut dan dalam keadaan kering, serta memenuhi persyaratan sebagai berikut:
 - a. Nilai Sand Equivalent minimum 50 (AASHTO-T-1176)
 - b. Penyerapan agregat terhadap air maksimum 3% (ASTM C-128-04)
 - c. Berat jenis curah (Bulk) minimum 2.5 (ASTM C-29M-2003)
2. Agregat kasar, yaitu agregat yang tertahan pada saringan No. 4. Agregat harus terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah yang bersih, kering kuat, awet, dan bebas dari bahan lain yang mengganggu serta memenuhi persyaratan sebagai berikut :
 - a. Jumlah butir yang tertahan saringan No. 4 yang mempunyai paling sedikit dua bidang pecah (visual) : minimum 50 % (khusus untuk kerikil pecah)
 - b. Indeks kepipihan butiran yang tertahan saringan 9.5 mm (3/8") maksimum 25%
 - c. Penyerapan air maksimum 3 % (ASTM C-127-04)
 - d. Berat jenis curah minimum 2.5 % (ASTM C-29M-2003)
 - e. Bagian yang lunak maksimum 5% (AASHTO T-189)

Agregat memiliki beberapa jenis gradasi, seperti

 - a. Gradasi *uniform*
Agregat hanya memiliki satu ukuran fraksi.

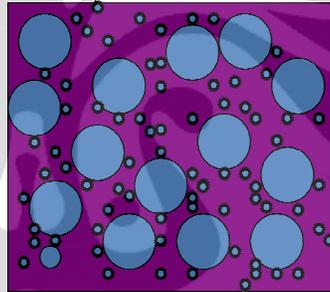


UNIFORM

Gambar 2. 5 Gradasi Agregat Uniform

b. Gradasi *gap*

Agregat memiliki beberapa ukuran fraksi, namun perbedaan ukuran cukup besar.

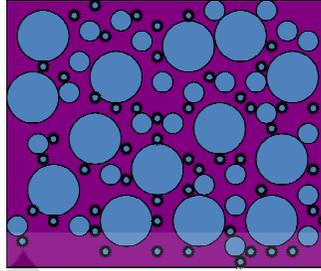


G A P

Gambar 2. 6 Gradasi Agregat Gap

c. Gradasi *continuous*

Agregat memiliki ukuran fraksi yang beragam. Gradasi agregat jenis ini paling baik karena memiliki sifat saling mengunci. Artinya agregat dengan ukuran yang lebih kecil mampu mengisi rongga-rongga udara yang tidak mampu diisi agregat dengan ukuran yang lebih besar.



CONTINUOUS

Gambar 2. 7 Gradasi Agregat Continuoous

Persyaratan gradasi agregat halus dan agregat kasar adalah sebagai berikut:

a. Persyaratan gradasi agregat kasar

Menurut ASTM C 33-03 syarat besar butir agregat kasar adalah sebagai berikut :

Tabel 2. 6 Syarat Besar Butir Agregat Kasar

Size Number	Nominal Size (Sieves with Square Openings)	Amounts Finer than Each Laboratory Sieve (Square-Openings), Mass Percent													
		100 mm (4 in.)	90 mm (3½ in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2½ in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1½ in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (¾ in.)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)	300 µm (No.50)
1	90 to 37.5 mm (3½ to 1½ in.)	100	90 to 100	...	25 to 50	...	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...	...
2	63 to 37.5 mm (2½ to 1½ in.)	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...	...
3	50 to 25.0 mm (2 to 1 in.)	...	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...
357	50 to 4.75 mm (2 in. to No. 4)	...	...	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	...	0 to 5	...	...	...
4	37.5 to 19.0 mm (1½ to ¾ in.)	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...
467	37.5 to 4.75 mm (1½ in. to No. 4)	...	...	...	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	0 to 5	...	...	...
5	25.0 to 12.5 mm (1 to ½ in.)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...	...	...	...
56	25.0 to 9.5 mm (1 to ¾ in.)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 65	10 to 40	0 to 15	0 to 5	...	...	...
57	25.0 to 4.75 mm (1 in. to No. 4)	...	...	...	...	...	100	95 to 100	...	25 to 60	...	0 to 10	0 to 5	...	...
6	19.0 to 9.5 mm (¾ to ¾ in.)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	0 to 5	...	...	...
67	19.0 to 4.75 mm (¾ in. to No. 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	...	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...	...
7	12.5 to 4.75 mm (½ in. to No. 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 70	0 to 15	0 to 5	...	...
8	9.5 to 2.36 mm (¾ in. to No. 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	65 to 100	10 to 30	0 to 10	0 to 5	...
89	9.5 to 1.18 mm (¾ in. to No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	5 to 30	0 to 10	0 to 5
9 ^A	4.75 to 1.18 mm (No. 4 to No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 to 100	10 to 40	0 to 10	0 to 5

^A Although size 9 aggregate is defined in Terminology C 125 as a fine aggregate, it is included as a coarse aggregate when it is combined with a size 8 material to create a size 89, which is a coarse aggregate as defined by Terminology C 125.

b. Persyaratan gradasi agregat halus

Menurut ASTM C 33-03 syarat besar butir agregat halus adalah sebagai berikut

Tabel 2. 7 Syarat besar butir agregat halus

Sieve No.	Percent passing
9.5-mm (3/8-in)	100
4.75-mm (No.4)	95-100
2.36-mm (No.8)	80-100
1.18-mm (No.16)	50-85
600- μ m (No.30)	25-60
300- μ m (No.50)	5-30
150- μ m (No.100)	0-10

2.1.4 Air

Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan.

Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali ketentuan berikut terpenuhi (SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung) :

1. Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.
2. Hasil pengujian pada umur 7 dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dibuat dari adukan dengan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90% dari kekuatan benda uji yang dibuat dengan air yang dapat diminum. Perbandingan benda uji kekuatan tersebut harus dilakukan pada adukan serupa, terkecuali pada air pencampur, yang dibuat dan diuji sesuai dengan “*Metode uji kuat tekan untuk mortar semen hidrolis (menggunakan spesimen kubus dengan ukuran sisi 50 mm)*” (ASTM C109)

2.1.5 Abu Terbang (Fly Ash)

Abu terbang atau *fly ash* digunakan sebagai campuran beton pertama kali di Amerika Serikat pada tahun 1929 sebagai campuran beton pada struktur *mass concrete* untuk proyek konstruksi *Hoover Dam*.

Di Indonesia, abu terbang mulai banyak digunakan sebagai campuran beton. Pemanfaatannya saat ini juga digunakan sebagai pengisi dalam laston, pembuatan batako atau bata ringan, dan stabilisasi tanah. Namun tingkat pemanfaatan abu terbang dalam produksi semen masih tergolong rendah karena masih terbatas pada industri dengan skala besar meskipun jumlah *fly ash* banyak tersedia dari sisa pembakaran berbagai industri.

Abu terbang yang cukup sering digunakan adalah abu batu bara, yakni abu yang dikumpulkan secara mekanik maupun dengan cara elektrostatik dari hasil pembakaran batu bara pada pembangkit listrik tenaga uap.

➤ Sifat fisik

Abu terbang adalah suatu material berbutir halus terdiri atas partikel yang berbentuk bundar, bersudut, atau tidak beraturan. Ukuran partikel abu terbang bervariasi tergantung pada sumber pengambilannya (bagian paling atas, tengah, atau paling bawah).

Tabel 2. 8 Sifat Fisik dan Kimia (SNI 03-6863-2002)

Sifat Fisik	Jenis F	Jenis C
Kehalusan ayakan diatas 4 μ m(max)	34%	34%
Keaktifan dengan PC I pada umur 28hari	75%	75%
Air (max)	105%	105%

➤ Kehalusan

Berdasarkan ASTM C 311-77 dalam keadaan kering, distribusi ukuran abu terbang adalah tertahan di ukuran 45 μ m. Dalam beberapa kasus, abu terbang berisi partikel yang diameternya lebih kecil dari 1 μ m.

➤ Komposisi Kimia

Komposisi dari *fly ash* sebagian besar terdiri dari *silikat dioksida* (SiO_2), *aluminium* (Al_2O_3), *besi* (Fe_2O_3), dan *kalsium* (CaO) sedangkan *magnesium*, *potasium*, *sodium*, *titanium*, dan *sulfur* juga ada tetapi dalam jumlah yang lebih sedikit. Sebagian besar komposisi kimia dari *fly ash* ini tergantung dari jenis dan asal batu bara yang digunakan.

Berdasarkan komposisi kimia yang terkandung didalamnya, jenis-jenis abu terbang menjadi tiga, yakni: Jenis F, C, dan N. Bahan-bahan penyusun abu terbang dan semen diperlihatkan melalui tabel berikut:

Tabel 2. 9 Komposisi Kimia Abu Terbang (www.headwaterresources.com)

Komposisi Kimia	Jenis Abu Terbang			Semen
	F	C	N	
SiO	54.90	39.90	58.20	22.60
Al_2O_3	25.80	16.70	18.40	4.30
Fe_2O_3	6.90	5.80	9.30	2.40
CaO	8.70	24.30	3.30	64.40
MgO	1.80	4.60	3.90	2.10
SO_3	0.60	3.30	1.10	2.30
$\text{Na}_2\text{O} \& \text{K}_2\text{O}$	0.60	1.30	1.10	0.60

Klasifikasi abu terbang berdasarkan komposisi kimia yang terkandung di dalamnya adalah sebagai berikut :

❖ Jenis F

- Berasal dari pembakaran bitumen batu bara
- Memiliki tingkat kehalusan dan komposisi karbon yang konstan
- Memiliki partikel karbon yang cenderung kasar
- Ukuran partikelnya adalah 45- μm
- Perbandingan penggunaan pada beton adalah 15-25% dari berat semen(berdasarkan ACI)

❖ Jenis C

- Berasal dari pembakaran *lignite* atau sub-bitumen batu bara
- Perbandingan penggunaan pada beton adalah 15-40% dari berat semen(berdasarkan ACI)

c. Lebih reaktif terhadap air karena memiliki persentase CaO yang besar (Ca termasuk golongan IIA)

❖ Jenis N

- a. Pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah *diatomic*, *opaline chertz* dan *shales*, *tuff* dan abu vulkanik dimana bisa diproses melalui pembakaran maupun tidak
- b. Mempunyai sifat pozzolan yang baik.

Abu terbang dapat digunakan sebagai pengganti material semen dalam jumlah tertentu. Menurut penelitian-penelitian yang pernah dilakukan, perbandingan jumlah abu terbang terhadap jumlah semen yang digunakan adalah sebesar 15%. Sedangkan menurut peraturan ACI, jumlah maksimum perbandingan *fly ash* dan semen dalam campuran beton adalah 10-25% karena bila terlalu sedikit ataupun terlalu banyak akan memperendah mutu beton. Sebaliknya, bila digunakan pada persentase optimum (didapat melalui *trial mix*) maka dapat menaikkan mutu beton hingga persentase tertentu.

Abu terbang mempunyai kadar bahan pembentuk semen yang tinggi dan mempunyai sifat pozzolanik, yaitu dapat bereaksi dengan kapur bebas Ca(OH)_2 yang dilepaskan semen saat proses hidrasi dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat pada temperatur normal dengan adanya air.

Dengan berkurangnya *calcium hidroksida* tidak membuat beton kekurangan sifat basanya karena *calcium silikat* hidrat juga bersifat basa kuat sehingga dapat menggantikan peran dari *calcium hidroksida* dalam membuat sifat basa dari beton. Dalam penggunaannya sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton, abu terbang bersifat sebagai pozzolan dan sebagai *filler*. Disebut pozzolan karena akan terjadi reaksi pengikatan antara semen dan *fly ash* yang sangat halus.

2.1.6 Beton Serat

Beton serat adalah bagian komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat. Serat pada umumnya berupa batang-batang dengan diameter antara 5 dan 500 μm (mikro meter) dan panjang sekitar 25 mm sampai 100 mm. Bahan serat dapat berupa : serat asbestos, serat tumbuh-tumbuhan (rami, bambu, ijuk), serat plastik (*polypropylene*), atau potongan kawat baja (Tjokrodumuljo 1996, 122)

Maksud utama dari penambahan serat ke dalam beton adalah untuk menambah kuat tarik beton. Dengan adanya serat, ternyata beton menjadi lebih tahan retak dan tahan benturan, jika masalah penyerapan energi diperlukan. Perlu diperhatikan bahwa pemberian serat tidak banyak menambah kuat tekan beton, namun hanya menambah daktilitas beton (Tjokrodumuljo 1996, 50)

Menurut Sudarmoko (dalam Tjokrodumuljo, 1996: 122) jika serat yang dipakai memiliki modulus elastisitas lebih tinggi daripada beton, misalnya kawat baja, maka beton serat akan mempunyai kuat tekan, kuat tarik, maupun modulus elastisitas yang sedikit lebih tinggi dari beton biasa Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Suhendro (1990) membuktikan bahwa sifat-sifat kurang baik dari beton, yaitu getas, praktis tidak mampu menahan tegangan tarik, dan ketahanan yang rendah terhadap beban *impact* dapat diperbaiki dengan menambahkan fiber lokal yang terbuat dari potongan kawat pada adukan beton. Selain itu dibuktikan pula bahwa tingkat perbaikan yang diperoleh dengan fiber lokal tidak banyak berbeda dengan hasil – hasil yang dilaporkan di luar negeri dengan menggunakan *steel fiber*.

Tabel 2. 10 Sifat-Sifat Kawat yang Digunakan Sebagai Bahan Fiber Lokal (Suhendro, 2000)

Jenis Kawat	Kuat Tarik (MPa)	Perpanjangan Pada Saat Putus (%)	Specific Gravity
Kawat Baja	230,0	10,5	7,77
Kawat Bendrat	38,5	5,5	6,68
Kawat Biasa	25,0	30,0	7,70

Beton memiliki kekuatan tekan tinggi, namun kekuatan tariknya rendah. Apabila bahan serat ditambahkan dalam campuran beton, kekuatan tarik beton dapat diperbaiki.

Serat untuk campuran beton dibedakan menjadi empat jenis, yaitu:

- Serat metal, misalnya serat besi dan serat *stainless steel*.
- Serat *polymeric*, misalnya serat *polypropylene* dan serat nilon.
- Serat mineral, misalnya *fiberglass*.
- Serat alam, misalnya serabut kelapa dan serabut nanas.

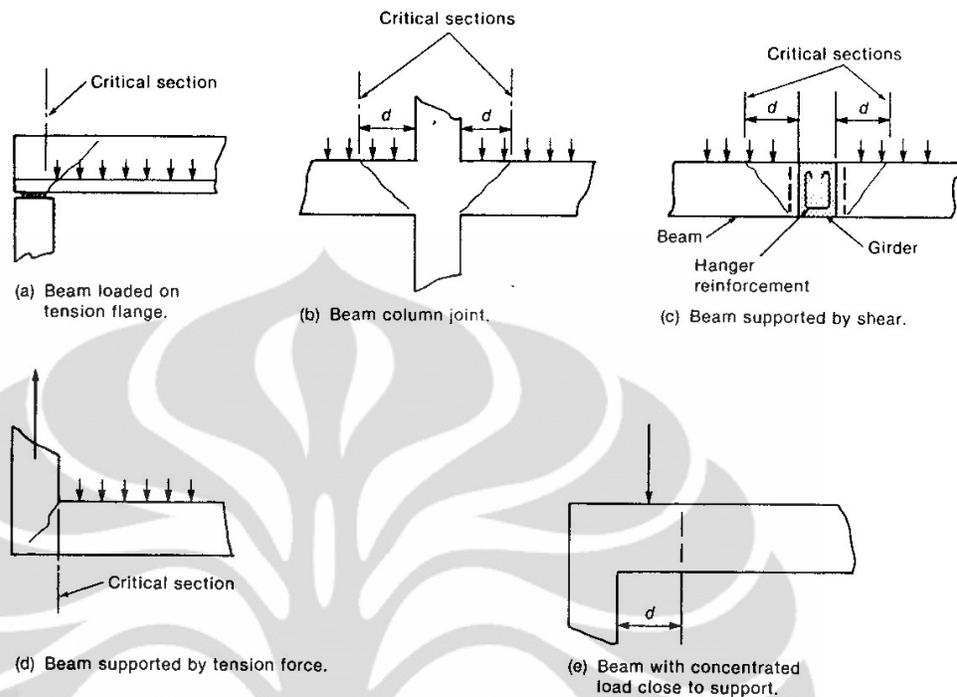
Interaksi serat dan pasta semen merupakan sifat dasar yang mempengaruhi kinerja dari beton komposit. Pemahaman dari interaksi ini diperlukan untuk memperkirakan sifat-sifat kompositnya. Parameter utama yang mempengaruhi interaksi serat dan pasta semen antara lain:

- Kondisi pasta semen
- Bentuk dan jenis serat
- Volume fraksi serat

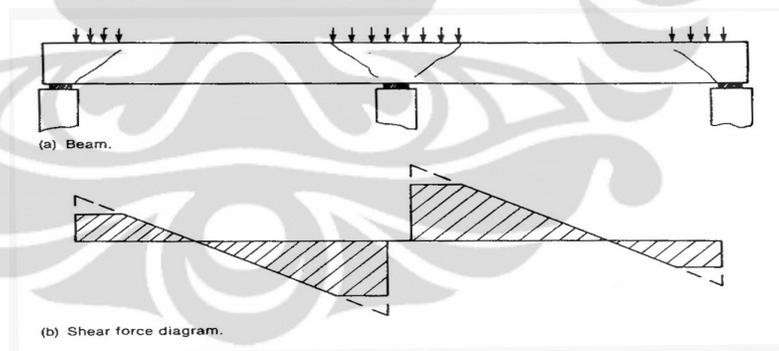
2.2 Kuat Geser

Salah satu sifat beton yang mengeras (*hard concrete*) adalah kuat geser beton. Bila gaya yang bekerja pada beton melebihi kekuatan geser maksimum yang dapat ditahan beton, maka akan timbul keretakan beton. Tegangan geser dihasilkan oleh gaya friksi antara satu partikel dengan partikel yang lain. Tegangan geser ini dinamakan tegangan geser akibat gaya geser langsung (*direct shear*). Contoh aplikasi beton di lapangan yang menggunakan kekuatan geser :

- Perkerasan jalan
- *Deep beam* atau *transfer beam* pada bangunan tinggi
- Sambungan antara *corbel* dengan kolom
- Dudukan balok pada kolom
- *Pilecap* pada pondasi
- *Beam-Column joint*
- *Shearwall*
- Pelat beton



Gambar 2. 8 Lokasi Geser Maksimum pada Bangunan Beton



Gambar 2. 9 Diagram Gaya Geser pada Balok Beton

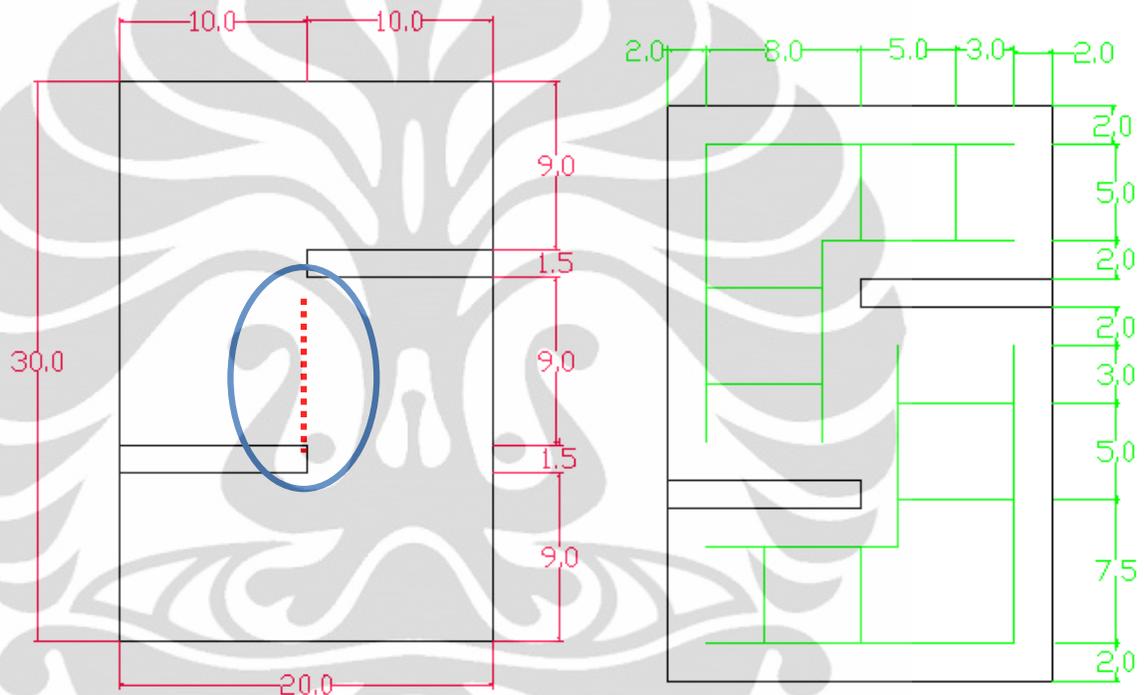
Kuat geser sulit untuk ditentukan secara eksperimental dibanding kuat mekanis lainnya karena kesulitan mengisolasi geser dari kuat lain. Kuat geser dalam berbagai studi eksperimental menunjukkan variasi 20 hingga 85 persen dibandingkan dengan kuat tekan. (Edwatd G. Nawy)

Sampel yang digunakan untuk melakukan uji geser langsung belum memiliki standar secara umum, namun merujuk pada penelitian-penelitian yang pernah dilakukan. Penelitian geser langsung ini pernah dilakukan

oleh Mattock dan Walraven. Sampel “*push-off specimen*” Mattock dan Walraven dianggap cukup representatif untuk uji geser langsung sehingga pada penelitian-penelitian selanjutnya tentang uji geser langsung banyak menggunakan jenis sampel ini.

Dua sampel yang pernah digunakan dalam penelitian terdahulu adalah sebagai berikut:

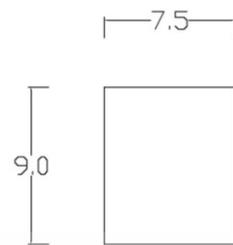
1. Sampel geser penampang *double-L*



Gambar 2. 10 Spesifikasi dan Dimensi Benda Uji Double-L

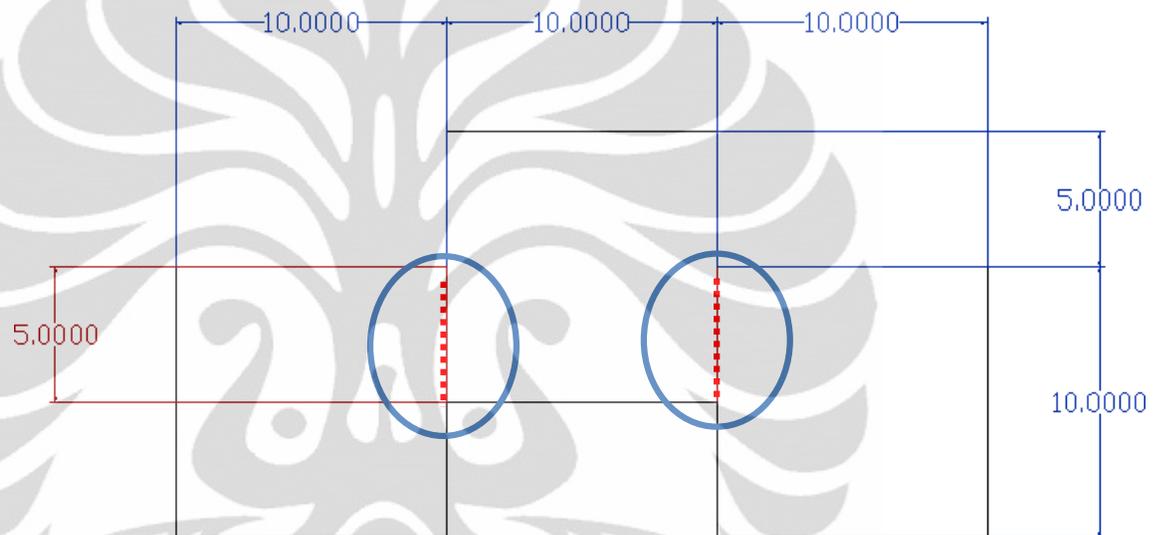
Sampel geser *double-L* memiliki ukuran 30 cm x 20 cm x 7,5 cm. Keretakan diharapkan terjadi pada daerah yang dilingkari pada gambar di atas. Untuk memastikan keretakan terjadi pada daerah berukuran 9 cm x 7,5 cm tersebut, maka penampang diberi perkuatan dengan menggunakan tulangan.

Tulangan yang digunakan adalah tulangan polos SNI bediameter 8 mm dengan f_y sebesar 240 MPa. Selimut beton yang digunakan adalah 20 mm sehingga diharapkan agregat dapat terdistribusi merata.

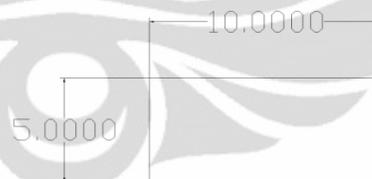


Gambar 2. 11 Area Geser Sampel Double-L

2. Sampel geser penampang kubus khusus



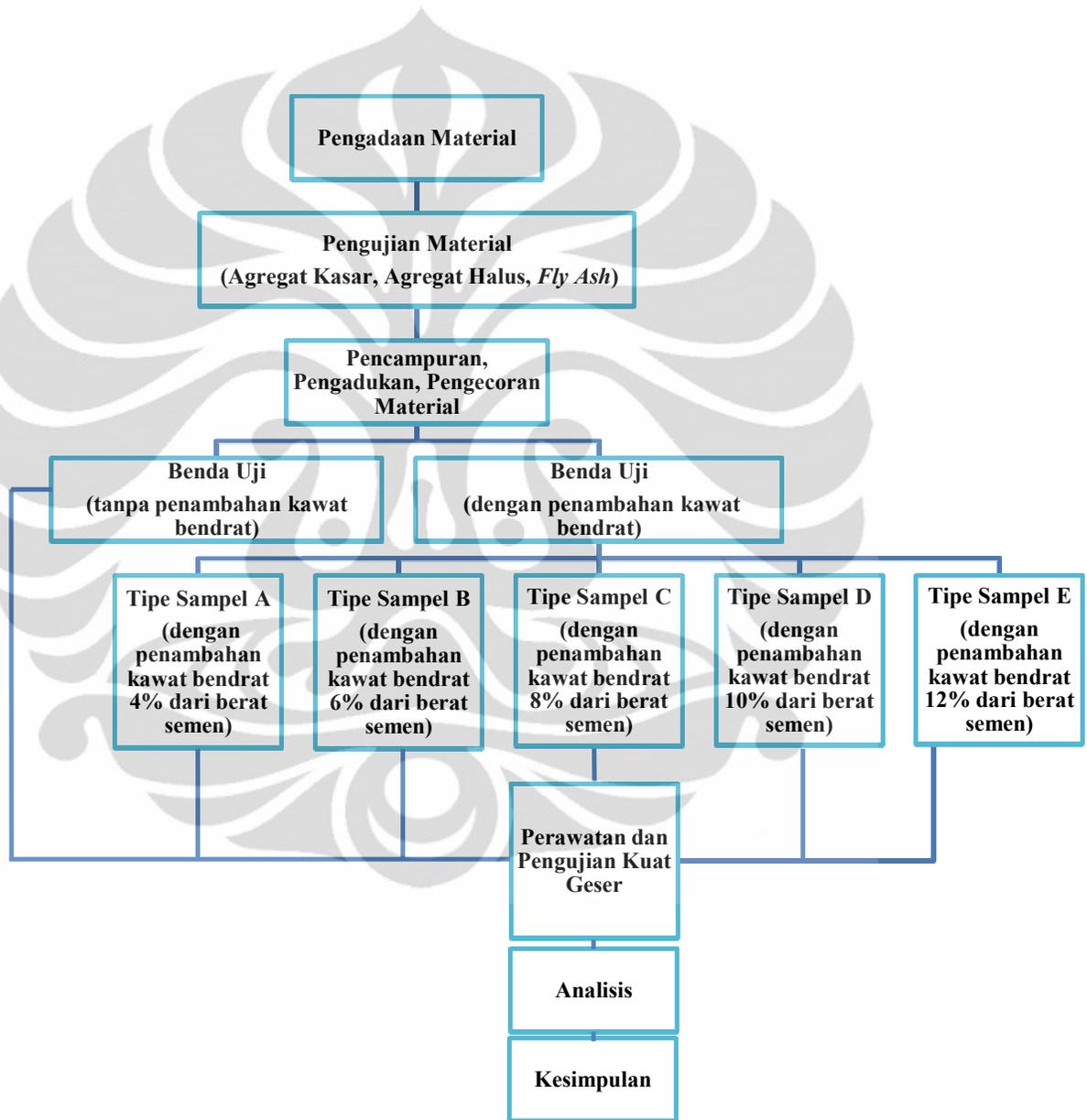
Gambar 2. 12 Spesifikasi dan Dimensi Benda Uji Geser Kubus



Gambar 2. 13 Area Geser Sampel Kubus

Sampel ini berukuran 30 cm x 15 cm x 10 cm. Keretakan diharapkan terjadi pada daerah yang dilingkari pada gambar di atas. Bentuk sampel ini terinspirasi dari percobaan yang dilakukan R.C. Hibbeler, namun dengan ukuran yang telah dimodifikasi oleh peneliti.

BAB 3
METODE PENELITIAN



Gambar 3. 1 Flow Chart Penelitian

3.1 Metode Pengujian Material

3.1.1 Metode Pengujian Konsistensi Semen Hidrolis

A. Tujuan Percobaan

Menentukan konsistensi normal dari semen hidrolis untuk keperluan penentuan waktu pengikatan semen (menentukan jumlah air yang dibutuhkan untuk mempersiapkan pasta semen hidrolis untuk pengetesan).

B. Peralatan Percobaan

1. Mesin aduk (*mixer*), dengan daun-daun pengaduk dari baja tahan karat serta mangkuk yang dapat dilepas.
2. Alat vicat (Gambar 1 & 2 pada lampiran beserta petunjuk bagiannya).
3. Timbangan dengan kepekaan sampai 1,0 gram.
4. Gelas ukur dengan kapasitas 150 atau 200 ml.
5. Alat pengorek (*scraper*) dibuat dari karet yang agak kaku
6. Sendok perata (*trowel*).
7. Plastik putih transparan (pengganti sarung tangan).

C. Bahan Percobaan

1. Semen Komposit Portland (Tipe I) merk Tiga Roda 500 gram untuk 1 percobaan
2. Air bersih (dengan suhu kamar).

D. Prosedur Percobaan

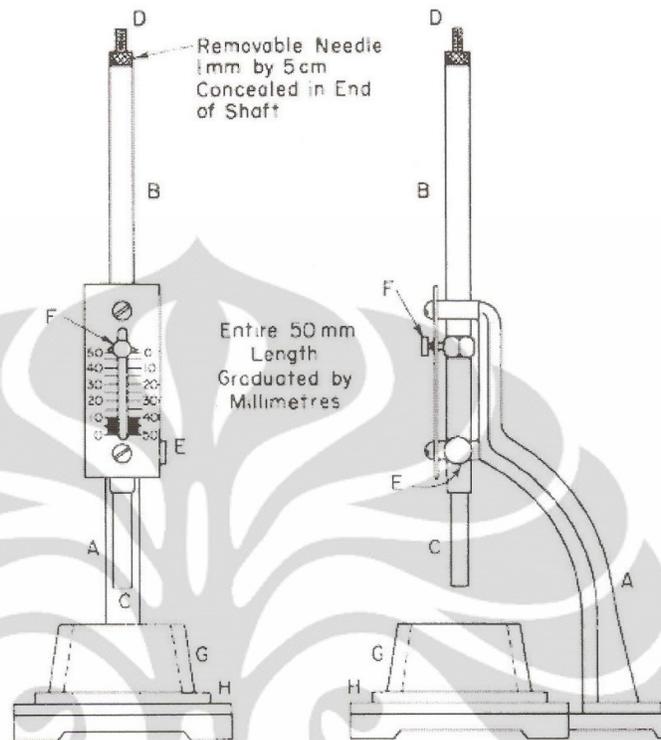
Pembuatan Pasta Semen

1. Pasang daun pengaduk serta mangkuk pada alat pengaduk.
2. Masukkan bahan untuk percobaan dalam mangkuk, kemudian campurlah bahan-bahan berikut:
 - a. Air bersih ($\pm 125-155$ cc)
 - b. Semen sebanyak 500 gram, dan biarkan untuk penyerapan selama 30 detik
3. Jalankan mesin pengaduk dengan kecepatan rendah (140 ± 5 ppm) dan aduk selama 30 detik.
4. Hentikan mesin pengaduk untuk 15 detik dan sapulah bahan pasta dari dinding sisi mangkuk

5. Jalankan mesin pengaduk dengan kecepatan sedang (285 ± 10 ppm) dan aduk selama 1 menit.

Pengujian dengan Alat Vicat

6. Segera ambil pasta dari mangkuk dengan tangan yang sudah dilapisi plastik, lalu bentuklah seperti bola. Lemparkan bola pasta tersebut dari satu tangan ke tangan yang lain (dengan jarak ± 15 cm) beberapa kali. Kemudian tempatkan pada alat vicat. Letakkan pasta yang berbentuk bola di atas cincin konis (yang sudah diletakkan pada pelat gelas).
7. Beri getaran pada cincin konis dengan memukul-mukul sisinya hingga pasta masuk dan memenuhi cincin konis. Ratakan bagian atas pasta semen dengan sendok adukan sedemikian rupa sehingga tidak memberi tekanan pada adukan.
8. Pusatkan cincin berisi pasta dibawah batang B. Sentuhkan batang tersebut tepat pada permukaan pasta semen dan kuncilah jarum C.
9. Tempatkan indikator F pada bilangan bulat (agar penurunannya mudah dibaca). Lepaskan jarum C dengan membuka kunci E, sehingga jarum C akan masuk ke dalam pasta.
10. Bila dalam waktu 30 detik kedalaman masuk jarum C ke dalam pasta besarnya 10 ± 1 mm dari permukaan, maka konsistensi pasta semen tersebut adalah normal.
11. Bila konsistensi normal belum tercapai, ulangi langkah 1-10 hingga tercapai.
12. Catatlah jumlah air yang dibutuhkan untuk mencapai konsistensi normal.



Gambar 3. 2 Alat Vicat dengan Jarum untuk Pengujian Konsistensi Semen Hidrolis

3.1.2 Metode Pengujian Waktu Ikat Semen Hidrolis

A. Tujuan Percobaan

Menentukan waktu pengikatan semen hidrolis (dalam keadaan konsistensi normal) dengan alat vicat.

B. Peralatan Percobaan

1. Mesin aduk (*mixer*), dengan daun-daun pengaduk dari baja tahan karat serta mangkuk yang dapat dilepas.
2. 2 buah alat vicat (Gambar 1 & 2 pada lampiran beserta petunjuk bagiannya).
3. Timbangan dengan kepekaan sampai 1,0 gram.
4. Gelas ukur dengan kapasitas 500 ml.
5. Sendok perata (*trowel*).
6. Plastik putih transparan (pengganti sarung tangan).
7. Alat pengorek (*scraper*) dibuat dari karet yang agak kaku.

C. Bahan Percobaan

1. Semen Komposit Portland (Tipe I) merk Tiga Roda $\pm 3,5$ kg (untuk ± 6 percobaan).
2. Air bersih (dengan suhu kamar).

D. Prosedur Percobaan

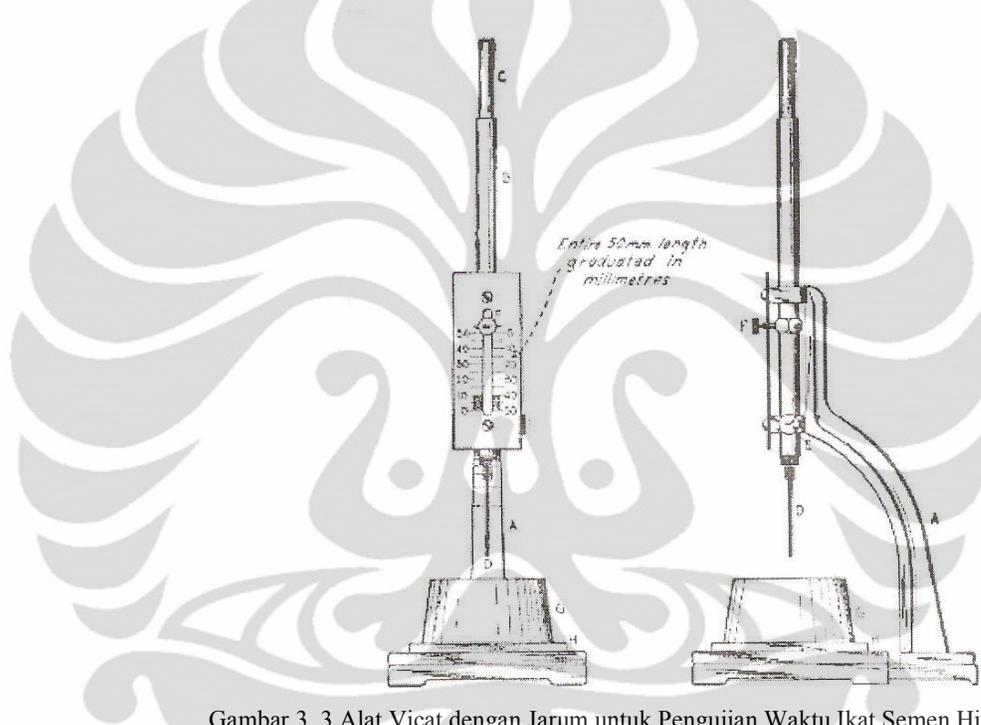
Pembuatan Pasta Semen

1. Pasang daun pengaduk serta mangkuk pada alat pengaduk.
2. Masukkan bahan untuk percobaan dalam mangkuk, kemudian campurlah bahan-bahan berikut:
 - a. Air bersih (± 270 cc)
 - b. Semen sebanyak 1000 gram
3. Jalankan mesin pengaduk dengan kecepatan rendah (140 ± 5 ppm) dan aduk selama 30 detik.
4. Hentikan mesin pengaduk untuk 15 detik.
5. Jalankan mesin pengaduk dengan kecepatan sedang (285 ± 10 ppm) dan aduk selama 1 menit.

Pengujian dengan Alat Vicat

6. Segera ambil pasta dari mangkuk dengan tangan yang sudah dilapisi plastik, lalu bentuklah seperti bola. Lemparkan bola pasta tersebut dari satu tangan ke tangan yang lain (dengan jarak ± 15 cm) beberapa kali. Kemudian tempatkan pada alat vicat. Letakkan pasta yang berbentuk bola di atas cincin konis (yang sudah diletakkan pada pelat gelas).
7. Beri getaran pada cincin konis dengan memukul-mukul sisinya hingga pasta masuk dan memenuhi cincin konis. Ratakan bagian atas pasta semen dengan sendok perata sedemikian rupa sehingga tidak memberi tekanan pada adukan.
8. Turunkan jarum D hingga menyentuh tepat pada permukaan pasta semen. Keraskan sekrup E dan geser jarum penunjuk pada angka 0. Biarkan selama 45 menit.
9. Setelah 45 menit, lepaskan batang B hingga jarum masuk ke dalam pasta semen. Biarkan selama 30 detik. Adakan pembacaan untuk menentukan dalamnya penetrasi.

10. Angkat kembali jarum, letakkan tepat pada permukaan pasta, biarkan selama 15 menit.
11. Setelah 15 menit, ulangi langkah 9 dan 10. Jarak untuk setiap penetrasi pasta tidak boleh lebih kecil dari 6 mm. Percobaan dilakukan hingga tercapai penetrasi sebesar 25 mm atau kurang.
12. Catat hasil semua percobaan penetrasi. Tentukan waktu tercapainya penetrasi sebesar 25 mm.



Gambar 3. 3 Alat Vicat dengan Jarum untuk Pengujian Waktu Ikut Semen Hidrolis

3.1.3 Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat Kasar

A. Tujuan Percobaan

Tujuan percobaan ini adalah untuk menentukan berat isi dalam agregat kasar dan halus.

B. Peralatan Percobaan

1. Timbangan dengan ketelitian 0,1% berat contoh
2. Talam kapasitas cukup besar untuk mengeringkan contoh agregat
3. Tongkat pemadat diameter 15 mm, panjang 60 cm dengan ujung bulat sebaiknya terbuat dari baja tahan karat

4. Mistar perata (*straight edge*)
5. Wadah baja yang cukup kaku berbentuk silinder dengan alat pemegang, berkapasitas sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Kapasitas Wadah

Kapasitas (Liter)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Tebal Wadah Minimum (mm)		Ukuran Butir Maksimum (mm)
			Dasar	Sisi	
2,832	152,4 ± 2,5	154,9 ± 2,5	5,08	2,54	12,7
9,435	203,2 ± 2,5	292,1 ± 2,5	5,08	2,54	25,4
14,158	254,0 ± 2,5	279,4 ± 2,5	5,08	3,00	38,1
28,316	355,6 ± 2,5	284,4 ± 2,5	5,08	3,00	101,6

C. Bahan Percobaan

Agregat kasar

D. Prosedur Percobaan

Masukkan contoh agregat ke dalam talam sekurang-kurangnya sebanyak kapasitas wadah sesuai tabel, keringkan dalam oven dengan suhu $[110 \pm 5]^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.

- Berat isi lepas
 1. Timbang dan catat berat wadah [w_1]
 2. Masukkan benda uji dengan hati-hati agar tidak terjadi pemisahan butir-butir dari ketinggian maksimum 5 cm diatas wadah dengan menggunakan sendok atau sekop sampai penuh
 3. Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata
 4. Timbang dan catatlah berat wadah beserta benda uji [w_2]

5. Hitunglah berat benda uji [$w_3 = w_2 - w_1$]
 - Berat isi pada agregat dengan butir maksimum 38,1 mm [$1\frac{1}{2}$ "] dengan cara penusukan
 1. Timbang dan catat berat wadah [w_1]
 2. Isilah wadah dengan benda uji dalam 3 lapis yang sama tebal. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali tusukan secara merata. Pada pemadatan tongkat harus tepat masuk sampai lapisan bagian bawah tiap-tiap lapisan.
 3. Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata
 4. Timbang dan catatlah berat wadah beserta benda uji [w_2]
 5. Hitunglah berat benda uji [$w_3 = w_2 - w_1$]
 - Berat isi pada agregat ukuran butir antara 38,1 mm [$1\frac{1}{2}$ "] sampai 101,6 mm [4 "] dengan cara penggoyangan
 1. Timbang dan catat berat wadah [w_1]
 2. Isilah wadah dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal
 3. Padatkan setiap lapisan dengan cara menggoyang-goyangkan wadah seperti berikut :
 - a. Letakkan wadah diatas tempat yang kokoh dan datar, angkatlah salah satu sisinya kira-kira setinggi 5 cm kemudian lepaskan
 - b. Ulangi hal ini pada sisi yang berlawanan. Padatkan lapisan sebanyak 25 kali untuk setiap sisinya.
 4. Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata
 5. Timbang dan catatlah berat wadah beserta benda uji [w_2]
 6. Hitunglah berat benda uji [$w_3 = w_2 - w_1$]

3.1.4 Metode Pengujian Specific Gravity dan Absorpsi Agregat Kasar

A. Tujuan Percobaan

Menentukan *bulk* dan *apparent specific gravity* dan absorpsi dari agregat kasar menurut ASTM C 127, guna menentukan volume agregat dalam beton.

B. Peralatan Percobaan

1. Neraca Timbangan dengan kepekaan 0,5 gram dan kapasitas minimum 5 kg.
2. Besi dengan panjang 8 inci dan tinggi 2,5 inci
3. Alat penggantung keranjang.
4. Oven, dengan ukuran mencukupi dan dapat mempertahankan suhu $[110 \pm 5]^{\circ} \text{C}$.
5. Handuk

C. Bahan Percobaan

10000 gram (2 x 5000 gram) agregat kasar dalam kondisi SSD, diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat. Bahan benda uji lewat saringan no.4 dibuang.

D. Prosedur Percobaan

1. Benda uji direndam 24 jam.
2. Benda uji digulung dengan handuk, sampai air permukaannya habis, tetapi harus masih tampak lembab [kondisi SSD]. Timbang.
3. Benda uji dimasukkan ke keranjang dan direndam kembali dalam air. Temperatur air $[73,4 \pm 3]^{\circ} \text{F}$ dan ditimbang. Sebelum di timbang, container diisi benda uji, lalu digoyang-goyangkan dalam air untuk melepaskan udara yang terperangkap.
4. Benda uji dikeringkan dalam oven pada temperatur $[212 - 230]^{\circ} \text{F}$. didinginkan, kemudian ditimbang.

3.1.5 Metode Pengujian Abrasi

A. Tujuan Percobaan

Menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan mempergunakan mesin Los Angeles. Keausan agregat tersebut dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan no.12 terhadap berat semula, dengan persen.

B. Peralatan Percobaan

1. Mesin Los Angeles; mesin terdiri dari silinder baja tertutup pada kedua sisinya dengan diameter 71 cm [26"] panjang dalam 50 cm [20"]. Silinder tertumpu pada dua poros pendek yang tak menerus dan

berputar pada poros mendatar. Selinder berlubang untuk memasukkan benda uji melintang penuh setinggi 8,9 [3,56"]

2. Saringan no.12
3. Timbangan dengan ketelitian 5 gram.
4. Oven, dengan ukuran mencukupi dan dapat mempertahankan suhu $[110 \pm 5]^{\circ} \text{C}$.
5. Bola-bola baja dengan diameter rata-rata 4,68 cm [1,84"] dan berat masing-masing antara 390 gram sampai 445 gram.

C. Bahan Percobaan

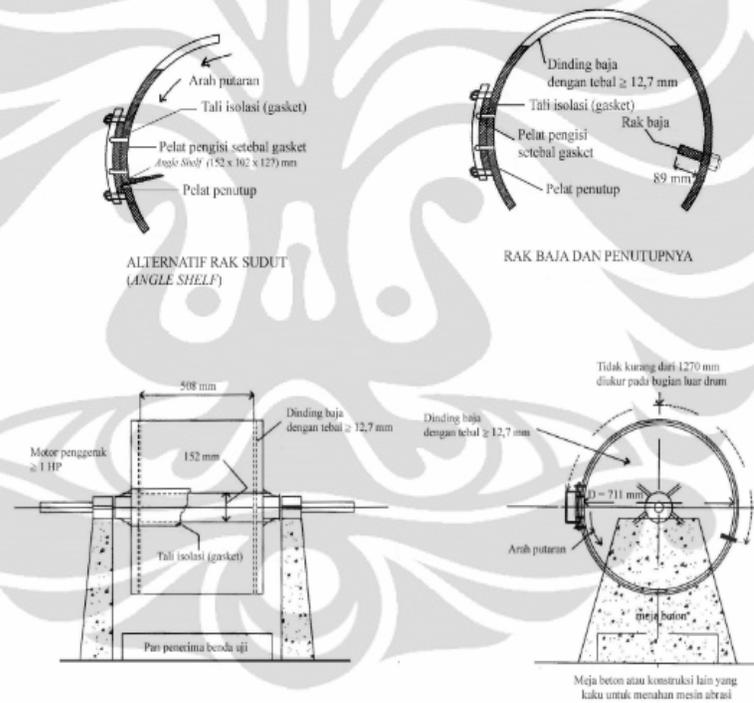
1. Berat benda uji 2500 gram untuk ukuran saringan yang lewat 19,05 mm dan tertahan 6,35 mm. 2500 gram untuk ukuran saringan lewat 9,51 mm dan tertahan 4,75 mm
2. Bersihkan benda uji dan keringkan dalam oven pada suhu $[110 \pm 5]^{\circ} \text{C}$ sampai berat tetap

D. Prosedur Percobaan

Tabel 3. 2 Berat untuk setiap gradasi benda uji

Ukuran Saringan		Berat dengan Gradasi Benda Uji [gram]						
Lewat [mm]	Tertahan[mm]	A	B	C	D	E	F	G
76,2	63,5					2500		
63,5	50,8					2500		
50,8	38,1					5000	5000	
38,1	25,4	1250					5000	5000
25,4	19,05	1250						5000
19,05	12,7	1250	2500					
12,7	9,51	1250	2500					
9,51	6,35			2500				
6,35	4,75			2500				
4,75	2,36				5000			
Jumlah Bola		12	11	8	6	2	12	12
Berat Bola [gram]		5000 ± 25	4584 ± 25	3330 ± 25	2500 ± 15	5000 ± 25	5000 ± 25	5000 ± 25

1. Benda uji direndam 24 jam.
 1. Benda uji digulung dengan handuk, sampai air permukaannya habis, tetapi harus masih tampak lembab [kondisi SSD]. Timbang.
2. Benda uji dimasukkan ke keranjang dan direndam kembali dalam air. Temperatur air $[73,4 \pm 3] ^\circ\text{F}$ dan ditimbang. Sebelum di timbang, container diisi benda uji, lalu digoyang-goyangkan dalam air untuk melepaskan udara yang terperangkap.
3. Benda uji dikeringkan dalam oven pada temperatur $[212 - 230] ^\circ\text{F}$. didinginkan, kemudian ditimbang.



Gambar 3. 4 Mesin Los Angeles (Abrasi) dan bagian-bagiannya

3.1.6 Metode Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

A. Tujuan Percobaan

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dengan menggunakan saringan.

B. Peralatan

1. Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0,2% dari berat benda uji.
2. Satu set saringan : 1/2, 3/8, 1/4, No. 4, PAN.
[Standar ASTM]
3. Oven, yang dilengkapi dengan pengukur suhu untuk memanasi sampai $[110\pm 5]^{\circ}\text{C}$.
4. Alat pemisah contoh [*simple splitter*].
5. Mesin penggetar saringan.
6. Talam-talam.
7. Kuas, sikat kuning, sendok dan alat – alat lainnya.

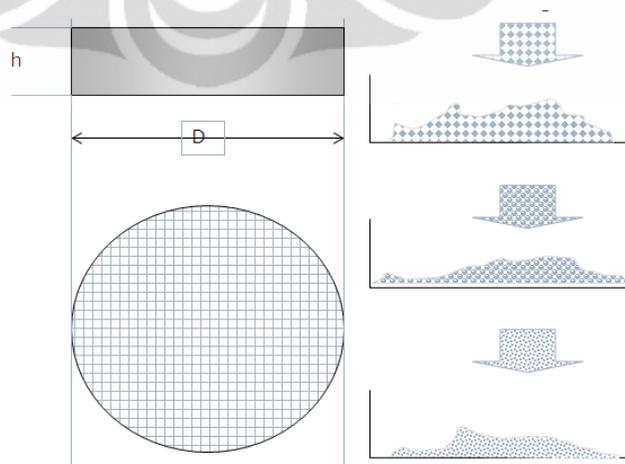
C. Bahan

Benda uji diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat yang berupa agregat kasar sebanyak :

Ukuran maksimum $\frac{1}{2}$, berat minimum 1500 gram.

D. Prosedur Percobaan

1. Pertama – tama agregat halus tersebut dipanaskan dalam oven dengan suhu $[110\pm 5]$ sampai berat tetap.
2. Timbang beratnya.
3. Dengan menggunakan saringan ukuran 1/2 sampai paling bawah (pan), saringlah agregat tersebut.
4. Getarkan dengan mesin penggetar selama 15 menit.
5. Timbang berat benda yang tertahan di masing – masing saringan kemudian catat.



Gambar 3. 5 Saringan Agregat

3.1.7 Metode Pengujian Specific Gravity dan Absorpsi Agregat Halus

A. Tujuan Percobaan

Menentukan *bulk* dan *apparent specific gravity* dan absorpsi dari agregat halus menurut ASTM C 128, guna menentukan volume agregat dalam beton.

B. Peralatan

1. Neraca timbangan dengan kepekaan 0,1 gram dan kapasitas maksimum 1 kg.
2. Piknometer kapasitas 500 gram.
3. Cetakan kerucut pasir.
4. Tongkat pemadat (*Tamper*) dari logam untuk cetakan kerucut pasir.
5. Oven, dengan ukuran yang mencukupi dan dapat mempertahankan suhu $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$
6. Talam
7. Ember

C. Bahan

1000 gram (2 x 500 gram) agregat halus, diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat.

D. Prosedur Percobaan

1. Ambil agregat halus sebanyak kurang lebih 1000 gram dengan menggunakan talam.
2. Biarkan di udara bebas selama 1 hari.
3. Timbang agregat halus 2 x 500 gram.
4. Ambil piknometer
5. Catat berat piknometer+air (tertera pada piknometer)
6. Masukkan 1000 gram agregat halus ke dalam piknometer @ 500 gram
7. Tambahkan air hingga 90% piknometer
8. Mengguncang piknometer hingga agregat halus tercampur merata dengan air (hingga tidak keluar gelembung udara ketika diguncang).
9. Tambahkan air hingga batas yang tertera pada piknometer
10. Timbang berat piknometer+agregat+air, catat

11. Rendam piknometer di dalam air hingga tiga per empat bagian piknometer terendam dan biarkan 1 hari (dapat dilakukan di bak atau ember).
12. Keluarkan agregat dari piknometer ke talam
13. Masukkan ke dalam oven (110 ± 5)°C selama 1 hari.
14. Keluarkan dari oven dan tusuk dengan menggunakan tongkat pematik sebanyak 25 kali.
15. Timbang berat agregat halus, catat.

3.1.8 Metode Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

A. Tujuan Percobaan

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dengan menggunakan saringan.

B. Peralatan

1. Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0,2% dari berat benda uji.
2. Satu set saringan : No. 4; No. 8; No. 16; No. 30; No. 50; No. 100; No. 200 [Standar ASTM]
3. Oven, yang dilengkapi dengan pengukur suhu untuk memanasi sampai [110 ± 5]°C.
4. Alat pemisah contoh [*simple splitter*].
5. Mesin penggetar saringan.
6. Talam-talam.
7. Kuas, sikat kuningan, sendok dan alat – alat lainnya.

C. Bahan

Benda uji diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat yang berupa agregat halus sebanyak :

Ukuran maksimum No.4 ; berat minimum 500 gram

D. Prosedur Percobaan

1. Pertama – tama agregat halus tersebut dipanaskan dalam oven dengan suhu [110 ± 5] sampai berat tetap.
2. Timbang beratnya.

3. Dengan menggunakan saringan ukuran No.4 sampai paling bawah (PAN), saringlah agregat tersebut.
4. Getarkan dengan mesin penggetar selama 15 menit.
5. Timbang berat benda yang tertahan di masing – masing saringan kemudian catat.

3.1.9 Metode Pengujian Kadar Air Agregat Kasar dan Agregat Halus

A. Tujuan Percobaan

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan kadar air agregat dengan cara mengeringkannya. Kadar air adalah perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan berat agregat dalam keadaan kering. Percobaan ini digunakan untuk menyesuaikan berat takaran beton apabila terjadi perubahan kadar kelembaban beton.

B. Peralatan

1. Timbangan dengan ketelitian 0,1 % berat contoh
2. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$
3. Talam logam

C. Bahan

Berat contoh agregat minimum tergantung pada ukuran butir maksimum.

Tabel 3. 3 Berat Contoh Agregat Minimum

Ukuran butir maksimum		Berat contoh minimum
(mm)	(inch)	(kg)
6,3	$\frac{1}{4}$	0,5
9,5	$\frac{3}{8}$	1,0
12,7	$\frac{1}{2}$	2,0
19,1	$\frac{3}{4}$	3,0
25,4	1	4,0
38,1	$1 \frac{1}{2}$	5,0
50,8	2	8,0

63,5	2 ½	10,0
76,2	3	13,0
88,9	3 ½	16,0
101,6	4	25,0
152,4	6	50,0

D. Prosedur

1. Timbang dan catat berat talam (w_1)
2. Masukkan benda uji kedalam talam kemudian timbang dan catat beratnya (w_2)
3. Hitunglah berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$)
4. Keringkan benda uji beserta talam dalam oven dengan suhu (110 ± 5) °C sampai beratnya tetap
5. Setelah kering, timbang dan catatlah benda uji beserta talam (w_4)
6. Hitung berat benda uji kering ($w_5 = w_4 - w_1$)

3.1.10 Metode Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

A. Tujuan

Pemeriksaan ini dimaksud untuk menentukan jumlah bahan yang terdapat dalam agregat lewat saringan no.200 dengan cara pencucian.

B. Peralatan

1. Saringan no.16 dan no.200
2. Talam
3. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai (110 ± 5)°C
4. Timbangan dengan ketelitian 0.1% berat contoh

C. Bahan

Agregat halus

D. Prosedur

1. Ambil benda uji (agregat), masukkan benda uji ke dalam talam
2. Benda uji dioven selama 24 jam.

3. Siapkan 500 gram benda uji
4. Dari talam, benda uji dituangkan ke saringan no.16 dan no.200 yang telah ditumpuk sambil disiram dengan menggunakan air
5. Penyiraman dilakukan sekaligus dengan mengguncang saringan no.16 dan no.200. Pencucian dilakukan hingga bahan terlihat cukup bersih
6. Timbang berat talam
7. Bahan yang telah tersaring dituangkan ke talam
8. Talam dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam
9. Keluarkan talam dari oven
10. Timbang berat bahan

3.1.11 Metode Pengujian Kotoran Organik

A. Tujuan Percobaan

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan adanya bahan organik dalam pasir alam yang akan digunakan sebagai bahan campuran beton.

B. Peralatan

1. Botol gelas kaca tidak berwarna dengan isi sekitar 350 ml.
2. Standar warna (*organik plate*)
3. Larutan NaOH 3%

C. Bahan

1. Agregat halus sebanyak 500 gr (kondisi *oven dry*)
2. Air sebanyak 485 ml
3. NaOH 15 gr

D. Prosedur

1. Masukkan benda uji ke dalam botol
2. Tambahkan larutan NaOH 3%
3. Tutuplah botol, lalu kocok kuat-kuat dan biarkan selama 24 jam
4. Setelah 24 jam bandingkan warna cairan yang terlihat di atas agregat dengan warna standar no.3

3.2 Metode Perhitungan Campuran Beton (Mix Design)

Perhitungan campuran beton dilakukan dengan metode **ACI 211.1-91**.

Konsep Perhitungan Campuran

Perbandingan campuran bahan-bahan beton harus dipilih untuk mendapatkan beton yang paling ekonomis, sehingga dengan menggunakan bahan-bahan yang tersedia akan menghasilkan beton yang mempunyai *workability*, *durability*, dan *strength* seperti yang diinginkan. Tes-tes pengujian material dimaksudkan untuk menentukan hubungan antara komponen-komponen material beton seperti agregat, semen, air, dan *admixtures* sehingga didapatkan kombinasi yang optimum, akan tetapi perbandingan yang terakhir harus ditentukan dengan cara percobaan dan disesuaikan dengan keadaan di lapangan.

Metode Perhitungan Campuran

Perbandingan campuran beton pada prinsipnya harus dicari dengan cara percobaan. Tes-tes terhadap campuran beton sebelum pengecoran beton dilaksanakan harus dilakukan dengan menggunakan material-material yang betul-betul diambil dari material yang akan digunakan dalam pencampuran beton.

Prosedur Perhitungan Campuran Beton

1. Mengumpulkan data-data pendukung dari hasil pengujian material.
 - a. Densitas air
 - b. *Specific Gravity* semen
 - c. Ukuran maksimum agregat (*Maximum Size Agregat/MSA*)
 - d. *Specific Gravity* agregat kasar
 - e. *Specific Gravity* agregat halus
 - f. Modulus kehalusan (*fineness modulus/FM*)
 - g. Berat isi agregat kasar
2. Menentukan target yang diinginkan:
 - a. *Slump*
 - b. Kekuatan desain (*Target Strength*)
3. Melakukan estimasi jumlah air pencampur dan kandungan udara dalam campuran beton berdasarkan tabel :

Tabel 3. 4 Perkiraan Jumlah Air Pencampur yang dibutuhkan dan Kandungan Udara untuk Workability yang berbeda dan Ukuran Agregat Maksimum berdasarkan ACI 211.1-91

Slump	Mixing Water Quantity in kg/m ³ (lb/yd ³) for the listed Nominal Maximum Aggregate Size							
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm	75 mm	100 mm
	(0.375 in.)	(0.5 in.)	(0.75 in.)	(1 in.)	(1.5 in.)	(2 in.)	(3 in.)	(4 in.)
Non-Air-Entrained PCC								
25 - 50	207	199	190	179	166	154	130	113
(1 - 2)	350	335	315	300	275	260	220	190
75 - 100	228	216	205	195	181	169	145	124
(3 - 4)	385	365	340	325	300	285	245	210
150 - 175	243	228	216	202	190	178	160	-
(6 - 7)	410	385	360	340	315	300	270	
Typical entrapped air (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Air-Entrained PCC								
25 - 50	181	175	168	160	148	142	122	107
(1 - 2)	305	295	280	270	250	240	205	180
75 - 100	202	193	184	175	165	157	133	119
(3 - 4)	340	325	305	295	275	265	225	200
150 - 175	216	205	197	184	174	166	154	-
(6 - 7)	365	345	325	310	290	280	260	
Recommended Air Content (%)								
Mild Exposure	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
Moderate Exposure	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
Severe Exposure	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4

4. Melakukan estimasi rasio air dan semen

Tabel 3. 5 Hubungan antara Rasio Air-Semen dan Kuat Tekan Beton Rata-Rata setelah 28 Hari berdasarkan ACI 211.1-91

Average compressive strength at 28 days*		Effective water / cement ratio (by mass)	
MPa	psi	Non-air-entrained concrete	Air-entrained concrete
45	-	0.38	-
-	6000	0.41	-
40	-	0.43	-
35	5000	0.48	0.4
30	-	0.55	0.46
-	4000	0.57	0.48
25	-	0.62	0.53
-	3000	0.68	0.59
20	-	0.7	0.61
15	-	0.8	0.71
-	2000	0.82	0.74

5. Menghitung jumlah semen yang dibutuhkan.

Berat satuan semen © dihitung dari berat satuan air (W) dan *water cement ratio* (W/C)

$$C = \frac{W}{W/C}$$

6. Melakukan estimasi jumlah agregat kasar (CA) yang dibutuhkan sesuai dengan tabel :

Tabel 3. 6 Hubungan antara Maximum Size Aggregates, Fineness Modulus, dan Estimasi Jumlah Agregat Kasar berdasarkan ACI 211.1-91

Maximum Size Aggregate	Dry Bulk Volume of rodded coarse aggregate per unit volume of concrete for Fineness Modulus of Sand of:			
	2.4	2.6	2.8	3
9.5 mm (0.375 inches)	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5 mm (0.5 inches)	0.59	0.57	0.55	0.53
19 mm (0.75 inches)	0.66	0.64	0.62	0.6
25 mm (1 inches)	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 mm (1.5 inches)	0.75	0.73	0.71	0.69
50 mm (2 inches)	0.78	0.76	0.74	0.72

7. Menentukan estimasi jumlah agregat halus (S).

Dapat dilakukan dengan dua metode:

- a. Metode Massa
- b. Metode Volume

Dalam penelitian ini digunakan metode volume karena menurut ACI 211.1-91, hasil yang didapat lebih akurat.

$$S = \partial_s \left[1000 - \left(W + \frac{C}{\partial_c} + \frac{CA}{\partial_{CA}} + 10A \right) \right]$$

Dengan,

S = massa agregat halus

W = massa air

C = massa semen

CA = massa agregat kasar

A = kandungan udara

∂_s = berat jenis agregat halus

∂_c = berat jenis semen

8. Melakukan penyesuaian jumlah air dan jumlah agregat karena ada faktor kelembaban udara dan cuaca yang dapat mempengaruhi kondisi agregat.

3.3 Metode Pembuatan Benda Uji Beton

3.3.1 Metode Pembuatan Benda Uji Double-L (30 cm x 20 cm x 7.5 cm)

Pembuatan benda uji beton dilakukan dalam

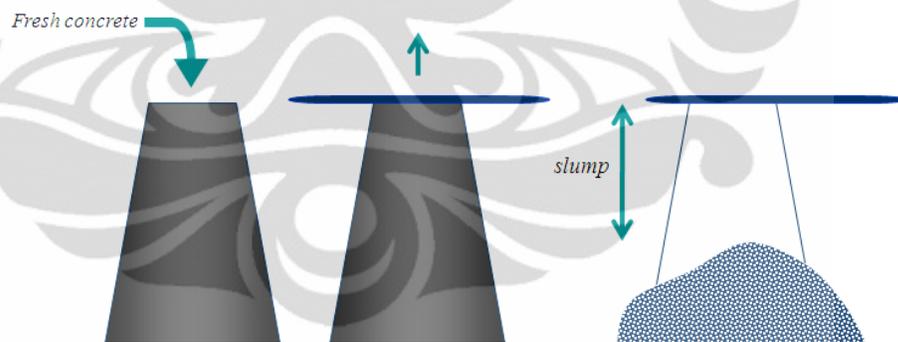
1. Persiapan

- a. Mempersiapkan agregat kasar dan agregat halus dalam kondisi SSD sesuai dengan berat yang diperlukan
- b. Mempersiapkan semen, air, dan bahan tambahan sesuai dengan berat masing-masing dalam perhitungan campuran beton dengan menggunakan metode ACI.
- c. Mempersiapkan kawat bendrat
- d. Mempersiapkan mesin pengaduk

- e. Melapisi cetakan *double-L* dengan oli sehingga memudahkan pembukaan cetakan sebelum beton mengeras

2. Pencampuran

- a. Memasukkan agregat halus
- b. Memasukkan fly ash
- c. Memasukkan semen
- d. Menyalakan mesin pengaduk
- e. Menghentikan mesin pengaduk
- f. Memasukkan agregat kasar
- g. Menyalakan mesin pengaduk
- h. Memasukkan kawat bendrat
- i. Memasukkan air
- j. Menghentikan mesin pengaduk
- k. Menguji *slump*
- l. Melakukan penambahan material (semen, agregat, atau air) jika nilai *slump* tidak terpenuhi



Gambar 3. 6 Gambaran Pengujian Slump

3. Pengecoran dan Pencetakan

- a. Menyiapkan cetakan *double-L* (30 cm x 20 cm x 7.5 cm) yang telah dilapisi oli pada bagian dalamnya.
- b. Memasukkan campuran beton ke cetakan dengan penumbukan 25 kali setiap satu per tiga tinggi bagian cetakan.
- c. Meratakan permukaan campuran beton pada cetakan setelah cetakan terisi penuh.

- d. Memberikan guratan pada bidang geser yang dikehendaki.
 - e. Mendinginkan cetakan berisi beton segar selama satu hari.
 - f. Setelah 24 jam, mengeluarkan beton dari cetakan.
 - g. Melakukan perawatan beton sebelum dilakukan pengujian.
4. Perawatan Beton (*Curing*)
- a. Memasukkan benda uji beton ke dalam kolam perawatan.
 - b. Mengeluarkan benda uji beton dari kolam perawatan 48 jam sebelum dilakukan pengujian.

3.3.2 Metode Pembuatan Benda Uji Geser Kubus (30 cm x 15 cm x 10 cm)

Pembuatan benda uji beton dilakukan dalam

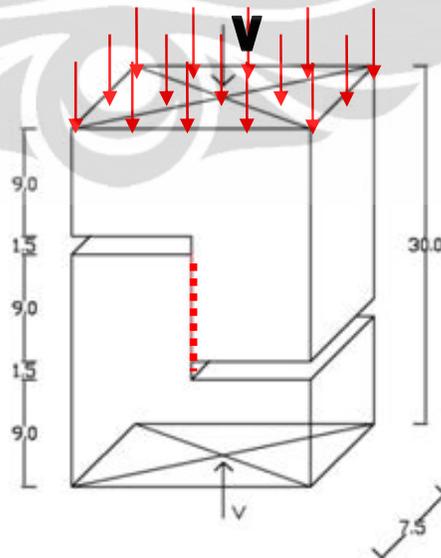
1. Persiapan

- a. Mempersiapkan agregat kasar dan agregat halus dalam kondisi SSD sesuai dengan berat yang diperlukan
- b. Mempersiapkan semen, air, dan bahan tambahan sesuai dengan berat masing-masing dalam perhitungan campuran beton dengan menggunakan metode ACI.
- c. Mempersiapkan kawat bendrat
- d. Mempersiapkan mesin pengaduk
- e. Melapisi cetakan khusus dengan oli sehingga memudahkan pembukaan cetakan sebelum beton mengeras

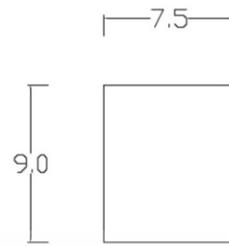
2. Pencampuran

- a. Memasukkan agregat halus
- b. Memasukkan fly ash
- c. Memasukkan semen
- d. Menyalakan mesin pengaduk
- e. Menghentikan mesin pengaduk
- f. Memasukkan agregat kasar
- g. Menyalakan mesin pengaduk
- h. Memasukkan kawat bendrat
- i. Memasukkan air
- j. Menghentikan mesin pengaduk

- k. Menguji *slump*
 - l. Melakukan penambahan material (semen, agregat, atau air) jika nilai *slump* tidak terpenuhi
3. Pengecoran dan Pencetakan
- a. Menyiapkan cetakan uji geser kubus (30 cm x 15 cm x 10 cm) yang telah dilapisi oli pada bagian dalamnya.
 - b. Memasukkan campuran beton ke cetakan dengan penumbukan 25 kali setiap satu per tiga tinggi bagian cetakan.
 - c. Meratakan permukaan campuran beton pada cetakan setelah cetakan terisi penuh.
 - d. Memberikan guratan pada bidang geser yang dikehendaki.
 - e. Mendinginkan cetakan berisi beton segar selama satu hari.
 - f. Setelah 24 jam, mengeluarkan beton dari cetakan.
 - g. Melakukan perawatan beton sebelum dilakukan pengujian.
4. Perawatan Beton (*Curing*)
- a. Memasukkan benda uji beton ke dalam kolam perawatan.
 - b. Mengeluarkan benda uji beton dari kolam perawatan 48 jam sebelum dilakukan pengujian.
- 3.4 Metode Pengujian Kuat Geser Beton**
- 3.4.1 Metode Pengujian Sampel *double-L***



Gambar 3. 7 Pengujian Sampel Geser Double-L

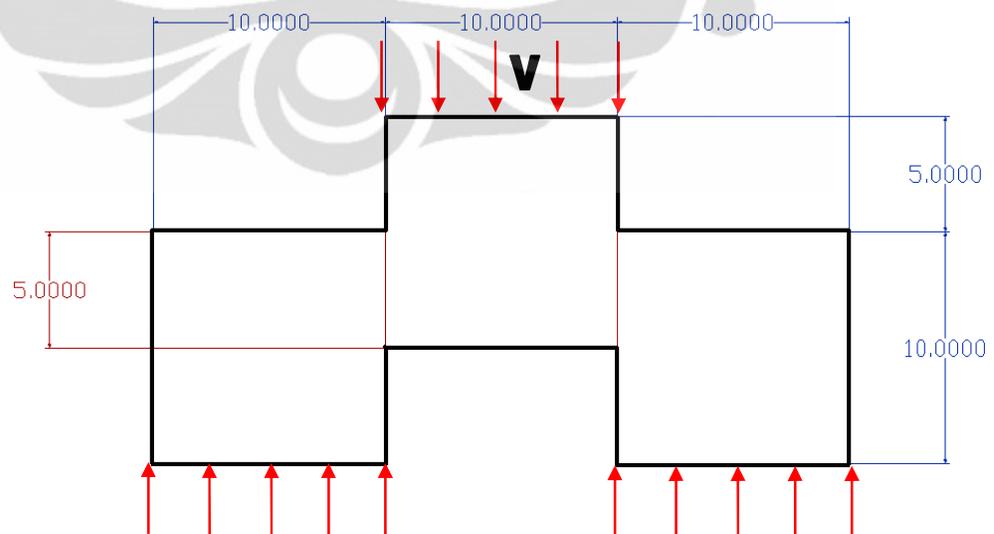


Gambar 3. 8 Dimensi Penampang yang Mengalami Geser

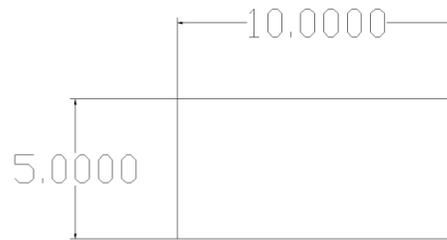
Prosedur pengujian benda uji adalah sebagai berikut:

- Benda uji geser *double-L* (30 cm x 20 cm x 7.5 cm) yang akan diuji sesuai dengan umur perawatan diambil dari tempat perawatan satu hari sebelum pengujian dilaksanakan.
- Melakukan penimbangan benda uji *double-L* sebelum dilakukan pengujian.
- Meletakkan benda uji pada mesin uji tekan beton secara sentris.
- Menjalankan mesin uji tekan beton.
- Melakukan pembebanan merata hingga bidang geser benda uji menjadi hancur.
- Mencatat beban maksimum yang mampu ditahan benda uji *double-L*.

3.4.2 Metode Pengujian Sampel Geser Kubus Khusus



Gambar 3. 9 Pengujian Sampel Geser Kubus



Gambar 3. 10 Dimensi Penampang yang Mengalami Geser

Prosedur pengujian benda uji adalah sebagai berikut:

- a. Benda uji geser kubus (30 cm x 15 cm x 10 cm) yang akan diuji sesuai dengan umur perawatan diambil dari tempat perawatan satu hari sebelum pengujian dilaksanakan.
- b. Melakukan penimbangan benda uji geser kubus sebelum dilakukan pengujian.
- c. Meletakkan benda uji pada mesin uji tekan beton secara sentris.
- d. Menjalankan mesin uji tekan beton.
- e. Melakukan pembebanan merata hingga bidang geser benda uji menjadi hancur.
- f. Mencatat beban maksimum yang mampu ditahan benda uji geser kubus.

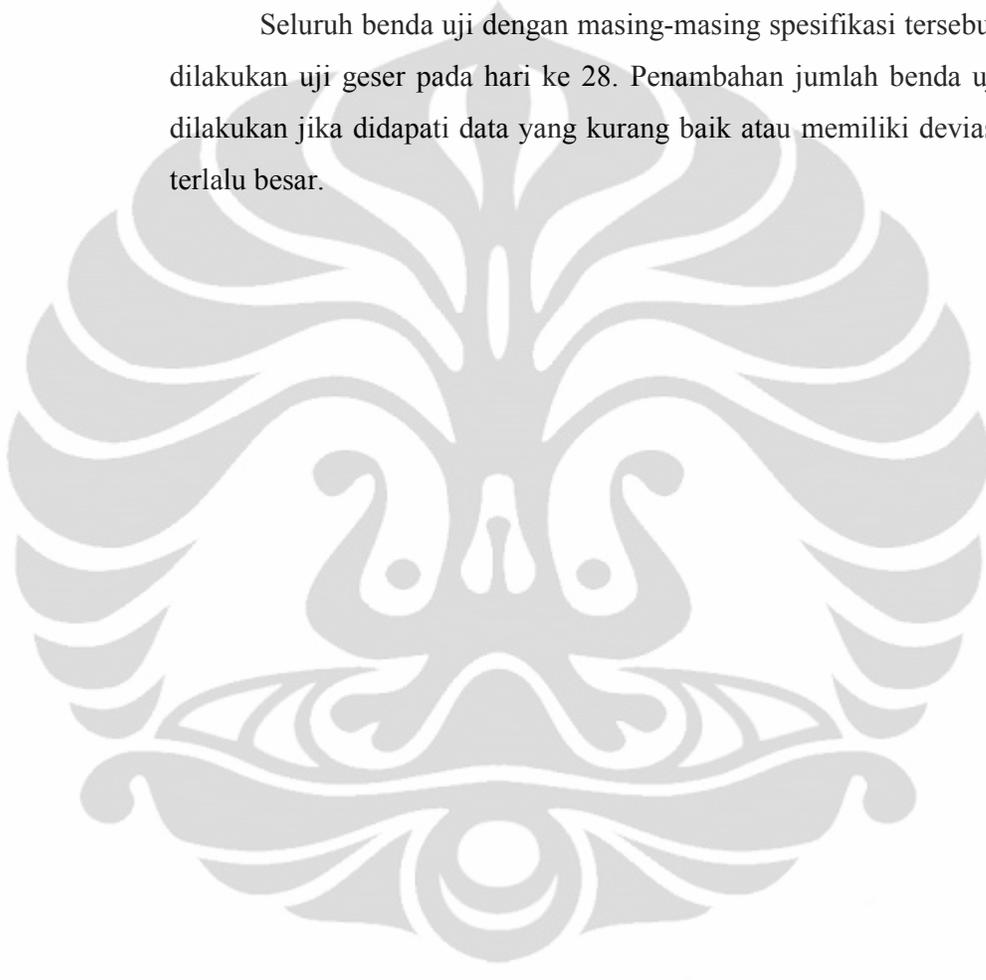
3.5 Jumlah Benda Uji

Jumlah benda uji yang akan diteliti adalah

- a. Benda uji geser *double-L* beton f_c' 25 MPa 30 cm x 25 cm x 7.5 cm dengan variasi :
 - i. 5 benda uji *double-L* tanpa penambahan kawat bendrat
 - ii. 5 benda uji *double-L* dengan penambahan 4% kawat bendrat
 - iii. 5 benda uji *double-L* dengan penambahan 6% kawat bendrat
 - iv. 5 benda uji *double-L* dengan penambahan 8% kawat bendrat
 - v. 5 benda uji *double-L* dengan penambahan 10% kawat bendrat
 - vi. 5 benda uji *double-L* dengan penambahan 12% kawat bendrat
- b. Benda uji geser kubus beton f_c' 25 MPa 30 cm x 15 cm x 10 cm dengan variasi :
 - i. 6 benda uji geser kubus tanpa penambahan kawat bendrat

- ii. 6 benda uji geser kubus dengan penambahan 4% kawat bendrat
- iii. 6 benda uji geser kubus dengan penambahan 6% kawat bendrat
- iv. 6 benda uji geser kubus dengan penambahan 8% kawat bendrat
- v. 6 benda uji geser kubus dengan penambahan 10% kawat bendrat
- vi. 6 benda uji geser kubus dengan penambahan 12% kawat bendrat

Seluruh benda uji dengan masing-masing spesifikasi tersebut, akan dilakukan uji geser pada hari ke 28. Penambahan jumlah benda uji akan dilakukan jika didapati data yang kurang baik atau memiliki deviasi yang terlalu besar.



3.6 Jadwal Penelitian

Tabel 3. 7 Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	November				Desember				Januari				Februari				Maret				April				Mei				Juni			
		Minggu ke-				Minggu ke-				Minggu ke-				Minggu ke-				Minggu ke-				Minggu ke-				Minggu ke-							
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literatur																																
2	Pengadaan Material																																
3	Pengujian Material																																
4	Pembuatan Benda Uji																																
5	Pengujian Benda Uji																																
6	Analisis																																

3.7 Pengumpulan Data Penelitian

Data yang diambil dari setiap pengujian adalah:

1. Persentase kawat bendrat yang dibutuhkan untuk setiap tipe sampel (berbanding dengan jumlah semen)
2. Slump beton
3. Kondisi lingkungan saat pengecoran (suhu, kelembaban, cuaca)
4. Berat benda uji
5. Gaya geser maksimum saat benda uji mengalami retak

BAB 4

DATA DAN ANALISIS

4.1 Properti Material

4.1.1 Semen

4.1.1.1 Penentuan Konsistensi Normal Semen Hidraulic

Konsistensi normal adalah keadaan dimana jarum penetrasi mencapai 10 ± 1 mm dalam waktu 30 detik. Prosedur pengujian dilakukan berdasarkan ASTM C187-98. Berikut ini ialah penentuan kadar air untuk mencapai konsistensi normal:

Tabel 4. 1 Hasil Percobaan Konsistensi Normal

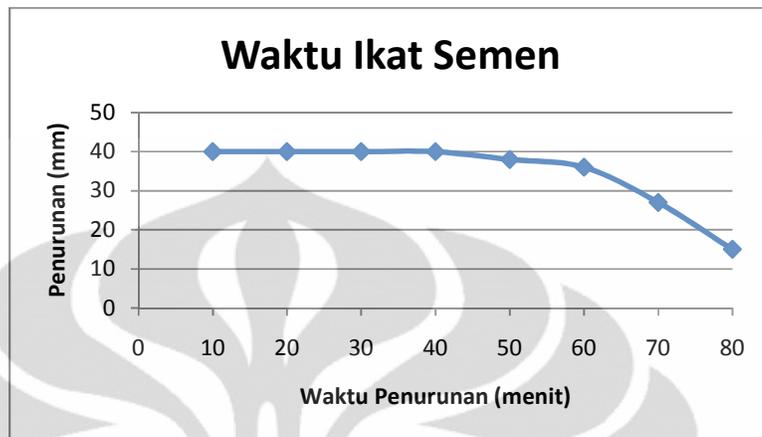
No	Jumlah air	Penetrasi
1	145 ml	22 mm
2	140 ml	15 mm
3	135 ml	9 mm

Dari percobaan yang telah dilakukan, dapat diketahui konsistensi normal semen yang diuji adalah 27%. Menurut SNI 03-6826-2002 nilai konsistensi sebaiknya kurang dari 30% dan mendekati angka 28%. Dari nilai konsistensi yang didapat, dapat diartikan bahwa semen yang digunakan memenuhi syarat konsistensi normal berdasarkan SNI. Beberapa faktor yang mungkin dapat berpengaruh dalam pengujian ini seperti kondisi tempat penyimpanan semen dan waktu pengadukan.

4.1.1.2 Penentuan Waktu Ikut Semen Hidraulic

Waktu ikat adalah waktu yang dibutuhkan sejak penambahan air pencampur hingga campuran mencapai derajat kekakuan tertentu seperti yang diukur melalui prosedur ASTM C 91-82. Waktu ikat terjadi ketika penetrasi jarum ke dalam benda uji telah mencapai 25 mm. Dari percobaan

yang sudah dilakukan, waktu ikat terjadi pada menit ke-80 seperti terlihat pada grafik :



Gambar 4. 1 Hasil Percobaan Waktu Ikat

4.1.2 Agregat Kasar

4.1.2.1 Pengujian Berat Jenis dan Absorpsi Agregat Kasar

Dari percobaan yang telah dilakukan dengan mengikuti prosedur pada ASTM C127-04. didapat nilai *specific gravity* dan absorpsi dari agregat kasar adalah:

Tabel 4. 2 Specific Gravity dan Absorpsi Agregat Kasar

Berat Jenis	Nilai
Berat Jenis Curah (<i>Bulk Specific Gravity</i>)	2,79
Berat Jenis <i>Saturated Surface Dry</i>	2,91
Berat Jenis Semu (<i>Apparent Specific Gravity</i>)	3,15
Absorpsi	4,10 %

Dari percobaan didapatkan nilai 2,79 untuk berat jenis curah. Menurut ASTM C127, nilai *Bulk Specific Gravity* sebaiknya lebih dari 2,5 dan di bawah 3. Artinya agregat kasar yang digunakan memiliki nilai *specific gravity* yang baik.

Sedangkan nilai absorpsi agregat kasar yang didapat dari hasil percobaan adalah 4,10%. Nilai absorpsi agregat kasar sebaiknya kurang dari 4% menurut ASTM C127. Kemampuan absorpsi agregat kasar yang melebihi nilai 4% dapat berakibat pada kekuatan beton. Semakin tinggi nilai absorpsi, kekuatan beton akan berkurang. Hal ini disebabkan oleh ikatan antara agregat dan pasta semen melemah karena agregat yang terlalu banyak mengandung air.

4.1.2.2 Pengujian Berat Isi Agregat Kasar

Menurut ASTM C29/29M-97, pengujian berat isi dilakukan dalam tiga perlakuan yang berbeda. Ketiga perlakuan ini yaitu berat isi lepas, berat isi dengan penggoyangan dan berat isi dengan penusukan. Dari percobaan yang dilakukan, didapat hasil :

Tabel 4. 3 Hasil Percobaan Berat Isi dari Agregat Kasar

Berat Isi	Nilai	Rongga Udara
Berat Isi Lepas	1,39	50,08 %
Berat Isi Dengan Penggoyangan	1,51	45,72 %
Berat Isi Dengan Penusukan	1,55	44,43 %

Nilai berat isi dipengaruhi beberapa hal seperti cara pemadatan, bentuk agregat, dan tekstur agregat. Dari hasil percobaan terlihat bahwa berat isi dengan cara penusukan yang memiliki nilai berat isi paling besar dan rongga udara paling sedikit.

4.1.2.3 Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar



Gambar 4. 2 Mesin Analisa Saringan

Pengujian ini mengikuti aturan dari ASTM 136-05.

$$\text{persen tertahan} = \frac{\text{berat tertahan}}{\text{berat total}} \times 100\%$$

Sementara persen lolos kumulatif didapatkan dari rumus:

$$= \text{persen lolos kumulatif}$$

$$= 100\% - \text{persen tertahan kumulatif}$$

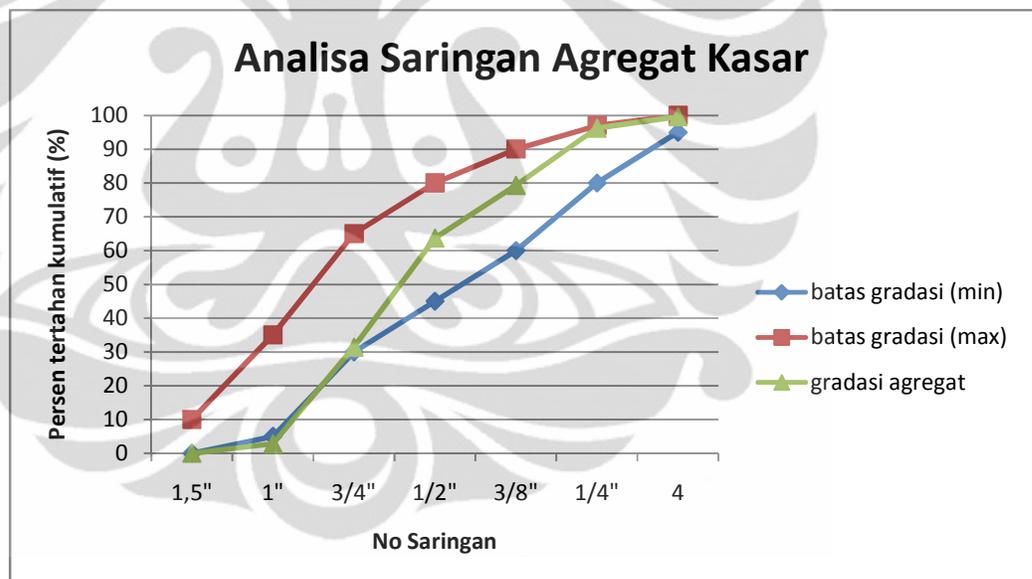
Percobaan analisa saringan agregat kasar dilakukan dengan dua kali percobaan dengan agregat kasar sejumlah 2,5 kg untuk setiap percobaan. Ukuran saringan yang digunakan adalah saringan standar ASTM no. 1½ hingga saringan standar ASTM no.4. Dari percobaan, dilakukan perbandingan dengan SNI 02-2384-1992.

Tabel 4. 4 Hasil Percobaan Analisa Saringan Agregat Kasar

Ukuran saringan	Rata-Rata		SNI 02-2384-1992
	% tertahan kumulatif	% lolos kumulatif	% lolos kumulatif
1 ½" (38,1 mm)	0	100	90-100

Ukuran saringan	Rata-Rata		SNI 02-2384-1992
	% tertahan kumulatif	% lolos kumulatif	% lolos kumulatif
1" (25,4 mm)	2,80	97,20	
¾" (19,1 mm)	31,39	68,61	35-70
½" (12,7 mm)	63,68	36,32	
3/8" (9,52 mm)	79,31	20,69	10-40
¼" (6,35 mm)	96,19	3,81	
4 (4,75 mm)	99,60	0,40	0-5
Pan	100,00	0,00	

Secara grafik dapat dilakukan perbandingan sebagai berikut,



Gambar 4. 3 Gradasi Agregat Kasar Dibandingkan dengan SNI 02-2384-1992

Gradasi agregat kasar yang digunakan memenuhi kriteria SNI 02-2384-1992 seperti terlihat pada grafik, dimana garis hijau menunjukkan gradasi agregat kasar yang diuji, sedangkan garis merah menunjukkan nilai gradasi maksimum, dan garis biru menunjukkan nilai gradasi minimum sesuai SNI 02-2384-1992.

4.1.2.4 Pengujian Abrasi dengan Mesin *Los Angeles*

Pengujian abrasi dilakukan sesuai dengan ASTM C 131–89. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan agregat kasar terhadap keausan. Mesin yang digunakan adalah menggunakan mesin Los Angeles. Keausan agregat tersebut dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan No. 12 terhadap berat semula, dalam persen. Berikut ialah hasil pengujian yang dilakukan di laboratorium:

Tabel 4. 5 Hasil Percobaan Abrasi

Gradasi pemeriksaan		Gradasi B	
Ukuran saringan			
Lewat	Tertahan	Berat sebelum	Berat sesudah
$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	2500	3391
$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	2500	
JUMLAH		5000	3391
Keausan		32,18 %	



Gambar 4. 4 Mesin Los Angeles

Percobaan dilakukan sesuai dengan prosedur gradasi B pada ASTM C 131–89. Hasil dari percobaan yang telah dilakukan adalah keausan agregat sebesar 32,18%. Menurut ASTM C 131–89, nilai

persentase abrasi yang memenuhi syarat adalah antara 15 hingga 50%. Artinya agregat kasar yang diuji memenuhi criteria tersebut.

4.1.3 Agregat Halus

4.1.3.1 Pengujian Berat Jenis dan Absorpsi Agregat Halus

Percobaan ini dilakukan berdasarkan ASTM C 128–93. Percobaan untuk menentukan *bulk* dan *apparent specific gravitiy* dan absorpsi dari agregat halus ini dilakukan sebanyak dua kali. Berikut ialah rata-rata nilai *specific gravity* yang didapat:

Tabel 4. 6 Specific Gravity dan Absorpsi Agregat Halus

Berat Jenis	Nilai
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	2,52
Berat Jenis SSD	2,58
Berat Jenis Semu	2,69
Absorpsi	2,46%

Dari percobaan berat jenis yang telah dilakukan didapat nilai berat jenis curah 2,52. Berat jenis agregat halus sebaiknya memiliki nilai di atas 2,5. Sedangkan nilai absorpsi agregat halus yang diuji adalah 2,46%. Berdasarkan ASTM C 128–93, nilai absorpsi yang baik untuk agregat halus maksimal sebesar 2%. Nilai absorpsi agregat halus yang melebihi 2% memungkinkan terjadinya penurunan kekuatan beton akibat lemahnya ikatan antara agregat dan pasta semen.

4.1.3.2 Pengujian Berat Isi Agregat Halus

Berdasarkan ASTM C29/29M-97, tiga metode yang digunakan untuk mencari berat isi agregat halus adalah berat isi lepas, berat isi dengan cara penumbukan, dan berat isi dengan cara penggoyangan. Dengan melakukan percobaan tersebut

Tabel 4. 7 Hasil Percobaan Berat Isi Agregat Halus

Berat Isi	Nilai	Rongga Udara
Berat Isi Lepas	1,01	59,8%
Berat Isi Dengan Penggoyangan	1,10	56,19%
Berat Isi Dengan Penusukan	1,07	57,53%

Nilai berat isi paling besar didapat dengan cara penggoyangan, yakni 1,10 dan memiliki rongga udara paling kecil yakni 56,19%. Metode penggoyangan paling efektif untuk mendapat nilai berat isi terbesar dan rongga udara terkecil karena agregat halus saling memadat dan saling mengisi.

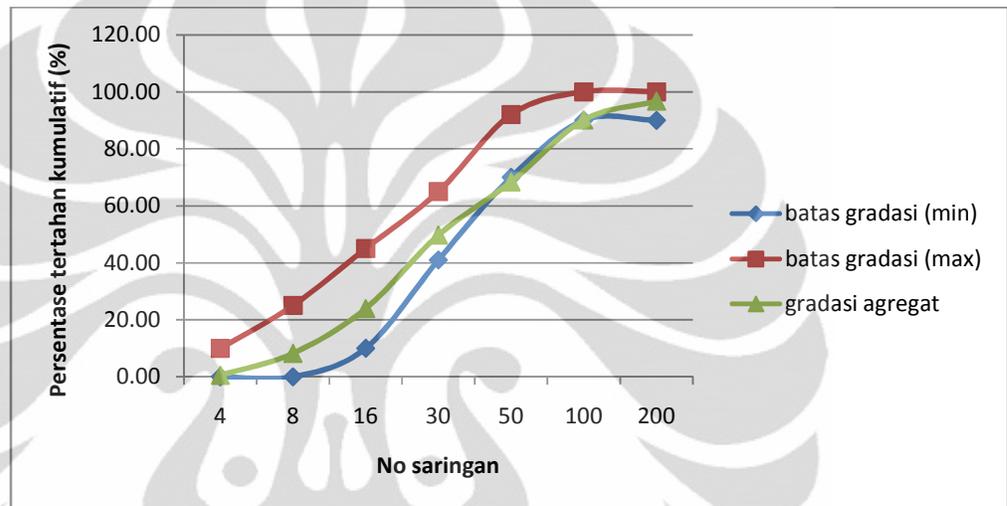
4.1.3.3 Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Prosedur pengujian analisa saringan pada agregat halus sama dengan agregat kasar. Namun saringan yang digunakan memiliki ukuran yang berbeda. Uji analisa saringan agregat ini mengikuti prosedur ASTM 136-95a. Pengujian ini dilakukan sebanyak dua kali. Masing-masing menggunakan agregat halus sebanyak 500 gr. Berikut adalah hasil percobaan analisa saringan agregat halus:

Tabel 4. 8 Hasil Percobaan Analisa Saringan Agregat Halus

No	Saringan	Rata-rata		Gradasi Zone II
		% tertahan kumulatif	% lolos kumulatif	% lolos kumulatif
1	4	0.50%	99.50%	90 – 100
2	8	8.20%	91.80%	75 – 100
3	16	23.90%	76.10%	55 – 90
4	30	49.70%	50.30%	35 – 59
5	50	68.40%	31.60%	8 – 30
6	100	90.10%	9.90%	0 – 10
7	200	96.70%	3.30%	
8	pan	100.00%	0.00%	
	FM	2.40		

Nilai *Fineness Modulus* (FM) didapat dari jumlah persen tertahan kumulatif hingga saringan no 100 dan dibagi dengan 100. Nilai FM agregat halus yang diuji adalah 2,4. Sedangkan nilai FM untuk agregat halus sebaiknya berada di antara 2,3 hingga 3. Artinya agregat halus yang digunakan memiliki derajat kehalusan yang baik. Untuk membandingkan dengan dengan tipe gradasi standar, dilakukan analisa grafik sebagai berikut:



Gambar 4. 5 Gradasi Agregat Halus

Gradasi agregat halus yang diuji ditunjukkan oleh garis berwarna hijau sedangkan batas minimum ditunjukkan dengan garis berwarna biru, dan batas maksimum ditunjukkan oleh garis berwarna merah. Dari grafik tersebut terlihat gradasi agregat halus berada di antara garis gradasi maksimum dan minimum untuk zona II IS 383-1963. Menurut IS 383-1963 terdapat 4 zona gradasi agregat halus, yakni zona I, zona II, zona III, dan zona IV.

4.1.3.4 Pengujian Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No. 200

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui jumlah bahan atau partikel lain (lumpur dan partikel kecil) yang terdapat di dalam agregat halus lewat saringan no.200 dengan cara pencucian. Menurut SNI-03-4142-1996, berat minimum agregat yang digunakan adalah agregat halus lolos saringan no.4 ASTM sebanyak 500 gram yang telah dioven selama

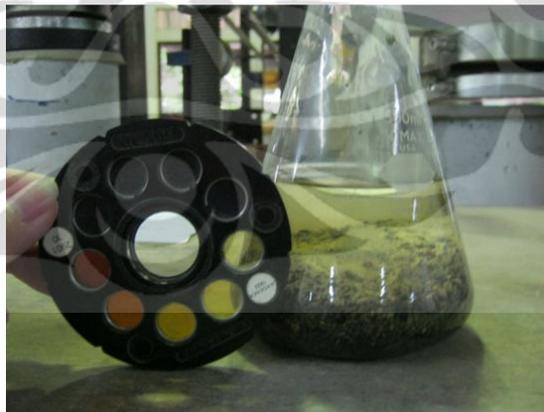
24 jam. Agregat halus dicuci dengan saringan no.16 dan no.200 ASTM. Agregat halus yang tertahan pada saringan tersebut dioven selama 24 jam dan ditimbang. Data yang didapatkan adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No.200

Berat	Awal	500
	Akhir	453
Kadar lumpur		9,40%

Dari hasil percobaan didapatkan bahwa kadar lumpur dalam agregat halus yang diuji adalah sebesar 9,4%. Menurut ASTM C117-04, kadar lumpur yang diperbolehkan dalam agregat halus kurang dari 5%. Lumpur berlebih ini dapat berakibat pada ikatan antara semen dan agregat halus yang menjadi tidak maksimal. Sebagai solusinya, pasir dimasukkan ke dalam karung dan dibasahi dengan air agar lumpur ikut terlarut dalam air yang mengalir.

4.1.3.5 Pengujian Kadar Organik dalam Agregat Halus



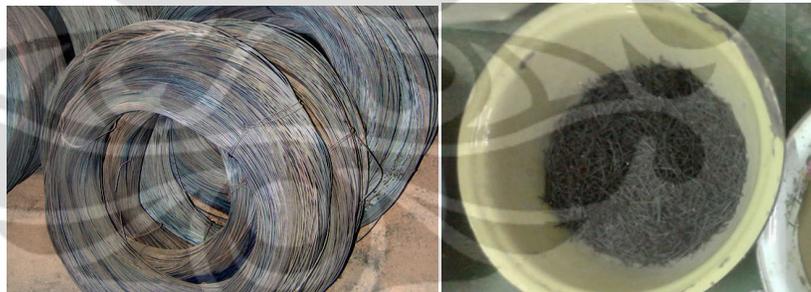
Gambar 4. 6 Pengujian Kadar Organik

Pengujian menurut ASTM C-40 ini dimulai dengan mencampurkan agregat halus dengan larutan NaOH dan hasilnya setelah dibiarkan selama 24 jam dibandingkan dengan warna pada *organic plate*. Warna no.1 yang terdapat pada *organic plate* menunjukkan kandungan organik yang terkandung sangat sedikit. Semakin besar nomor pada *organic plate*,

berarti semakin banyak kandungan organik dalam agregat halus. Dari hasil percobaan, diketahui bahwa warna yang ditunjukkan adalah warna no. 1 pada *organic plate*. Sedangkan batas nilai organik yang diizinkan adalah *organic plate* no.3. Berarti kadar organik dalam agregat halus memenuhi syarat.

4.2 Fiber Bendrat

Fiber dari bahan kawat bendrat dibuat dari kawat bendrat rol hasil produksi pabrik. Dari bentuk rol tersebut, dilakukan pemotongan dengan *bar cutter* dan cetakan kawat dari besi sehingga kawat yang dipotong konsisten sepanjang $3 \pm 0,1$ cm. Diameter kawat yang digunakan antara 0,8-1,0 mm. Fiber dengan spesifikasi ini mengikuti saran dari Balaguru, yakni menggunakan fiber dengan ukuran panjang antara 12 mm hingga 38 mm, diameter antara 0,25 mm hingga 2,5 mm, dan memiliki rasio panjang per diameter kurang dari 100 karena dengan rasio yang melebihi 100, akan terjadi penggumpalan akibat fiber saling mengunci pada saat *mixing*.



Gambar 4. 7 Fiber Bendrat

4.3 Mix Design

Metode perhitungan *mix design* menggunakan metode ACI. Spesifikasi yang digunakan adalah

- ❖ $f_c' = 25$ MPa
- ❖ Maximum Size of Aggregate (MSA) = 25 mm
- ❖ Slump target = 150 mm

- ❖ Berat jenis agregat kasar (SSD) = $2,907 \text{ gr/cm}^3$
- ❖ Berat jenis agregat halus (SSD) = $2,585 \text{ gr/cm}^3$
- ❖ Fineness Modulus agregat halus = 2,40
- ❖ Berat jenis semen = $3,15 \text{ gr/cm}^3$

Perhitungan berdasarkan ACI *Mix Design* untuk beton normal f_c' 25 MPa tanpa penambahan *fly ash* dan fiber bendrat adalah sebagai berikut:

✚ Air	= 202 kg/m^3
✚ Semen	= 404 kg/m^3
✚ Agregat kasar	= $1100,5 \text{ kg/m}^3$
✚ Agregat halus	= $716,31 \text{ kg/m}^3$

Dengan melakukan penggantian semen oleh *fly ash* sebesar 15% , maka perhitungan *mix design* menjadi :

✚ Air	= 202 kg/m^3
✚ Semen	= $343,40 \text{ kg/m}^3$
✚ Agregat kasar	= $1100,5 \text{ kg/m}^3$
✚ Agregat halus	= $716,31 \text{ kg/m}^3$
✚ <i>Fly ash</i>	= $60,6 \text{ kg/m}^3$

Lalu dengan menambahkan fiber bendrat dengan persentase berdasarkan jumlah semen, maka perhitungan *mix design* menjadi :

➤ Untuk 4% fiber bendrat berdasarkan jumlah semen

✚ Air	= 202 kg/m^3
✚ Semen	= $327,24 \text{ kg/m}^3$
✚ Agregat kasar	= $1100,5 \text{ kg/m}^3$
✚ Agregat halus	= $716,31 \text{ kg/m}^3$
✚ <i>Fly ash</i>	= $60,6 \text{ kg/m}^3$
✚ Fiber bendrat	= $16,16 \text{ kg/m}^3$

➤ Untuk 6% fiber bendrat berdasarkan jumlah semen

✚ Air	= 202 kg/m^3
-------	------------------------

- ✚ Semen = 319,16 kg/m³
- ✚ Agregat kasar = 1100,5 kg/m³
- ✚ Agregat halus = 716,31 kg/m³
- ✚ *Fly ash* = 60,6 kg/m³
- ✚ Fiber bendrat = 24,24 kg/m³

➤ Untuk 8% fiber bendrat berdasarkan jumlah semen

- ✚ Air = 202 kg/m³
- ✚ Semen = 311,08 kg/m³
- ✚ Agregat kasar = 1100,5 kg/m³
- ✚ Agregat halus = 716,31 kg/m³
- ✚ *Fly ash* = 60,6 kg/m³
- ✚ Fiber bendrat = 32,32 kg/m³

➤ Untuk 10% fiber bendrat berdasarkan jumlah semen

- ✚ Air = 202 kg/m³
- ✚ Semen = 303 kg/m³
- ✚ Agregat kasar = 1100,5 kg/m³
- ✚ Agregat halus = 716,31 kg/m³
- ✚ *Fly ash* = 60,6 kg/m³
- ✚ Fiber bendrat = 40,4 kg/m³

➤ Untuk 12% fiber bendrat berdasarkan jumlah semen

- ✚ Air = 202 kg/m³
- ✚ Semen = 294,92 kg/m³
- ✚ Agregat kasar = 1100,5 kg/m³
- ✚ Agregat halus = 716,31 kg/m³
- ✚ *Fly ash* = 60,6 kg/m³
- ✚ Fiber bendrat = 48,48 kg/m³

Dalam bentuk tabel adalah sebagai berikut

Tabel 4. 10 Mix Design

Material	A	B	C	D	E	F	G
Air	202	202	202	202	202	202	202
Semen	404	343.4	327.24	319.16	311.08	303	294.92
Agregat Kasar	1100,5	1100,5	1100,5	1100,5	1100,5	1100,5	1100,5
Agregat Halus	716,31	716,31	716,31	716,31	716,31	716,31	716,31
<i>Fly Ash</i>		60.6	60.6	60.6	60.6	60.6	60.6
Fiber Bendrat			16.16	24.24	32.32	40.4	48.48

Keterangan:

- A = Beton f_c' 25 MPa
- B = Beton f_c' 25 MPa dengan penggantian 15% *fly ash*
- C = Beton spesifikasi B dengan fiber bendrat 4%
- D = Beton spesifikasi B dengan fiber bendrat 6%
- E = Beton spesifikasi B dengan fiber bendrat 8%
- F = Beton spesifikasi B dengan fiber bendrat 10%
- G = Beton spesifikasi B dengan fiber bendrat 12%

4.4 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji mengikuti prosedur sesuai dengan ACI *Mix Design* (tercantum pada bab sebelumnya). Material seperti agregat kasar dan agregat halus dipersiapkan dalam kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*) atau kering permukaan.



Gambar 4. 8 Agregat dikondisikan SSD

Kemudian dilakukan proses *mixing* sesuai prosedur ACI.



Gambar 4. 9 Beton Segar Hasil Mixing



Gambar 4. 10 Uji Slump



Gambar 4. 11 Pencatatan Suhu dan Kelembaban saat Mixing

Dalam keadaan beton masih segar, beton dimasukkan ke dalam bekisting-bekisting benda uji geser *double-L* dan benda uji geser kubus.



Gambar 4. 12 Beton Segar di Bekisting Benda Uji

Setelah didiamkan selama ± 24 jam, benda uji dirawat dalam kolam khusus yang kebersihan airnya terjaga. Kemudian pada hari ke 26, benda uji dikeluarkan dari kolam perawatan sehingga dapat dilakukan pengujian benda uji pada hari ke 28 dengan kondisi benda uji kering.



Gambar 4. 13 Kolam Perawatan Benda Uji

4.5 Trial Mix

Benda uji geser kubus dan benda uji *double-L* merupakan benda uji yang tidak tercantum dalam standar dalam dunia konstruksi. Sehingga bekisting dan metode pengujian harus dibuat oleh peneliti. Bekisting untuk benda uji geser kubus dan benda uji *double-L* menggunakan bahan kayu dengan ketebalan 2 cm. Bekisting ini dapat dibongkar pasang.



Gambar 4. 14 Bekisiting Benda Uji Geser Kubus dan Benda Uji Double-L

Di awal penelitian, peneliti melakukan *trial mix* pertama dengan 1 sampel geser kubus dan 1 sampel geser *double-L* (tanpa menggunakan tulangan). Hasil yang didapat adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 15 Trial Mix Benda Uji Geser Kubus

Kuat geser dari benda uji kubus pada hari ke 28 = _____ = _____ =
20 kg/cm², dengan keretakan sesuai pada bidang geser yang diharapkan.



Gambar 4. 16 Retak Benda uji geser double-L tanpa tulangan

Kuat geser dari benda uji *double-L* pada hari ke 28 = _____ =
_____ = 18,52 kg/cm². Namun keretakan yang terjadi tidak sesuai

pada bidang geser yang diharapkan, terdapat retak pada beberapa area lain sampel geser *double-L* selama proses uji geser berlangsung.

Untuk mengetahuinya lebih lanjut, peneliti melakukan *trial mix* kedua dengan membuat 3 benda uji geser kubus dan 6 benda uji *double-L*. Dari hasil *trial mix* kedua, diketahui bahwa dalam proses melepas benda uji dari bekisting cukup sulit dan dapat mengakibatkan retak awal sehingga gaya geser yang didapat pada hari ke 28 menjadi tidak maksimum. Pada *trial mix* kedua ini, 3 benda uji geser kubus mengalami retak saat proses pelepasan dari bekisting sehingga tidak dapat dilakukan proses perawatan beton dan pengujian geser. Sedangkan dari 6 benda uji geser *double-L*, 3 benda uji mengalami retak selama proses pelepasan dari bekisting dan 3 benda uji tidak mengalami retak sehingga dapat dilakukan perawatan beton dan pengujian geser pada 3 benda uji. Dari hasil pengujian 3 benda uji *double-L* yang dapat dilepaskan dari bekisting, keretakan terjadi pada area yang tidak diinginkan.



Gambar 4. 17 Benda Uji Geser double-L tanpa Tulangan saat Pengujian



Gambar 4. 18 Trial Mix Benda Uji Double-L

Setelah melakukan *trial mix* kedua, maka diputuskan untuk melakukan beberapa perubahan. Pada benda uji geser kubus, diberi styrofoam setebal 0,5 cm pada sisi dalam kubus untuk memudahkan selama proses melepaskan benda uji dari bekisting geser kubus. Selain itu, dengan menggunakan *waterpass*, diukur kemiringan benda uji. Bila ada kemiringan, maka dilakukan *capping* pada dasar benda uji geser kubus. Untuk benda uji *double-L*, digunakan perkuatan dengan menggunakan tulangan pada area yang mengalami retak pada saat *trial mix*. Bekisting *double-L* yang digunakan juga berubah, menggunakan bekisting sekali pakai dari bahan kayu. Yang dimaksud dengan bekisting sekali pakai adalah bekisting diisi dengan cor beton, lalu pada hari berikutnya tidak dilakukan pelepasan benda uji dari bekisting, namun bekisting kayu dan benda uji di dalamnya ikut direndam selama perawatan beton sampai hari pengujian. Selain itu, untuk mempermudah pelepasan benda uji dari bekisting, pada bagian terjepit pada bekisting diberikan styrofoam dengan ketebalan 0,5 cm. Pemberian Styrofoam ini tidak mempengaruhi dimensi benda uji karena telah diperhitungkan ruang untuk Styrofoam. Perubahan-perubahan ini dilakukan untuk mencegah retak awal saat pelepasan benda uji dari bekisting akibat kekuatan beton yang belum maksimal pada hari-hari awal yang dapat mempengaruhi kekuatan beton.

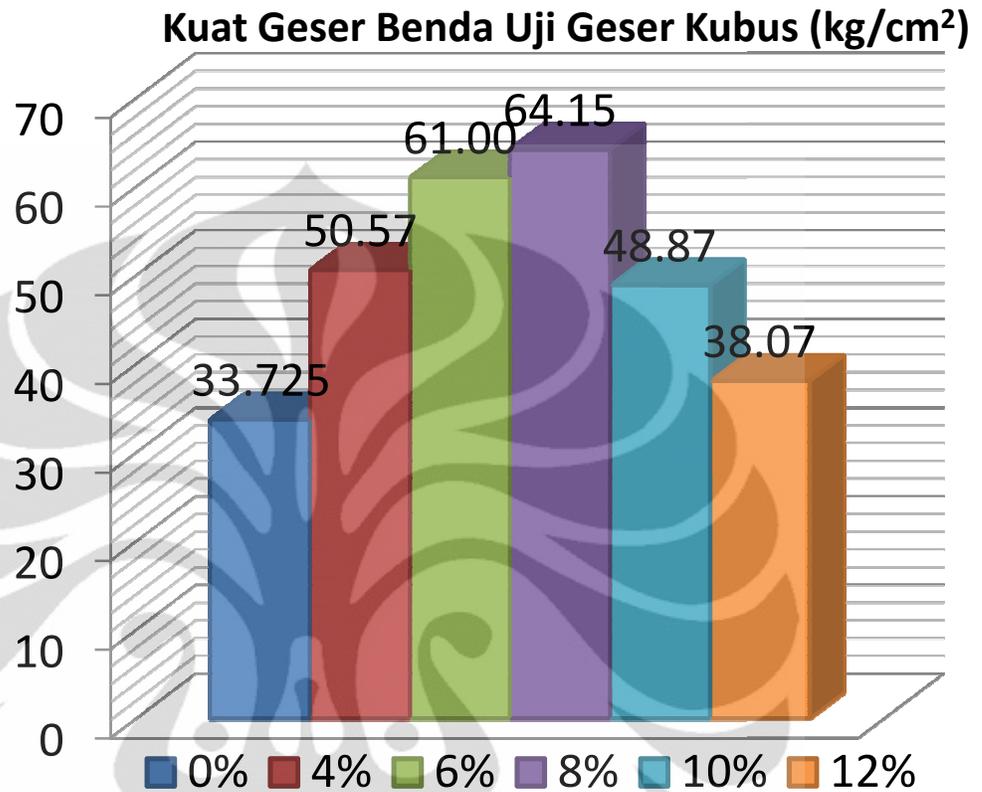


Gambar 4. 19 Penggunaan Styrofoam dan Capping pada Benda Uji Geser Kubus



Gambar 4. 20 Bekisting Sekali Pakai Benda Uji Double-L dengan Tulangan dan Cetakan Tahu Beton

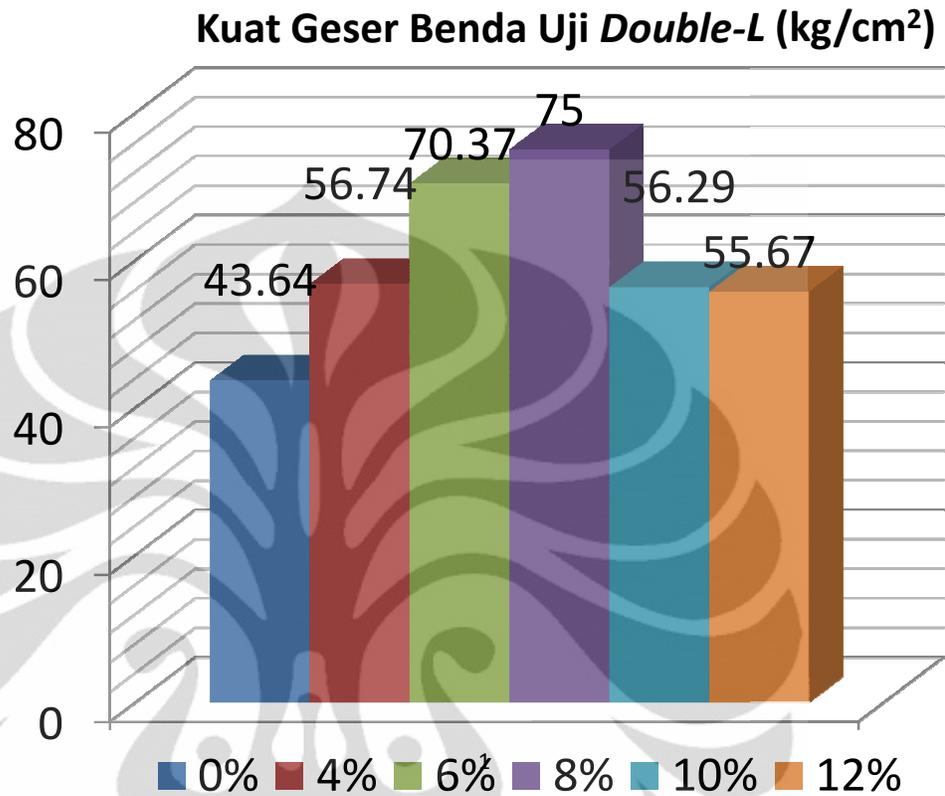
4.6 Hasil Pengujian Benda Uji Geser Kubus



Gambar 4. 21 Kuat Geser Benda Uji Geser Kubus

Dari hasil pengujian geser kubus, didapatkan persentase optimum kawat bendrat dalam beton adalah 8% dari jumlah semen dengan kekuatan 64,15 kg/cm².

4.7 Hasil Pengujian Benda Uji Geser *Double-L*

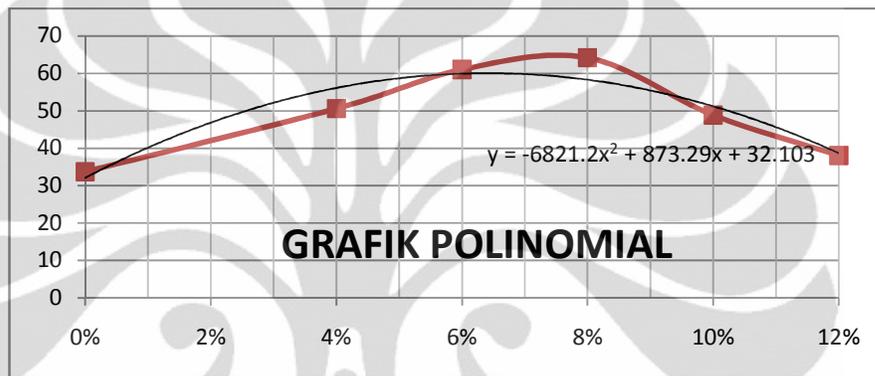


Gambar 4. 22 Kuat Geser Benda Uji Geser *Double-L*

Dari hasil pengujian geser *double-L*, didapatkan persentase optimum kawat bendrat dalam beton adalah 8% dari jumlah semen dengan kekuatan 75 kg/cm².

4.8 Analisis

Dengan menggunakan analisis polinomial dapat diperkirakan titik optimum persentase fiber bendrat dalam beton yang lebih detail. Pada grafik dengan sumbu x adalah persentase fiber bendrat dalam beton dan sumbu y adalah kuat geser beton dalam kg/cm^2 , didapat persamaan kurva sehingga akan diketahui titik puncak dari kurva dengan melakukan satu kali diferensial $\frac{dy}{dx}$ pada persamaan kurva.



Gambar 4. 23 Grafik Polinomial Benda Uji Geser Kubus

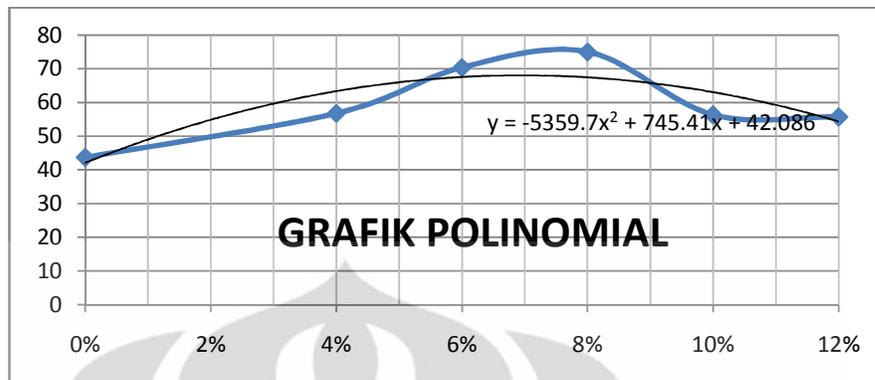
Diferensial $\frac{dy}{dx}$ untuk benda uji geser kubus,

$$y = -6821,2 x^2 + 873,29 x + 32,103$$

$$0 = -13642,4 x + 873,29$$

$$x = 0,06401 = 6,401\%$$

Artinya, titik optimum persentase kawat bendrat dalam campuran beton adalah 6,401%



Gambar 4. 24 Grafik Polinomial Benda Uji Geser double-L

Diferensial $\frac{dy}{dx}$ untuk benda uji geser *double-L*,

$$y = -5359,7 x^2 + 745,41 x + 42,086$$

$$0 = -10719,4 x + 745,41$$

$$x = 0,06964 = 6,954\%$$

Artinya, titik optimum persentase kawat bendrat dalam campuran beton adalah 6,954%.

Dari analisis polinomial di atas dapat diketahui bahwa titik optimum persentase kawat bendrat di dalam beton berada di antara 6% hingga 7%. Untuk penelitian lebih lanjut dan aplikasi di lapangan dapat difokuskan pada persentase fiber bendrat pada persentase yang mendekati perkiraan tersebut.

Dari dua tipe uji geser langsung yang telah dilakukan, hasilnya menunjukkan *trend* yang sama, yakni hasil kuat geser tertinggi atau persentase optimum 8% kawat bendrat dari jumlah semen dalam beton.

Tabel 4. 11 Persentase Kenaikan Kuat Geser

% fiber	Hasil Uji Geser Kubus (kg/cm ²)	% Kenaikan Kekuatan Geser	Hasil Uji Geser <i>double-L</i> (kg/cm ²)	% Kenaikan Kekuatan Geser
0	33.725	-	43.64	-
4	50.57	50%	56.74	30%
6	61	81%	70.37	61%
8	64.15	90%	75	72%
10	48.87	45%	56.29	29%
12	38.07	13%	55.67	28%

Pada persentase 4% dan 6%, hanya ada sedikit fiber bendrat di dalam beton, sehingga efek yang ditimbulkan belum sebesar pada persentase 8%. Sedangkan pada persentase 10% dan 12%, jumlah fiber bendrat di dalam beton terlalu banyak sehingga berakibat pada berkurangnya daya ikat agregat dan semen di dalam beton.

Persentase kenaikan kekuatan geser pada beton dengan menggunakan fiber bendrat cukup besar disebabkan karena kekuatan ikatan (*bond strength*) di dalam beton yang lebih baik karena fiber di dalam beton menjadi seperti *shear connector*.

Hasil secara angka yang berbeda dari kedua percobaan tersebut dapat dikarenakan bentuk sampel yang berbeda. Benda uji geser *double-L* mengalami mekanisme geser tunggal atau *single shear*. Sedangkan benda uji geser kubus mengalami mekanisme geser ganda atau *double shear*.

Tabel 4. 12 Korelasi Uji Geser Kubus dan Uji Geser Double-L

% fiber	Hasil Uji Geser Kubus (kg/cm ²)	Hasil Uji Geser <i>double-L</i> (kg/cm ²)	Korelasi
0	33.725	43.64	1.294
4	50.57	56.74	1.122
6	61	70.37	1.154
8	64.15	75	1.169
10	48.87	56.29	1.152
12	38.07	55.67	1.462

Secara logika, hasil uji geser benda uji yang mengalami geser ganda seharusnya sama atau lebih baik daripada benda uji yang mengalami

geser tunggal karena memiliki 2 sisi yang menahan gaya geser langsung. Namun secara praktik, pada benda uji yang mengalami geser ganda, keretakan akibat geser yang terjadi tidak selalu terjadi pada kedua sisi. Retak terjadi pada daerah yang paling lemah, sehingga tidak selalu terjadi pada tempat yang diharapkan. Homogenitas antara 1 sisi dan sisi lainnya tidak dapat dipastikan.



Gambar 4. 25 Hasil Uji Geser dengan Mekanisme Double Shear



Gambar 4. 26 Hasil Uji Geser dengan Mekanisme Single Shear

Homogenitas yang dimaksud adalah meratanya persebaran fiber bendrat di area geser yang diharapkan. Pada geser ganda, jumlah bendrat di area geser satu dan lainnya tidak dapat dipastikan berjumlah sama, sehingga kemungkinan pada satu bagian lebih lemah dan pada bagian lain lebih kuat. Hal ini berakibat pada saat pengujian, hanya satu bagian yang mengalami retak sedangkan pada bagian lain hanya retak ringan atau bahkan tidak terlihat mengalami retak.



Gambar 4. 27 Persebaran Fiber Bendrat pada Area Geser

Peneliti juga melakukan perbandingan kuat geser dengan kuat tekan beton fiber bendrat sehingga didapat hubungan koefisien antara kuat geser dan kuat tekan. Nilai kuat tekan didapat dari penelitian beton fiber lain yang sejalan dengan yang dilakukan dengan peneliti. Perumusan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$F_{\text{geser}} = K \times F_{\text{tekan}} ; \text{ dengan K adalah Korelasi}$$

Tabel 4. 13 Korelasi Kuat Geser Kubus dengan Kuat Tekan

% Fiber	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Geser Kubus (kg/cm ²)	Kuat Geser (MPa)	Korelasi
0	25.078	33.725	3.373	13%
4	24.051	50.567	5.057	21%
6	26.503	61.000	6.100	23%
8	25.673	64.150	6.415	25%
10	24.111	48.867	4.887	20%
12	22.753	38.067	3.807	17%

Tabel 4. 14 Korelasi Kuat Geser double-L dengan Kuat Tekan

% Fiber	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Geser <i>double-L</i> (kg/cm ²)	Kuat Geser (MPa)	Korelasi
0	25.078	43.644	4.364	17%
4	24.051	56.741	5.674	24%
6	26.503	70.370	7.037	27%
8	25.673	75.000	7.500	29%
10	24.111	56.296	5.630	23%
12	22.753	55.679	5.568	24%

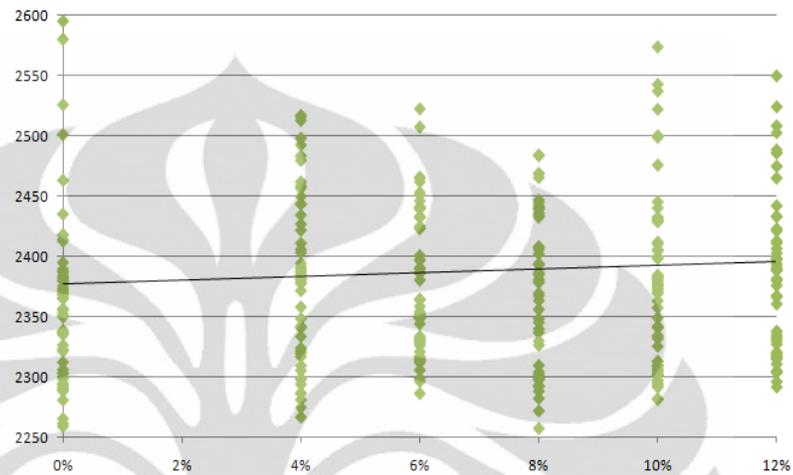
Hubungan antara kuat geser dan kuat tekan tidak konsisten pada setiap persentase fiber yang digunakan dalam campuran beton, terutama antara benda uji normal tanpa penggunaan fiber dengan benda uji yang menggunakan fiber. Salah satu penyebabnya adalah fiber meningkatkan kuat geser secara signifikan, namun tidak berpengaruh banyak terhadap kuat tekan. Sehingga korelasi kuat geser dan kuat tekan untuk beton normal tanpa fiber adalah $F_{\text{geser}} = (13\%) \times F_{\text{tekan}}$ untuk benda uji geser kubus dan $F_{\text{geser}} = (17\%) \times F_{\text{tekan}}$ untuk benda uji geser *double-L*. Sedangkan pada beton fiber, untuk benda uji geser kubus didapatkan nilai $F_{\text{geser}} = (17\% \text{ s/d } 25\%) \times F_{\text{tekan}}$ dan untuk benda uji geser *double-L* didapatkan nilai $F_{\text{geser}} = (23\% \text{ s/d } 29\%) \times F_{\text{tekan}}$.

Berdasarkan Edward G. Nawy, kuat geser sulit untuk ditentukan secara eksperimental dibanding kuat mekanis lainnya karena kesulitan mengisolasi geser dari kuat mekanis lain. Kuat geser dalam berbagai studi eksperimental menunjukkan variasi 20 hingga 85 persen dibandingkan dengan kuat tekan. Kuat geser langsung memiliki variasi nilai $F_{\text{geser}} = (20\% \text{ s/d } 85\%) \times F_{\text{tekan}}$. Hubungan antara kuat tekan dan kuat geser ini tidak dapat dipastikan pada satu angka korelasi karena kuat geser sangat dipengaruhi berbagai hal seperti jumlah agregat, tingkat kekerasan agregat, dan persebaran fiber dalam area bidang geser yang diuji.

Beton fiber memiliki efek samping lain pada beton, seperti densitas beton yang bertambah sejalan dengan banyaknya jumlah fiber di dalam campuran beton. Beton dengan jumlah fiber sebesar 12% dari campuran beton mengalami kenaikan densitas hampir 50 kg/m³ dibandingkan dengan

beton dengan jumlah fiber 0%. Deviasi besar densitas beton mungkin diakibatkan adanya sampel yang belum kering sepenuhnya karena hanya dikeringkan pada suhu ruangan.

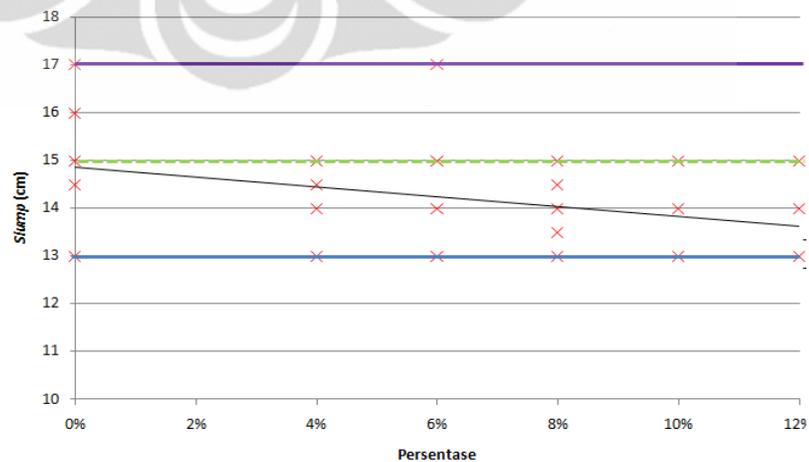
Density akibat Penambahan Akibat Penambahan Fiber



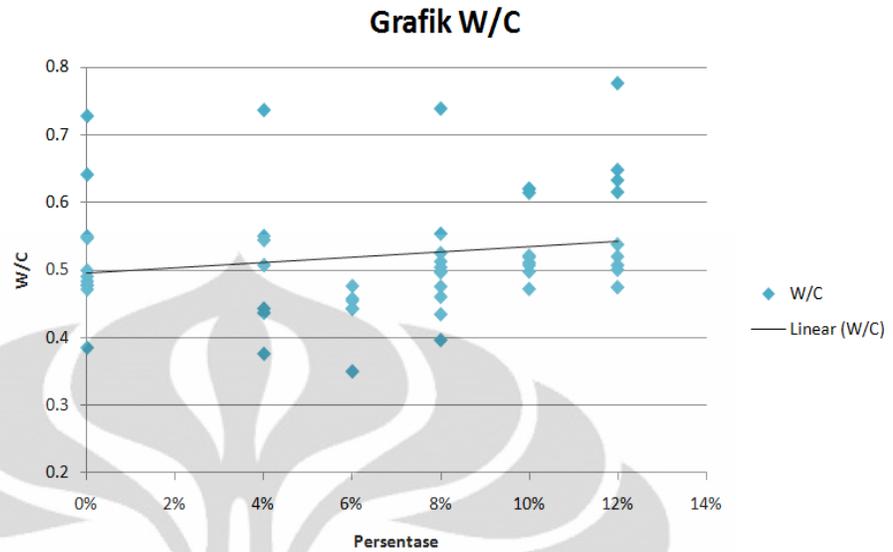
Gambar 4. 28 Densitas Beton Beton berdasarkan Persentase Fiber

Selain mempengaruhi densitas beton, beton dengan jumlah fiber yang lebih banyak juga berpengaruh pada faktor air semen dan slump beton meski tidak signifikan karena faktor cuaca, suhu, dan kelembaban juga berpengaruh pada faktor air semen dan slump. Namun selama proses pengecoran, slump beton masih berada dalam rentang yang diperbolehkan, yakni 15 ± 2 cm.

Grafik Slump Beton selama Mixing



Gambar 4. 29 Slump Beton berdasarkan Persentase Fiber



Gambar 4. 30 Faktor Air Semen Beton berdasarkan Persentase Fiber

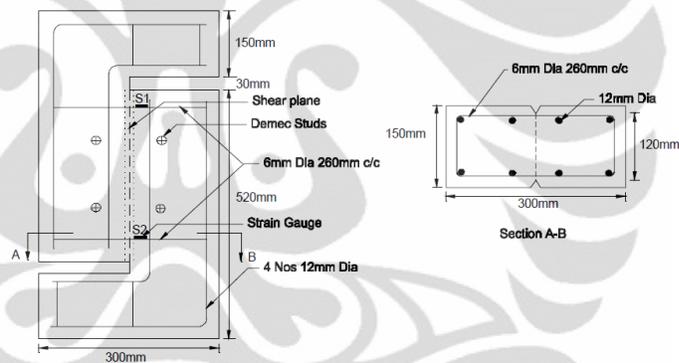
Untuk mempertahankan slump beton berada dalam rentang yang diperbolehkan, faktor air semen beton mengalami kenaikan seiring pertambahan jumlah fiber dalam beton. Namun bila ditarik secara linear, pertambahan faktor air semen tidak signifikan. Dalam grafik diperlihatkan adanya data pencilan. Data ini diakibatkan faktor seperti cuaca, suhu, dan kelembaban. Suhu yang tinggi dan kelembaban yang rendah mengakibatkan kondisi agregat menjadi lebih kering daripada kondisi kering permukaan atau SSD. Suhu yang rendah dan kelembaban yang tinggi mengakibatkan kondisi agregat menjadi lebih basah daripada kondisi kering permukaan atau SSD. Semen juga ikut terpengaruh kondisi ini. Data pencilan tersebut tidak digunakan dalam penelitian.

4.9 Perbandingan dengan Jurnal

Tabel 4. 15 Hasil Uji Kuat Geser Kubus dan *Double-L*

% fiber	Hasil Uji Geser Kubus (kg/cm ²)	Hasil Uji Geser <i>double-L</i> (kg/cm ²)
0	33.725	43.64
4	50.57	56.74
6	61	70.37
8	64.15	75
10	48.87	56.29
12	38.07	55.67

Dari hasil uji kuat geser yang dilakukan dalam penelitian ini, dilakukan perbandingan dengan referensi dari jurnal internasional yang berkaitan dengan geser langsung dan bentuk sampel yang memiliki kesamaan.



Gambar 4. 31 Spesifikasi Sampel (Jayaprakash, 2009)

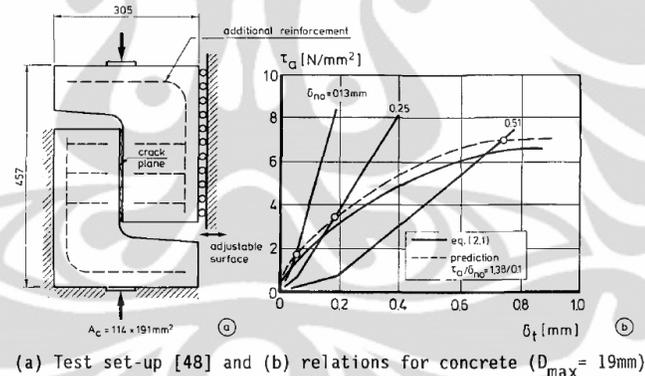
Dalam penelitian Jayaprakash, 2009, digunakan *Carbon Fibre Reinforced Polymer (CFRP) fabrics*. Mutu beton yang digunakan adalah 30 MPa. Pada benda uji dilakukan *precracked* dan dilakukan perkuatan eksternal dengan *CFRP fabrics*. Jumlah *CFRP fabrics* yang digunakan pada benda uji memiliki variasi 0,14%, 0,28%, dan 0,42% dari volume. Hasilnya menunjukkan dengan menggunakan *CFRP fabrics*, dapat meningkatkan kekuatan geser yang bervariasi, dari 7% hingga 56% terhadap benda uji tanpa menggunakan *CFRP fabrics* seperti terlihat pada tabel hasil pengujian sampel. Dengan kenaikan kekuatan geser tertinggi pada jumlah *CFRP fabrics* sebesar 0,14%.

Tabel 4. 16 Hasil Pengujian Sampel (Jayaprakash, 2009)

Specimen Details	Steel Stirrups	ρ (%)	Failure load (kN)	Shear stress (MPa)	Contribution of CFRP sheets (kN)	Enhancement (%)
P1	2 Nos 6mm	0.14	85.50	2.09	---	---
PF1	2 Nos 6mm	0.14	131.82	3.23	46.32	54.17
P2	4 Nos 6mm	0.28	135.38	3.30	---	---
PF2	4 Nos 6mm	0.28	167.45	4.10	32.07	23.68
P3	6 Nos 6mm	0.42	213.87	5.24	---	---
PF3	6 Nos 6mm	0.42	228.02	5.58	14.15	6.62

$\rho = nA_s/bd$; A_s – area of stirrups across the shear plane; bxd – cross section of shear plane; n – number of stirrups

Pengujian lain yang menggunakan jenis benda uji yang memiliki kesamaan adalah pengujian geser statis oleh Paulay dan Loeber. Variabel yang digunakan adalah jenis agregat dari gravel. Variasi agregat *rounded* dengan ukuran maksimum 9,5 mm, agregat *rounded* dengan ukuran maksimum 19 mm, dan agregat *crushed* dengan ukuran maksimum 19 mm. Pengujian dilakukan dengan metode *displacement control*.



Gambar 4. 32 Pengujian Geser (Paulay dan Loeber)

Pengujian lain dilakukan oleh Walraven dengan menggunakan 32 sampel seperti yang pernah digunakan oleh Mattock. Pengujian dengan metode *displacement control*. Variabel yang digunakan adalah retak awal dengan kedalaman 0,01 mm, 0,2 mm, dan 0,4 mm, tipe agregat *Fuller grading curve gravel* dengan $f_{cc} = 19,9\text{-}56,1 \text{ N/mm}^2$ dan Agregat ringan Korlin dengan $f_{cc} = 38,2 \text{ N/mm}^2$. Ukuran maksimum adalah 16 mm untuk beton normal dan 32 mm untuk beton mutu tinggi.

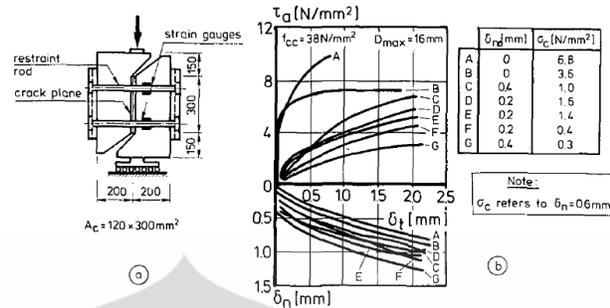


Figure 2.5 Tests of Walraven et al. [112,114]; (a) specimen with external restraint rods and (b) shear stress-displacement relations and measured crack-opening curves for normal-weight concrete.

Gambar 4. 33 Pengujian Geser (Walraven)

Pengujian berikutnya dilakukan oleh Tassios. Dengan variabel yang diteliti adalah kekasaran permukaan (halus, *sand-blasted*, kasar), f_c' antara 16-40 N/mm², agregat menggunakan batu kapur yang dihancurkan dengan ukuran maksimum 30 mm, dan kekuatan penekanan secara konstan antara 0,5-2 N/mm². Pengaruh kekasaran terlihat pada figure 2.6b. Pengaruh bukaan retak terlihat pada grafik 2.6c.

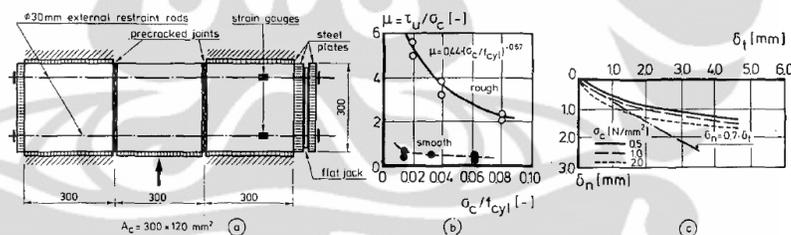


Figure 2.6 (a) Test set-up of Tassios et al. [93,103]; (b) μ - σ_c relations and (c) measured crack-opening paths.

Gambar 4. 34 Pengujian Geser (Tassios)

Pengujian dengan menggunakan dowel pernah dilakukan oleh Dulacska. Penelitiannya membandingkan antara hasil eksperimen dan pemodelan yang pernah dilakukan oleh Rasmussen. Dulacska mengatakan bahwa gaya aksial pada dowel berakibat kerusakan signifikan pada beton di sekitar besi beton pada bagian *precracked*.

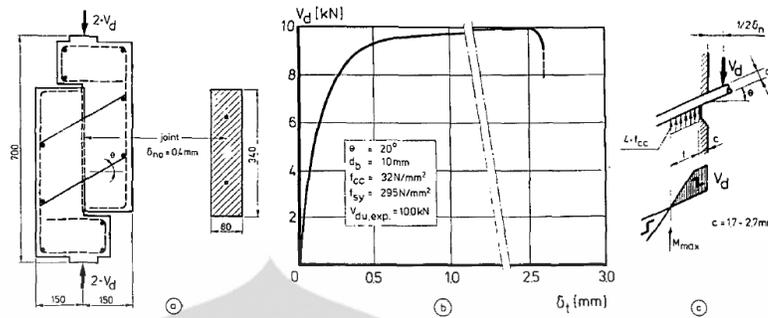


Figure 2.11 (a) Test specimen of Dulacska [44]; (b) typical load-displacement curve and (c) proposed model for dowel action.

Gambar 4. 35 Pengujian Geser (Dulacska)

Penelitian lain dilakukan oleh J.W.I.J Frénaïj dengan menggunakan spesimen yang identik dengan Mattock dan Walraven untuk uji pembebanan statis. Penelitian menggunakan 46 benda uji. Dimensi bidang geser adalah $120 \times 300 \text{ mm}^2$. Tulangan diameter 8 mm dengan $f_y = 460 \text{ N/mm}^2$ atau 550 N/mm^2 digunakan untuk mencegah terjadinya retak awal. Dalam pencampurannya, digunakan dua tipe agregat yang berasal dari agregat sungai *glacial* dengan ukuran maksimum 16 mm. Campuran beton dapat dilihat pada tabel *Mix Design* (J.W.I.J Frénaïj). Target kekuatan geser kubus pada *mix A* adalah 51 N/mm^2 dan 70 N/mm^2 pada *mix B*, setara dengan 42,3 MPa dan 58,1 MPa.

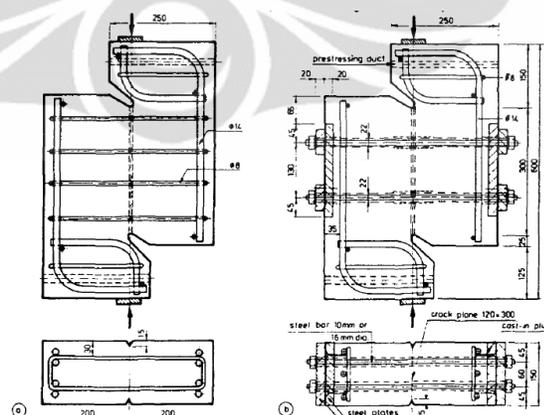


Figure 3.1 Details of push-off specimens with a single crack for (a) reinforced concrete and (b) plain concrete restrained by rods.

Gambar 4. 36 Pengujian Geser (J.W.I.J Frénaïj)

Tabel 4. 17 *Mix Design* (J.W.I.J Frénaij)**Table 3.1** Mix proportions.

	mix A	mix B
cement content [kg/m ³]	325	420
wc-ratio	0.50	0.38
agg.c-ratio	5.98	4.47
superpl. [%]	—	2.5Melment
Waiz comp. factor	1.15	1.10
air content [%]	09-15	15-25
sp. weight [kg/m ³]	2430	2453
f_{cc} [N/mm ²]	51	70
$s_{f_{cc}}$ [N/mm ²]	3.4	4.3

Tabel 4. 18 Hasil Penelitian Kuat Geser J.W.I.J Frénaij

type of crack	t_0 [d]	concrete mix	no. of spec.	τ [N/mm ²]	δ_{ne1} [mm]	δ_{te1} [mm]
reinf.	28	A	15	5.7-10.0	0.07-0.22	0.04-0.15
reinf.	28	B	15	8.5-11.5	0.07-0.18	0.02-0.13
plain	28-79	A	5	4.0-6.5	0.03-0.08	0.04-0.06
plain	28-35	B	3	5.0-6.5	0.04-0.06	0.02-0.04

*) number of specimens **) 1.12% (4 stirrups), 1.68% (6) or 2.24% (8)

Perbandingan hasil pengujian penelitian studi perilaku kuat geser pada beton dengan menggunakan serat kawat bendrat ini dengan penelitian-penelitian lain yang menggunakan sampel sejenis diperlihatkan pada tabel.

Tabel 4. 19 Perbandingan dengan Jurnal Penelitian

Penelitian	Mutu Beton (MPa)	Jenis Perkuatan	Jumlah dalam Beton (%)	Kekuatan Geser (MPa) pada hari ke-28
A1	25	-	0	4,36
A2	25	Serat Kawat Bendrat (l=30 mm, diameter 0,8-1 mm)	4% terhadap jumlah semen	5,67
A3	25	Serat Kawat Bendrat (l=30 mm, diameter 0,8-1 mm)	6% terhadap jumlah semen	7,04

Penelitian	Mutu Beton (MPa)	Jenis Perkuatan	Jumlah dalam Beton (%)	Kekuatan Geser (MPa) pada hari ke-28
A4	25	Serat Kawat Bendrat (l=30 mm, diameter 0,8-1 mm)	8% terhadap jumlah semen	7,5
A5	25	Serat Kawat Bendrat (l=30 mm, diameter 0,8-1 mm)	10% terhadap jumlah semen	5,63
A6	25	Serat Kawat Bendrat (l=30 mm, diameter 0,8-1 mm)	12% terhadap jumlah semen	5,57
B1	30	-	0,14%	2,09
B1	30	<i>CFRP sheets</i>	0,14%	3,23
B2	30	-	0,28%	3,30
B2	30	<i>CFRP sheets</i>	0,28%	4,10
B3	30	-	0,42%	5,24
B3	30	<i>CFRP sheets</i>	0,42%	5,58
C1	42,3	4 Tulangan Ø 8 mm	-	4
C2	58,1	4 Tulangan Ø 8 mm	-	6,5

Keterangan :

A = Studi Perilaku Kuat Geser pada Beton dengan Menggunakan Serat Kawat Bendrat (Ivan Christian Lukito, 2011)

B = *Experimental Investigation on Shear Capacity of Reinforced Concrete Precracked Push-off Specimens with Externally Bonded Bi-Directional Carbon Fibre Reinforced Polymer Fabrics* (J. Jayaprakash 2009)

C = *Time-Dependent Shear Transfer in Cracked Reinforced Concrete* (J.W.I.J. Frénaïj, 1989)

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil percobaan perilaku beton normal dengan serat kawat bendrat sepanjang 3 cm \pm 0,1 cm berdiameter 0,8-1,0 mm, dapat disimpulkan bahwa :

- ✓ Penambahan fiber bendrat di dalam beton mampu meningkatkan kuat geser beton.
- ✓ Persentase optimum fiber bendrat terhadap jumlah semen untuk meningkatkan kuat geser adalah 8%.
- ✓ Kuat geser beton meningkat sebesar 90% pada persentase 8% jumlah bendrat untuk benda uji geser kubus dibandingkan dengan benda uji geser kubus normal.
- ✓ Kuat geser beton meningkat sebesar 72% pada persentase 8% jumlah bendrat untuk benda uji geser *double-L* dibandingkan dengan benda uji geser *double-L* normal.
- ✓ Jumlah fiber yang terlalu banyak di dalam campuran beton dapat mengakibatkan daya ikat antara agregat dan pasta semen di dalam beton berkurang.
- ✓ Bertambahnya jumlah fiber di dalam campuran beton berpengaruh pada faktor air semen yang semakin tinggi dan nilai slump yang semakin rendah.
- ✓ Persentase fiber 10% dan 12% memiliki kekuatan yang relatif rendah karena ada efek penggumpalan atau *balling effect* yang dapat menyebabkan daerah yang mengalami penggumpalan kawat menjadi berongga.
- ✓ Perlu diberikan perhatian khusus untuk metode *mixing* karena sangat berpengaruh terhadap homogenitas beton fiber. Pengaruh homogenitas ini terlihat dari perbedaan hasil pengujian geser tunggal dan geser ganda.

5.2 Saran

Dari percobaan yang telah dilakukan, didapati beberapa permasalahan. Oleh karena itu, peneliti menyarankan untuk:

- Membuat bekisting khusus dengan menggunakan material yang kokoh seperti besi atau baja sehingga dimensi benda uji dapat dipertahankan konsisten sepanjang percobaan dan dapat digunakan berulang.
- Memberikan celah dengan atau tanpa penambahan material lain yang cukup lunak seperti styrofoam untuk memudahkan pelepasan benda uji untuk proses perawatan beton agar tidak perlu dilakukan secara paksa karena dapat menyebabkan terjadinya retak awal pada benda uji.
- Menggunakan material dengan spesifikasi dan keadaan lingkungan yang kurang lebih sama sehingga mutu dapat terjaga konsisten.
- Menggunakan material dengan mutu yang sesuai standar. Pada penelitian ini, agregat halus yang digunakan memiliki kadar lumpur 9,4%, sedangkan menurut ASTM C117-04, kadar lumpur agregat halus yang baik tidak lebih dari 5%.
- Membuat benda uji geser *double-L* dengan menggunakan tulangan, disarankan agar menggunakan beton SCC (*Self Compacting Concrete*) bila melakukan pengujian beton mutu tinggi untuk menghindari terjadinya keropos.
- Memperkecil rentang dan interval persentase fiber pada penelitian lanjutan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, seperti rentang 4% hingga 8% dengan interval 1% atau 6% hingga 8% dengan interval 0,5%.
- Memperhatikan parameter tetap dari penelitian seperti faktor air semen atau slump.
- Melakukan penelitian lebih lanjut tentang perilaku jangka panjang agar dapat diaplikasikan dengan tepat sesuai kondisi lapangan.
- Melakukan penelitian lebih lanjut tentang struktur mikro dari beton fiber bendrat agar diperoleh hasil yang lebih detail.

- Membuat sampel dengan bentuk atau sifat sesuai aplikasi di lapangan berupa benda uji struktural sehingga hasil penelitian ini dapat dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan industri sipil .



DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Pavement Association. (2003). *Fiber Reinforcement of Concrete Pavements*. Skokie Illinois: Author.
- Balaguru, Perumalsamy N. and Shah, Surendra P. (1992). *Fiber-Reinforced Cement Composites* (International Edition). Singapore: McGraw-Hill, Inc.
- Banthia, N. and M. Sappakittipakorn. (2007). *Toughness enhancement in steel fiber reinforced concrete through fiber hybridization*. *Cement and Concrete Research* 37. 1366-1372.
<http://www.sciencedirect.com>
- Brandt, Andrzej M. (2008). *Fiber reinforced cement-based (FRC) composites after over 40 years of development in building and civil engineering*. *Composites Structures*. 86. 3-9.
www.elsevier.com/locate/compstruct
- Chanvillard, Gilles and Pierre-Claude Aïtcin. (1996). *Pull-Out Behavior of Corrugated Steel Fibers*. *Advn Cem Bas Mat* 4. 28-41. Elsevier Science
- Ding, Yining and Wolfgang Kusterle. (1999). *Comparative study of steel fibre-reinforced concrete and steel mesh-reinforced concrete at early ages in panel tests*. *Cement and Concrete Research* 29. 1827-1834.
- Dinh, Hai H., Gustavo J. Parra-Montesinos, and James K. Wight. (2010). *A Shear Strength Model For Steel Fiber Reinforced Concrete Beams Without Stirrup Reinforcement*. *Journal of Structural Engineering*. ASCE.
- Falkner, H. and V. Henke. (1998). *Application of Steel Fibre Concrete for Underwater Concrete Slabs*. *Cement and Concrete Composites* 20. 377-383.
- Folliard, Kevin J. et al. (2006). *Fibers in Continuously Reinforced Concrete Pavements: A Summary*. Project Summary Report O-

4392-S. Center for Transportation Research The University of Texas at Austin.

Frénaij, J.W.I.J. (1989). *Time – Dependent Shear Transfer in Cracked Reinforced Concrete*. Den Haag: CIP-Gegevens Koninklijke Bibliotheek.

Furlan, Syndey, Jr. and João Bento de Hanai. (1997). *Shear Behavior of Fiber Reinforced Concrete Beams*. Cement and Concrete Composites 19. 359-366.

Guoqiang Li. et al. (2005). *Effect of fiber orientation on the structural behavior of FRP wrapped concrete cylinders*. Composites Structures 74. 475-483 <http://www.sciencedirect.com>

Haktanir, Tefaruk. et al. (2006). *Effects of steel fibres and mineral filler on the water-tightness of concrete pipes*. Cement and Concrete Composites 28, 811-816. <http://www.sciencedirect.com>

Iwan K, Yustinus. (2000). *Pengamatan Sifat-Sifat Mekanis pada Beton Ringan Pumice dengan Penambahan Serat Kawat Bindraad*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.

Jayaprakash, J. et al. (2009). *Experimental Investigation on Shear Capacity of Reinforced Concrete Precracked Push-off Specimens with Externally Bonded Bi-Directional Carbon Fibre Reinforced Polymer Fabrics*. Modern Applied Science. Vol 3. No 7. <http://www.ccsenet.org/journal.html>

Kasno. (2006). *Pengaruh Penambahan Serat Kawat Bendrat pada Campuran Beton (Tinjauan Terhadap Kuat Tarik Belah, Kuat Tekan, dan Modulus Elastisitas Beton pada Kosentrasi Panjang Serat 8 Cm, Berat Semen 350 Kg/m³, Faktor Air Semen 0,5)*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

- Lawler, John S. et al. *Microfiber and Macrofiber Hybrid Fiber-Reinforced Concrete*. Journal of Materials in Civil Engineering. ASCE 595-604. <http://www.ascelibrary.org>
- Li, Victor C. and Mohame Maalej. (1996). *Toughening in Cement Based Composites. Part II: Fiber Reinforced Cementitious Composites*. Cement and Concrete Composites. 18. 239-249.
- Macgregor, James G. (1997). *Reinforced Concrete: Mechanics and Design* (3rd ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- Manolis, G.D., et al. (1997). *Dynamic Properties of Polypropylene Fiber-Reinforced Concrete Slabs*. Cement and Concrete Composites 19. 341-349.
- Murti, Anggraeni Wahyu. (2009). *Studi Perilaku Geser dan Susut Beton Semen Putih dengan Variasi Rasio Air-Semen*. Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.
- Nawy, Edward G. (1985). *Reinforced concrete a fundamental approach*. Prentice-hall Inc. New Jersey.
- Neville, A.M. & Brooks J.J. (1990). *Concrete Technology*. Inggris: ELBS with Longman.
- R.C. Hibbeler. (2003). *Mechanics of Materials(international fifth edition)*. Pearson Education, Inc. New Jersey.
- Roesler, Jeffery R. et al. (2004). *Fracture of Plain and Fiber-Reinforced Concrete Slabs under Monotonic Loading*. Journal of Materials in Civil Engineering. ASCE. 452-460. <http://www.ascelibrary.org>
- Sorelli, L.G., et al. (2005). *Bending and Uniaxial Tensile Tests on Concrete Reinforced with Hybrid Steel Fibres*. Journal of Materials in Civil Engineering. ASCE. 519-527. <http://www.ascelibrary.org>

Van Vlack, Lawrence H. (1991). *Ilmu dan Teknologi Bahan* (5th ed.) (alih bahasa, Sriati Djaprie). Jakarta: Erlangga.

Wong, R.C.K. et al. (2007). *Shear Strength components of concrete under direct shearing*. *Cement and Concrete Research*. 37. 1248-1256.

Zhimin Wu, et al. (2010). *Analytical Solution for Fracture Analysis of CFRP Sheet-Strengthened Cracked Concrete Beams*. *Journal of Engineering Mechanics*. ASCE. April 2011. 1202-1219.
<http://www.ascelibrary.org>

