

TINJAUAN KUAT DESAK DAN KUAT TARIK BELAH BETON DENGAN PENAMBAHAN SERAT TALI BENESER

*Compressive Strength and Split Tension Strength of Concrete
with Adding Polypropylene Strapping Brand*

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Sebelas Maret Surakarta



Disusun Oleh :

DUAN FELANY
NIM. I 0199072

**JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2004**

LEMBAR PERSETUJUAN

TINJAUAN KUAT DESAK DAN KUAT TARIK BELAH BETON DENGAN PENAMBAHAN SERAT TALI BENESER



Disusun Oleh :

DUAN FELANY
NIM. I 0199072

Telah disetujui untuk dipertahankan dihadapan Tim Penguji Pendaran
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

Persetujuan Dosen Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. BAMBANG SANTOSA, MT
NIP. 131 568 291

WIBOWO, ST, DEA
NIP. 132 128 475

TINJAUAN KUAT DESAK DAN KUAT TARIK BELAH BETON DENGAN PENAMBAHAN SERAT TALI BENESER

*Compressive Strength and Split Tension Strength of Concrete
with Adding Polypropylene Strapping Brand*

SKRIPSI

Disusun Oleh :

DUAN FELANY
NIM. I 0199072

Telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Pendadaran Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret pada hari : Kamis, 15 April 2004

1. Ir. BAMBANG SANTOSA, MT
NIP. 131 568 291

2. WIBOWO, ST, DEA
NIP. 132 128 475

3. Ir. SUNARMASTO, MT
NIP. 131 693 685

4. ENDAH SAFITRI, ST, MT
NIP. 132 258 064

Mengetahui,
a.n. Dekan Fakultas Teknik UNS
Pembantu Dekan I

Disahkan,
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik UNS

Ir. PARYANTO, MS
NIP. 131 569 244

Ir. AGUS SUPRIYADI, MT
NIP. 131 792 199

MOTTO

Urusan kita dalam kehidupan ini bukanlah untuk mendahului orang lain, tetapi untuk melampaui diri kita sendiri, untuk memecahkan rekor kita sendiri, untuk melampaui hari kemarin dengan hari ini

(Stuart B. Johnson)

Tidak ada sesuatupun yang baik atau buruk, hanya pikiranlah yang membedakannya

(William Shakespeare)

Tiga dasar penting untuk mencapai segala sesuatu yang berharga adalah kerja keras, tetap berpegang pada kepastian, dan pikiran sehat

(Thomas Edison)

Lebih besarnya cita-cita manusia adalah orang iman yang mempunyai cita-cita untuk urusan dunia dan cita-cita untuk urusan akhiratnya

(H.R Ibnu Majah)

PERSEMBAHAN

Dengan Rahmat Allah SWT,
kupersembahkan satu yang sederhana ini untuk :

Mama & Papa, atas do'a, kasih sayang,
bimbingan dan dukungan finansial, yang semua tak ternilai harganya

Kakakku & Adik-adikku atas doa, dukungan, dan pengorbanannya

Segenap kerabat & teman atas do'a dan dukungannya

Almamater

ABSTRAK

Duan Felany, 2004, Tinjauan Kuat Desak dan Kuat Tarik Belah Beton dengan Penambahan Serat Tali Beneser, Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Penggunaan bahan serat dalam teknologi beton telah lama dikembangkan. Penelitian ini menggunakan serat tali beneser (*Polypropylene Strapping Brand*) yang diharapkan dapat meningkatkan kekuatan beton. Ide dasar penambahan serat ke dalam campuran adukan beton adalah memberi tulangan pada beton yang disebarkan secara merata dengan orientasi sebaran yang *random* (acak) dimaksudkan untuk menambah kuat tarik beton, mengingat kuat tarik beton yang relatif rendah.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh penambahan serat dalam berbagai variasi pada adukan beton terhadap kuat desak dan kuat tarik belah beton, dan untuk mengetahui konsentrasi serat (V_f) optimum agar diperoleh kuat desak dan kuat tarik belah yang maksimum.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pengujian di laboratorium, yaitu menambahkan konsentrasi serat ke dalam adukan beton dengan perbandingan 1:2:3 dan fas 0,60. Pengujian kuat desak dan kuat tarik belah dilakukan terhadap benda uji berupa silinder beton berukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Untuk beton berserat, serat tali beneser dikirat dengan ukuran tampang 1-2mm dan dipotong dengan panjang 50 mm, kadar penambahan 0,3%, 0,6%, 0,9%, 1,2%, 1,5%, 1,8%, dan 2,1% dari volume beton dikali berat jenis serat. Kemudian data hasil penelitian dianalisis dengan uji statistik, yaitu uji normalitas dengan metode *Liliefors* dan analisis *Regresi Polynomial*.

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan, bahwa untuk beton normal dan beton serat dengan variasi penambahan kadar serat tali beneser 0,3%, 0,6%, 0,9%, 1,2%, 1,5%, 1,8%, dan 2,1% terhadap volume beton akan didapatkan kuat desak rata-rata berturut-turut sebesar 20,3735 MPa, 21,0809 Mpa, 21,6469 MPa, 21,3639 MPa, 21,0809 MPa, 20,2321 MPa, 17,6854 MPa, dan 13,5822 MPa serta kuat tarik belah rata-rata berturut-turut sebesar 1,6269 MPa, 1,9806 MPa, 2,1751 MPa, 2,2637 MPa, 2,1222 MPa, 2,0337 MPa, 1,8390 MPa, dan 1,6092 MPa.

Dengan demikian persentase peningkatan kuat desak tertinggi sebesar 6,251%, terjadi pada kadar penambahan serat 0,6%, sedangkan persentase peningkatan kuat tarik belah tertinggi sebesar 39,142% terjadi pada kadar penambahan serat 0,9%.

Kata kunci : beton serat, tali beneser, *workability*, kuat desak, kuat tarik belah

PENGANTAR

Alhamdulillah, penulis panjatkan syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul “Tinjauan Kuat Desak dan Kuat Tarik Belah Beton dengan Penambahan Serat Tali Beneser” dengan baik dan lancar.

Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh guna meraih gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta. Melalui penyusunan skripsi ini diharapkan dapat menambah wawasan dan pengalaman bagi penulis, sehingga dapat menjadi bekal di kemudian hari.

Selesaiannya skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Karena itu dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Segenap Pimpinan Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
2. Segenap Pimpinan Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta.
3. Ir. Suryoto, MT, selaku Dosen Pembimbing Akademik.
4. Ir. Bambang Santosa, MT, selaku Dosen Pembimbing I Skripsi.
5. Wibowa, ST, DEA, selaku Dosen Pembimbing II Skripsi.
6. Ir. Slamet Prayitno, MT, selaku Ketua Laboratorium Bahan dan Struktur Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
7. Tim Penguji Pendadaran Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UNS.
8. Seluruh Staf Pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
9. PT SOLO BAG (Mas Giyanto dan Mbak Ninik) atas bantuan, dukungan, dan fasilitasnya.
10. Keluargaku tercinta atas doa, dukungan, dan pengorbanannya selama ini.
11. Tim Uji Bahan dan Benda Uji (Dwi Atmoko, Tri Haryanto, Rudi, Jiyad, Warsito, Luqman & Agus '97) atas kerjasama dan bantuannya.
12. Rekan-rekan angkatan '99, atas jalinan persaudaraan dan kebersamaan.

13. Semua pihak yang terkait dalam penyusunan skripsi ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini.

Akhir kata semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis sendiri, pembaca pada umumnya, dan untuk pengembangan ilmu pengetahuan.

Surakarta, Maret 2004

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iv
ABSTRAK	v
PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
 BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Batasan Masalah	5
D. Tujuan Penelitian	6
E. Manfaat Penelitian	6
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	
A. Tinjauan Pustaka	7
B. Landasan Teori	11
1. Semen Potland	14
2. Agregat	20
3. Air	27
C. Bahan Campuran Beton	29

D. Penambahan Serat pada Campuran Beton	31
1. Serat	31
2. Sifat Struktural Beton Serat	34
3. Konsep Beton Serat	35
4. Mekanisme Kerja Serat dalam Beton	36
E. Sifat-sifat Beton	40
1. Sifat-sifat Beton Segar	40
2. Sifat-sifat Beton Setelah Mengeras	45
F. Kuat Desak Beton	48
G. Kuat Tarik Belah Beton	50
H. Kerangka Pemikiran	51

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Uraian Umum	52
B. Benda Uji	53
C. Tahap dan Prosedur Penelitian	54
D. Standar Penelitian dan Spesifikasi Bahan Dasar	58
1. Agregat Halus	58
2. Agregat Kasar	59
3. Serat Tali Beneser	59
E. Alat-alat yang Digunakan	60
F. Pengujian Bahan Dasar Beton	63
1. Agregat Halus	63
2. Agregat Kasar	71
3. Serat Tali Beneser	77
G. Rencana Campuran Beton	79
H. Pembuatan Benda Uji	80
I. Perawatan Benda Uji (<i>Curing</i>)	82
J. Uji Kuat Desak Beton	83
K. Uji Kuat Tarik Belah Beton	84

L. Metodologi Pembahasan	85
1. Uji Normalitas Metode <i>Liliefors</i>	85
2. Analisis Regresi	86
 BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	
A. Hasil Pengujian Agregat	88
1. Hasil Pengujian Agregat Halus	88
2. Hasil Pengujian Agregat Kasar	90
B. Hasil Pengujian Serat Tali Beneser	94
C. Rencana Campuran Adukan Beton	95
D. Data Hasil Pengujian	96
1. Nilai <i>Slump</i> dan <i>VB-Time</i>	96
2. Pengujian Kuat Desak Beton	98
3. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	101
E. Analisa Data Hasil Penelitian	103
1. Uji Normalitas Metode <i>Liliefors</i>	103
2. Analisis Regresi	108
F. Pembahasan Hasil Penelitian	110
1. <i>Workability</i> Adukan Beton Serat	110
2. Kuat Desak Beton Serat	113
3. Kuat Tarik Belah Beton Serat	115
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan	119
B. Saran	120
 DAFTAR PUSTAKA	xvi
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Jenis-jenis Semen Portland	15
Tabel 2.2. Susunan Unsur Semen Biasa	16
Tabel 2.3. Senyawa Utama Semen Portland	16
Tabel 2.4. Persyaratan Gradasi Agregat Kasar ASTM C.33-84	25
Tabel 2.5. Persyaratan Gradasi Agregat Halus ASTM C.33-97	27
Tabel 2.6. Karakteristik Dasar dari Berbagai Jenis Serat	32
Tabel 2.7. Penggunaan Beton Pada Tingkat Workabilitas yang Berbeda	42
Tabel 3.1. Kelompok Benda Uji	54
Tabel 3.2. Tabel Perubahann Warna	65
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Agregat Halus	89
Tabel 4.2. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus	89
Tabel 4.3. Hasil Pengujian Agregat Kasar	91
Tabel 4.4. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Kasar	91
Tabel 4.5. Data Spesifikasi Serat <i>Polypropylene</i>	92
Tabel 4.6. Hasil Pengujian Berat Jenis Serat Tali Beneser	93
Tabel 4.7. Hasil Pengujian Kuat Tarik Serat Tali Beneser	94
Tabel 4.8. Proporsi Campuran Adukan Beton untuk Setiap Perlakuan	95
Tabel 4.9. Hasil Pengujian Nilai <i>Slump</i> Beton Serat Tali Beneser	96
Tabel 4.10. Hasil Pengujian <i>VB-Time</i> Beton Serat Tali Beneser	97
Tabel 4.11. Hasil Pengujian Kuat Desak Beton Serat Tali Beneser	98
Tabel 4.12. Peningkatan Kuat Desak Beton Serat Tali Beneser	100
Tabel 4.13. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Serat Tali Beneser	101
Tabel 4.14. Peningkatan Kuat Tarik Belah Beton Serat Tali Beneser	102

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Konsep beton berserat (<i>Soroushian & Bayasi, 1987</i>)	34
Gambar 2.2. Susunan serat (fiber) dalam beton menurut <i>Spacing Concept</i>	37
Gambar 2.3. Susunan serat menurut <i>Composite Material concept</i>	39
Gambar 3.1. Bagan Alir Tahap-tahap Metodologi Penelitian	57
Gambar 4.1. Grafik Daerah Susunan Butir Agregat Halus	90
Gambar 4.2. Grafik Daerah Susunan Butir Agregat Kasar	92
Gambar 4.3. Grafik Hubungan Antara Nilai <i>Slump</i> dan Konsentrasi Serat (V_f)	97
Gambar 4.4. Grafik Hubungan Antara <i>VB-Time</i> dan Konsentrasi Serat (V_f)	98
Gambar 4.5. Grafik Hubungan Antara Kuat Desak Beton dengan Konsentrasi Serat Tali Beneser	100
Gambar 4.6. Grafik Hubungan Antara Kuat Tarik Belah Beton dengan Konsentrasi Serat Tali Beneser	103
Gambar 4.7. <i>Material Composite Concept</i> dalam Mendukung Gaya Desak	114
Gambar 4.8. <i>Dowel Action</i> dalam Mendukung Gaya Desak	115
Gambar 4.9. <i>Fiber Bridging</i> yang Menahan Tegangan Tarik dalam Beton Serat	114

DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

A	: luas permukaan benda uji
ASTM	: American Society of Testing and Materials
ACI	: American Concrete Institute
cm	: centi meter
de	: diameter ekuivalen serat
F	: beban maksimum yang diberikan
f.a.s.	: faktor air semen
f_c	: kuat desak silinder beton
f_{ct}	: kuat tarik belah beton
Kg	: kilo gram
KN	: kilo Newton
l/d	: aspek rasio serat
l	: panjang
l _f	: panjang serat
lt	: liter
L _{kr}	: Nilai L kritis
L ₀	: Nilai terbesar dari harga mutlak
m	: meter
mm	: mili meter
MPa	: Mega Pascal
N	: Newton

P	: besarnya beban tarik yang diijinkan
PBI	: Peraturan Beton Bertulang Indonesia
R^2	: Koefisien determinasi
SSD	: <i>Saturated Surface Dry</i>
V_f	: <i>fiber volume fraction</i>
%	: persentase
Σ	: jumlah
Δl	: perubahan panjang
π	: phi (3,14285)
σ	: tegangan tarik yang terjadi
σ_c	: kekuatan komposit saat retak awal
σ_f	: tegangan tarik serat
σ_m	: tegangan tarik beton = $0,57 \sqrt{f'c}$
τ	: tegangan lekat (<i>bond strength</i>) pada panjang lekatan serat yang diperhitungkan ($l_f / 2$)
η_f	: faktor efisiensi orientasi random dari serat (<i>fiber</i>)
η_l	: faktor efisiensi panjang serat yang tertanam
γ	: koefisien tarik beton (= 0,97)

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A : Hasil Pemeriksaan Agregat, Serat, Uji *Workability*, Hasil Uji Desak, dan Kuat Tarik Belah Beton
- Lampiran B : Perhitungan Proporsi Campuran Beton
- Lampiran C : Uji Normalitas Metode Liliefors
- Lampiran D : Surat-surat Skripsi
- Lampiran E : Dokumentasi Penelitian

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Penggunaan beton sebagai bahan bangunan sudah lama dikenal dan semakin luas penggunaannya. Seiring dengan laju pembangunan yang semakin pesat, beton telah banyak dipakai sebagai bahan utama yang digunakan dalam struktur. Hal ini disebabkan karena beton memiliki beberapa kelebihan yang tidak terdapat pada bahan-bahan yang lain, diantaranya beton relatif murah dan mudah dalam pengerjaan dan perawatannya, mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan, tahan terhadap perubahan cuaca, lebih tahan terhadap api, dan tahan terhadap korosi. Selain itu, kelebihan beton yang lebih menonjol dibandingkan dengan bahan konstruksi yang lain adalah beton memiliki kuat desak yang tinggi dimana kuat desak tersebut dapat diperoleh dengan cara pemilihan, perencanaan, dan pengawasan yang teliti terhadap bahan penyusunnya. Namun demikian beton juga memiliki kelemahan secara struktural, yaitu memiliki kuat tarik yang rendah dimana besarnya sekitar 9% - 15% dari kuat tekannya (Istimawan Dipohusodo, 1994). Selain itu beton juga bersifat getas (*brittle*), sehingga terbatas dalam penggunaannya.

Beton adalah massa padat buatan yang terdiri dari material dengan media sementasi. Material yang dimaksud adalah agregrat, yang terdiri dari agregrat halus dan agregrat kasar, sedangkan yang dimaksud dengan media sementasi

adalah semen dan air dengan perbandingan tertentu. Kekuatan dan keawetan serta sifat-sifat beton sangat tergantung pada sifat bahan tersebut diatas, nilai perbandingan bahan-bahannya, cara pembuatan dan pemadatannya, cara penuangannya, serta cara perawatannya selama proses pengerasan. Disamping itu, peran bahan tambahan juga sangat penting. Bahan tambahan sebagai bahan selain unsur pokok beton (air, semen, dan agregrat) yang ditambahkan pada adukan beton, sebelum, segera, atau selama pengadukan beton. Tujuannya adalah untuk mengubah satu atau lebih sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras, misalnya untuk mempercepat pengerasan, menambah encer adukan, menambah kuat tekan, menambah kuat tarik, menambah daktilitas, mengurangi sifat getas, mengurangi retak-retak pengerasan, dan sebagainya.

Usaha-usaha untuk memperbaiki sifat-sifat beton terus berkembang seiring dengan adanya tuntutan untuk mendapatkan beton dengan mutu yang tinggi dan memiliki sifat-sifat yang lebih baik, salah satu diantaranya dengan penambahan serat (*fiber*) ke dalam campuran adukan beton. Ide dasar penambahan serat ke dalam adukan beton adalah memberi tulangan kepada beton yang disebarkan secara merata dengan orientasi sebaran yang random (acak) dimaksudkan untuk menambah kuat tarik beton, mengingat kuat tarik beton yang relatif rendah.

Di samping itu keuntungan lain yang bisa diperoleh dengan penambahan serat adalah retakan-retakan awal pada beton akibat panas hidrasi atau akibat pembebanan dapat dicegah, beton menjadi lebih tahan terhadap benturan/beban kejut (*impact resistance*) jika masalah penyerapan energi diperlukan, lebih tahan terhadap kelelahan (*fatigue life*), penyusutan pada beton (*shrinkage*) berkurang,

dan beton lebih tahan terhadap keausan (*abrasion*), fragmentasi (*fragmentation*), dan *spalling*.

Jenis-jenis serat yang sering digunakan ada beberapa macam, diantaranya adalah serat baja (*steel fiber*), serat kaca (*glass*), serat plastik (*polypropylene*), karbon (*carbon*), dan serat alami (*natural fibers*) seperti ijuk serta tumbuh-tumbuhan lain.

Berbagai bahan-bahan fiber ini tentunya memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing yang menjadi pertimbangan untuk dipakai. Pemilihan bahan fiber, selain harus memenuhi kriteria secara teknis, juga dipertimbangkan masalah mudahnya mendapat material tersebut dalam jumlah yang besar dari daerah lokal setempat. Pertimbangan ekonomis, misalnya harga material relatif lebih murah dibandingkan dengan material lain yang fungsinya sama.

Plastik beneser bekas tali kemas (*polypropylene strapping brand*), selain memenuhi salah satu kriteria bahan fiber beton (poly-akrilonitril stirene), bahan ini untuk jumlah yang besar juga mudah didapat. Material ini merupakan sampah buangan bekas tali kemas barang, yang mempunyai volume relatif besar di Pasar Legi Surakarta dan di Terminal Peti Kemas Pedaringan Surakarta. Karena merupakan sampah buangan bekas tali kemas barang yang mempunyai volume relatif besar di Pasar Legi Surakarta dan di Terminal Peti Kemas Pedaringan Surakarta, maka harganya tentu sangat murah. Untuk mendapatkan mutu beton serat yang bagus, dipilih tali plastik beneser yang relatif masih baru. Jenis tali plastik yang mempunyai sifat polimer ini, diharapkan dapat berfungsi sama dengan fibermesh.

Serat dari bahan polimer ini, berbentuk untaian filamen-filamen dengan panjang antara 6-50 mm. Ketika dicampurkan dalam adukan beton, *polypropylene* dapat tercampur merata dalam adukan setelah pencampuran pada waktu dan kecepatan tertentu. Serat jenis ini dapat meningkatkan kuat tarik, lentur, dan tekan beton, mengurangi retak-retak akibat penyusutan, meningkatkan daya tahan terhadap *impact*, dan meningkatkan daktilitas.

B. Rumusan Masalah

Memilih tali plastik beneser sebagai bahan fiber diharapkan ada persamaan dengan fibermesh. Dengan demikian perlu dikondisikan bahan ini untuk mampu menahan tegangan plastis beton. Penggunaan bahan ini dalam campuran beton juga harus bisa menentukan kadar pemakaian yang optimum (*fiber volume friction*) dan memberikan hasil adukan yang memenuhi *workability* pengerjaan beton.

Permasalahan yang timbul dari pemakaian tali plastik beneser sebagai bahan fiber pada campuran beton adalah sebagai berikut :

1. Berapa besar pengaruh tambahan bahan fiber ini terhadap sifat-sifat mekanik beton, khususnya kuat tarik dan kuat desaknya.
2. Berapa prosentase serat tali beneser optimum dalam beton untuk mendapatkan kuat desak dan kuat tarik beton maksimum.
3. Bagaimana pengaruh serat tali beneser terhadap kemudahan pengerjaan (*workability*) dari campuran beton.

C. Batasan Masalah

Untuk menghindari hasil penelitian yang kurang akurat yang disebabkan karena terlalu luasnya pembahasan data maupun teori yang mendukungnya, maka perlu diadakan pembatasan masalah.

Masalah yang akan dibahas, dibatasi antara lain :

1. Pembuatan benda uji dibuat seragam, mutu beton adalah tetap.
2. Tali plastik beneser dikirat dengan ukuran 1-2 mm dan dipotong dengan panjang 50 mm.
3. Digunakan campuran adukan beton dengan perbandingan berat semen, agregrat halus, dan, agregrat kasar 1 : 2 : 3 dengan faktor air semen 0,6
4. Penelitian tentang beton beneser ini dilakukan untuk benda uji silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm tanpa baja tulangan.
5. Penggunaan variasi campuran dengan penambahan serat tali beneser untuk pengujian kuat desak dan kuat tarik belah beton dengan perbandingan 0%, 0,3%, 0,6%, 0,9%, 1,2%, 1,5%, 1,8%, 2,1% terhadap volume adukan beton.
6. Adukan beton yang dihasilkan dianggap homogen dan penyebaran serat dianggap merata.
7. Setelah sampel berumur 28 hari dilakukan uji desak dan uji tarik dengan peralatan dan pelaksanaan pengujian dilakukan sesuai dengan ASTM.
8. Pada saat pengujian sampel tidak mengalami eksentrisitas.

9. Tidak dilakukan peninjauan secara mendalam terhadap pengaruh akibat beban geser dalam benda uji dan tidak dibahas reaksi kimia yang terjadi pada campuran terhadap bahan-bahan yang digunakan.

D. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan analisa teoritis dan analisa eksperimental terhadap perilaku mekanik beton dengan tujuan sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penambahan serat beneser terhadap sifat beton serat terutama kuat desak dan kuat tarik beton.
2. Untuk mengetahui efek-efek yang ditimbulkan oleh penggunaan serat tali beneser pada campuran beton.

E. Manfaat Penelitian

1. Manfaat teoritis

Mengembangkan pengetahuan mengenai sifat-sifat beton serat, terutama penggunaan serat tali beneser sebagai bahan tambah untuk perbaikan sifat-sifat yang kurang baik pada beton

2. Manfaat praktis

- a. Memperoleh data mengenai sifat-sifat beton serat beneser.
- b. Memberikan alternative penggunaan serat yang ekonomis dengan peningkatan mutu beton yang diharapkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

Menurut Chu Kia Wang (1990), beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidrolik lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambahan sehingga membentuk massa yang padat. Pengertian agregat kasar disini adalah kerikil atau batu pecah dan agregat halus adalah pasir. Dari bahan pembentuk beton tersebut, semen merupakan bahan yang memungkinkan melekatnya fragmen-fragmen mineral menjadi massa yang padat.

Beton banyak dipakai secara luas sebagai bahan bangunan. Bahan tersebut diperoleh dengan cara mencampurkan semen portland, air, dan agregat (dan kadang-kadang bahan tambah yang sangat bervariasi mulai dari bahan kimia tambahan, serat, sampai bahan buangan non-kimia) pada perbandingan tertentu. Campuran tersebut apabila dituang dalam cetakan kemudian dibiarkan maka akan mengeras seperti batuan (*Kardiyono Tjokrodimulyo, 1996 : 1*).

Istimawan Dipohusodo (1994) menyatakan bahwa, nilai kuat tekan dan nilai kuat tarik bahan beton tidak berbanding lurus, setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya. Suatu perkiraan kasar dapat dipakai, bahwa nilai kuat tarik bahan beton normal hanya berkisar antara 9 % - 15 % dari kuat tekannya. Kuat tarik bahan beton yang tepat sulit untuk diukur. Suatu nilai pendekatan yang umum dilakukan dengan menggunakan *modulus of rupture* ialah tegangan tarik lentur beton yang timbul

pada pengujian hancur balok beton polos sebagai pengukur kuat tarik sesuai teori elastisitas.

Bahan tambah ialah bahan selain unsur pokok beton (air, semen dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton, sebelum, segera atau selama pengadukan beton. Tujuannya ialah mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras, misalnya mempercepat pengerasan, menambah encer adukan, menambah kuat tekan, menambah daktilitas, mengurangi sifat getas, mengurangi retak-retak pengerasan dan sebagainya (Kardiyono Tjokrodimuljo, 1996 : 47)

Menurut Kardiyono Tjokrodimuljo (1996), bahan tambahan dapat berupa bahan kimia, pozolan dan serat. Beton yang diberi bahan tambah serat disebut beton serat (*fiber reinforced concrete*). Serat pada umumnya berupa batang-batang dengan diameter antara 5 μm sampai 500 μm (*mikro meter*), dan panjang sekitar 25 mm sampai 100 mm. Serat dapat berupa asbestos, gelas/kaca, plastik, baja atau serat tumbuhan. Maksud utama penambahan serat ke dalam adukan beton adalah untuk menambah kuat tarik beton, mengingat kuat tarik beton sangat rendah. Kuat tarik yang sangat rendah berakibat beton mudah retak, yang pada akhirnya mengurangi keawetan beton. Dengan adanya serat, ternyata beton menjadi tahan retak dan tahan benturan jika masalah penyerapan energi diperlukan. Dalam hal ini serat dianggap sebagai agregat yang bentuknya sangat tidak bulat. Adanya serat mengakibatkan berkurangnya sifat kemudahan dikerjakan dan mempersulit terjadinya segregasi. Serat dalam beton berguna

untuk mencegah adanya retak-retak sehingga menjadikan beton serat lebih daktil dari pada beton biasa.

Beton serat mempunyai kelebihan dari beton tanpa serat dalam beberapa sifat strukturalnya, antara lain keliatan (*ductility*), ketahanan terhadap beban kejut (*impact resistance*), kuat tarik dan kuat lentur (*tensile and flexural strength*), ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue life*), kekuatan terhadap pengaruh susutan (*shrinkage*) dan ketahanan terhadap keausan (*abrasion*) (Soroushian dan Bayasi, 1987).

Menurut ACI Committe (1982), beton serat adalah kontruksi beton yang tersusun dari bahan semen, agregat halus, agregat kasar dan sejumlah kecil serat sebagai bahan tambahan yang tersebar secara merata berorientasi *random* dan dengan proporsi tertentu. Maksud utama penambahan serat kedalam beton adalah untuk meningkatkan kuat tarik beton, mengingat beton mempunyai kuat tarik yang rendah. Pada beton bertulang bagian beton yang mengalami tegangan tarik akan retak terlebih dahulu sebelum tulangan baja dapat memberikan dukungan terhadap tarikan secara optimal yang akibatnya terjadi retak-retak rambut yang secara struktur tidak berbahaya, tapi bila ditinjau dari segi keawetan bangunan akan berkurang.

Ide dasar penambahan serat kedalam adukan beton adalah menulangnya secara random, sehingga dapat mencegah terjadinya retakan-retakan beton di daerah tarik yang terlalu dini akibat pembebanan (Soroushian dan Bayasi, 1987).

Kekuatan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan air, agregat kasar, dan agregat halus serta berbagai jenis campuran. Perbandingan air terhadap semen merupakan faktor utama di dalam menentukan kekuatan beton. Semakin rendah FAS, semakin tinggi kuat tekannya. Suatu jumlah tertentu air diperlukan untuk memberikan reaksi kimia di dalam pengerasan beton, kelebihan air meningkatkan kemampuan pengerjaan (kemudahan beton dalam pengecoran) akan tetapi menurunkan kekuatan, suatu ukuran dari pengerjaan beton ini diperoleh dengan percobaan *slump* (Chu Kia Wang, Charles G Salmon & Binsar Hariandja, 1993 : 9).

Menurut Istimawan Dipohusodo (1994 : 4), agar terjadi proses hidrasi yang sempurna dalam adukan beton, pada umumnya dipakai faktor air semen (f.a.s.) 0,40 – 0,60 tergantung mutu beton yang hendak dicapai. Semakin tinggi mutu beton yang hendak dicapai umumnya menggunakan nilai f.a.s. rendah, sedangkan di lain pihak untuk menambah daya kelecakan (*workability*, sifat mudah dikerjakan) diperlukan nilai f.a.s. yang tinggi. Faktor air semen dibawah 0,40 dan diatas 0,60 akan menyebabkan kuat desak beton menjadi rendah.

Penambahan serat kedalam adukan beton akan menurunkan kelecakan adukan secara cepat sejalan dengan penambahan volume fraksi (konsentrasi serat) dan aspek rasio serat. Penurunan *workability* adukan dapat dikurangi dengan penurunan diameter maksimum agregat, peninggian faktor air semen, penambahan semen atau pemakaian bahan tambah. Meskipun demikian, jika konsentrasi serat dan aspek rasio serat melampaui batas tertentu, tetap akan didapat adukan yang kelecakannya sangat rendah (Suhendro, 1993).

Beberapa hal yang perlu mendapat perhatian pada beton *fiber* adalah :

- (a) masalah *fiber dispersion* yang menyangkut teknik pencampuran *fiber* ke dalam adukan agar dapat tersebar merata dengan orientasi yang random.
- (b) masalah *workability* (kelecekan adukan), yang menyangkut kemudahan dalam proses pengerjaan/pemadatan, termasuk indikatornya.
- (c) masalah *mix design/proportion* untuk memperoleh mutu tertentu dengan kelecekan yang memadai (Suhendro, 2000).

Briggs dkk, 1974 (dalam *Sujatmiko, 2000*) meneliti bahwa batas maksimal aspek rasio serat yang masih memungkinkan pengadukan dilakukan dengan mudah adalah $l/d < 100$. Nilai l/d yang melampaui batas di atas akan menyebabkan kesulitan dalam pengadukan yang dinyatakan dalam VB-time yang semakin tinggi.

Sudarmoko, 1990 (dalam *Sujatmiko, 2000*) menyatakan bahwa penggunaan aspek rasio serat yang tinggi mengakibatkan serat cenderung menggumpal menjadi suatu bola (balling effects) yang sulit tersebar merata dalam proses pengadukan dan batas maksimal yang masih memungkinkan terjadinya pengadukan yang mudah pada adukan beton serat adalah penggunaan beton serat dengan aspek rasio $(l/d) < 50$.

B. Landasan Teori

Beton diperoleh dari pencampuran antara agregrat halus (pasir), agregrat kasar (batu pecah), semen dan air serta kadang-kadang dengan bahan tambah lainnya. Semen jika diaduk dengan air akan terbentuk adukan pasta

semen, sedangkan jika diaduk dengan air kemudian ditambah pasir maka akan menjadi mortar semen, dan jika ditambah dengan kerikil atau batu pecah sehingga mengeras maka disebut beton.

Kekuatan, keawetan, dan sifat-sifat lain dari beton tergantung dari kualitas bahan dasar, perbandingan volume campuran, cara pelaksanaan, cara pemadatan, pemeliharaannya, serta adanya bahan tambahan (*admixture*).

Beton banyak digunakan sebagai struktur bangunan karena mempunyai beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan bahan lainnya, diantaranya :

1. Semua bahan pembentuknya didapat dari bahan lokal, kecuali semen (PC), sehingga harganya relatif murah.
2. Beton sangat tahan terhadap aus dan juga tahan api/kebakaran.
3. Beton segar dapat dengan mudah diangkut maupun dicetak dalam bentuk apapun dan ukuran seberapa pun sesuai keinginan, cetakan dapat dipakai beberapa kali sehingga secara ekonomis menjadi lebih murah.
4. Tidak memerlukan pemeliharaan yang rumit dan biaya perawatan yang relatif murah.
5. Beton segar dapat disemprotkan di permukaan beton lama yang retak maupun diisikan ke dalam retakan beton dalam proses perbaikan dan dapat dipompakan sehingga memungkinkan untuk dituang pada tempat-tempat yang posisinya sulit.
6. Beton sangat kuat dalam menahan desak, serta mempunyai sifat tahan terhadap pengkaratan ataupun pembusukan oleh kondisi lingkungan. Bila dibuat dengan cara yang baik, kuat tekannya dapat sama dengan batuan alami.

Beton juga mempunyai kelemahan yang perlu ditinjau oleh perencana dalam merencanakan struktur bangunan, antara lain :

1. Beton mempunyai kuat tarik yang rendah, sehingga mudah retak. Oleh karena itu, perlu diberi baja tulangan.
2. Beton sulit untuk dapat kedap air secara sempurna, sehingga selalu dapat dimasuki air, air yang membawa kandungan garam dapat merusakkan beton.
3. Beton keras mengembang dan menyusut bila terjadi perubahan suhu sehingga perlu dibuat dilatasi (*expansion joint*) untuk mencegah terjadinya retak-retak akibat perubahan suhu.
4. Beton segar mengerut pada saat pengeringan dan beton keras mengembang jika basah sehingga dilatasi (*contraction joint*) perlu diadakan pada beton yang panjang atau lebar untuk memberi tempat bagi susut pengerasan dan pengembangan beton.
5. Beton bersifat getas (tidak daktil) sehingga harus dihitung dan didetail secara seksama agar setelah dikompositkan dengan baja tulangan menjadi bersifat daktil, terutama pada struktur tahan gempa.

Bahan penyusun beton dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu bahan aktif dan bahan pasif. Kelompok aktif yaitu semen dan air sedangkan yang pasif yaitu pasir dan kerikil (disebut agregat halus dan agregat kasar). Kelompok yang pasif disebut pengisi, sedangkan yang aktif disebut perekat/pengikat. (Kardiyono, 1996).

Beton serat adalah campuran antara semen portland atau bahan pengikat hidrolis lain, agregat halus, agregat kasar, dan air yang diberi bahan tambahan

serat-serat untuk mendapatkan peningkatan mutu. Fungsi bahan tambahan serat adalah agar distribusi tegangan keseluruhan bagian dari campuran beton dapat lebih baik.

Karena pentingnya beton dalam dunia teknik sipil, yaitu sebagai bahan pembuatan struktur, maka diperlukan pemilihan bahan-bahan pembentuk beton yang berkualitas. Bahan pembentuk beton adalah semen, agregrat, dan air dan biasanya ditambah bahan tambahan lain. Sifat yang paling penting dari suatu agregrat adalah mempunyai kekuatan hancur yang tinggi dan tahan terhadap benturan.

1. Semen Portland

Semen portland sebagai komponen beton atau berfungsi sebagai bahan perekat anorganik, secara umum sifat utamanya adalah mengikat dengan adanya air dan mengeras secara hidrolis. Semen portland merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan *clincer* yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan *gips* sebagai bahan tambahan. *Clinker* merupakan butiran yang terjadi dari proses pemanasan. Bahan baku semen yaitu kapur (CaO), Silika (SiO_2), dan alumina (Al_2O_3) dan bahan tambahan lain pada suhu tertentu hingga terjadi fusi awal dan suhu tertentu dipertahankan hingga terjadi butiran semen.

Secara umum semen sebagai material yang mempunyai sifat adhesif dan kohesif yang dapat merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak dan kuat.

a. Jenis-jenis dan Kekuatannya

Dalam pedoman beton 1989 disyaratkan bahwa semen portland untuk pembuatan beton harus merupakan jenis yang memenuhi syarat-syarat *SII 0013-81* “Mutu dan Uji Semen” yang klasifikasinya tertera pada tabel 2.1 berikut ini :

Tabel 2.1 Jenis-jenis Semen Portland

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

(sumber : *ASTM C150-18*)

b. Bahan Dasar Penyusun Semen

Bahan dasar penyusun semen terdiri dari bahan-bahan yang terutama mengandung kapur, silika dan oksida besi, maka bahan-bahan itu menjadi unsur-unsur pokok semennya. Sebagai perubahan susunan kimia yang terjadi diperoleh susunan kimia yang kompleks, namun pada semen biasa dapat dilihat pada tabel 2.2. Oksida-oksida tersebut berinteraksi satu sama lain untuk membentuk suatu rangkaian produk yang lebih kompleks selama proses peleburan.

Tabel 2.2 Susunan Unsur Semen Biasa

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

(Sumber : Kardiyo Tjokrodinulyo, 1996 : 6)

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

Tabel 2.3 Senyawa Utama Semen Portland.

Nama Senyawa	Rumus Empiris	Rumus Oksida	Notasi Pendek	Rata-Rata (%)
Tricalcium Silikat	Ca ₃ SiO ₅	3CaO.SiO ₂	C ₃ S	50
Dicalcium Silikat	Ca ₂ SiO ₄	2CaO.SiO ₂	C ₂ S	25
Tricalcium Aluminat	Ca ₃ Al ₂ O ₆	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A	12
Tetracalcium-Aluminoferrit	2Ca ₂ AlFeO ₅	4CaO.Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	C ₄ AF	8
Calcium Sulfate Dihidrat (Gypsum)		CaSO ₄ .2H ₂ O	CSH ₂	3,5

(Sumber : Paulus Nugraha, 1989 : 20)

Senyawa-senyawa utama semen portland yaitu C₃S, C₂S, C₃A dan C₄AF memiliki sifat-sifat yang akan menentukan sifat kekuatan semen. Sifat-sifat yang penting dari senyawa-senyawa tersebut adalah sebagai berikut :

1) Trikalsium Silikat (C_3S)

Senyawa ini mengalami hidrasi sangat cepat disertai pelepasan sejumlah besar panas, menyebabkan pengerasan awal, kurang ketahanannya terhadap agresi kimiawi, paling menonjol mengalami *disintegrasi* oleh sulfat air tanah dan tendensinya sangat besar untuk retak-retak oleh perubahan volume.

2) Dikalsium Silikat (C_2S)

Formasi senyawa ini berlangsung perlahan dengan pelepasan panas lambat. Senyawa ini berpengaruh terhadap proses peningkatan kekuatan yang terjadi dari umur 14 hari sampai 28 hari dan seterusnya. Semen yang banyak mengandung proporsi C_2S , memiliki ketahanan terhadap agresi kimiawi yang relatif tinggi, oleh karena itu merupakan semen portland yang paling awet.

3) Trikalsium Aluminat (C_3A)

Senyawa ini mengeras dalam beberapa jam dengan melepas sejumlah panas. Kuantitas yang terbentuk dalam ikatan menentukan pengaruhnya terhadap kekuatan beton pada awal umurnya, terutama dalam 14 hari pertama.

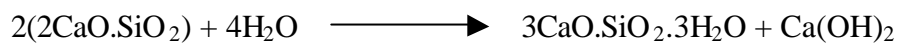
4) Tetrakalsium Aluminoforit (C_4AF)

Adanya senyawa ini kurang penting, karena tidak tampak pengaruhnya terhadap kekuatan dan sifat semen keras lainnya. C_4AF hanya berfungsi mempercepat dan menyempurnakan reaksi pada dapur pembakaran proses pembentukan semen.

c. Reaksi Hidrasi.

Senyawa-senyawa dalam semen portland akan mengalami hidrasi yang terdiri dari tiga mekanisme hidrasi yaitu sebagai berikut :

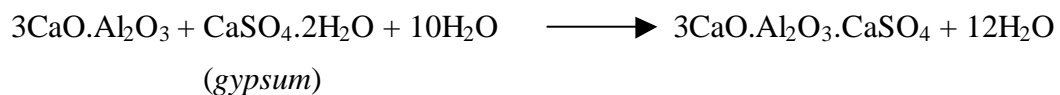
1) Mekanisme hidrasi *silicate* (C_3S dan C_2S)



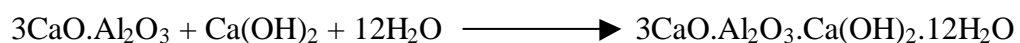
Senyawa *calسيوم silicate* di dalam air akan terhidrasi menjadi *calسيوم silicate hidrat* dan *calسيوم hidroksida*. *Calسيوم hidroksida* akan membuat basa kuat ($pH = 12,5$) dan hal ini akan menyebabkan semen sensitif terhadap asam.

2) Mekanisme hidrasi aluminat (C_3A)

Adanya *gypsum* di dalam semen menyebabkan reaksi *calسيوم aluminat* menghasilkan *calسيوم sulfo aluminat hidrat*.

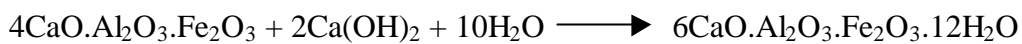


Kemudian *calسيوم aluminat hidrat* ini akan membungkus permukaan *calسيوم aluminat* sehingga reaksi dari C_3A ini akan terhalangi dan proses *setting* tertunda. Namun dengan adanya proses osmosis, lapisan pembungkus tadi pecah dan reaksi C_3A dengan *gypsum* terjadi lagi. Kemudian terbentuk lapisan pembungkus lagi, begitu seterusnya proses tersebut berulang-ulang sampai semua *gypsum* habis terpakai dan proses ini menghasilkan perpanjangan *setting time* dan *calسيوم aluminat* bereaksi dengan *calسيوم hidroksida* membentuk *calسيوم alumino hidrat*.



3) Mekanisme hidrasi tetra calsium aluminoferrit (C₄AF)

Pada tahap awal C₄AF akan bereaksi dengan *caesium hidroksida* dan *gypsum* membentuk *caesium sulfo aluminat hidrat* dan *caesium sulfo ferrite hidrat*.



(*tetrakalsium aluminoferrit*)

Kecepatan reaksi hidrasi maksimal terjadi pada tahap awal, yang kemudian menurun terhadap waktu. ini disebabkan makin terbentuknya lapisan C-S-H berupa bubur pada kristal semen. Makin tebal lapisan, makin lambat hidrasi. Secara teoritis, proses hidrasi akan berhenti bila tebal lapisan mencapai 25 µm. Semen portland pada umumnya memiliki ukuran kristal antara 5 hingga 50 µm (*Paulus Nugraha, 1989 : 28*).

d. Pengikatan dan Pengerasan

Hal penting pada pelaksanaan pengecoran beton adalah pengikatan dan pengerasan sebab semen bereaksi dengan air mulai dari periode pengikatan (*setting time*) dan kemudian dilanjutkan pengerasan (*hardening*). Semen dan air akan bereaksi menghasilkan pasta semen yang plastis dan lecah (*workable*). Namun setelah selang beberapa waktu, pasta akan menjadi kaku dan mulai sukar dikerjakan. Proses ini disebut pengikatan awal (*initial set*). Selanjutnya pasta semen akan bertambah kekakuannya sehingga diperoleh padatan yang utuh. Proses ini disebut pengikatan akhir (*final set*). Proses berlanjut sampai pasta semen mempunyai kekuatan yang disebut pengerasan (*hardening*). Pada semen portland waktu pengikatan awal tidak boleh kurang dari 45 menit dan waktu pengikatan akhir berkisar 6 sampai 10 jam.

Reaksi antara semen dan air dimulai dari permukaan butir-butir semen, sehingga makin luas permukaan butir-butir semen (dari berat semen sama) makin cepat proses hidrasinya. Hal ini berarti bahwa butir-butir semen yang halus akan menjadi kuat dan menghasilkan panas hidrasi yang lebih cepat dari semen dengan butir-butir yang lebih kasar. Secara umum semen berbutir halus meningkatkan *kohesi* pada beton segar dan dapat mengurangi *bleeding*, namun menambah kecenderungan beton untuk menyusut lebih banyak dan mempermudah terjadinya retak susut.

2. Agregat

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

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

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

a. Agregat Kasar

Menurut SK SNI T-15-1991 disebutkan bahwa, agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butiran antara 5 sampai 40 mm.

Sifat dari agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca dan efek-efek perusak lainnya. Agregat kasar mineral ini harus bersih dari bahan-bahan organik dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan gel semen.

Sifat-sifat bahan bangunan sangat perlu untuk diketahui, karena dengan mengetahui sifat dan karakteristik dari bahan tersebut, kita dapat menentukan langkah-langkah yang diambil dalam menangani bahan bangunan tersebut. Sifat-sifat dari agregat kasar yang perlu untuk diketahui :

1) Ketahanan (*Hardness*)

Ketahanan (*hardness*) agregat kasar merupakan salah satu sifat beton yang penting, yang digunakan dalam struktur jalan dan permukaan lantai terhadap arus lalu-lintas yang sangat padat. Ketahanan dari agregat kasar dapat diketahui dengan pengujian abrasi atau keausan dengan menggunakan mesin *Los Angelos*. Nilai abrasi atau keausan agregat kasar didefinisikan sebagai prosentase kehilangan massa agregat kasar. Semakin tinggi nilai kehilangan massanya menunjukkan ketahanan yang semakin rendah terhadap abrasi (keausan).

2) Bentuk dan Tekstur Permukaan (*Shape and Texture Surface*)

Bentuk dan tekstur permukaan secara nyata mempengaruhi mobilitas dari beton segarnya, maupun daya lekat antara agregat dan pastanya. Secara umum, yang terbaik untuk kelecakan adalah bentuk bulat, sedangkan untuk kekuatan yang tinggi adalah angular, karena luas permukaan lebih besar. Tekstur permukaan adalah suatu sifat permukaan yang tergantung pada ukuran apakah permukaan butir termasuk halus atau kasar, mengkilap atau kusam, dan macam dari bentuk kekasaran permukaan. Butir-butir dengan tekstur permukaan yang licin membutuhkan air lebih sedikit dari pada butir-butir yang tekstur permukaannya kasar.

3) Berat Jenis Agregat (*Specific Gravity*)

Berat jenis agregat (*specific gravity*) ialah rasio massa atau berat dalam udara, sebagai unit material terhadap massa yang sama dalam volume air pada temperatur yang tetap. Berat jenis agregat (*specific gravity*) merupakan salah satu variabel yang sangat penting dalam perancangan campuran beton.

4) Ikatan Agregat Kasar (*Bonding*)

Ikatan agregat kasar dengan partikel lain (*bonding*), kedua bentuk dan tekstur permukaan sangat mempengaruhi kekuatan beton, khususnya untuk beton mutu tinggi. Susunan atau tekstur yang kasar menghasilkan sifat adhesif atau ikatan antar partikel-partikel dan pasta semen yang besar. Demikian dengan luas permukaan yang besar dari agregat yang bersiku-siku memberikan ikatan yang

besar. Pada umumnya ikatan yang baik dihasilkan oleh beton dari agregat kasar yang dipecah.

5) Modulus Halus Butir (*Finenes Modulus*)

Modulus halus butir (*Finenes Modulus*) ialah suatu indek yang dipakai untuk ukuran kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat. Modulus halus butir ini didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif dari butir-butir agregat yang tertinggal diatas suatu set ayakan dan kemudian dibaca seratus. Makin besar nilai modulus halus menunjukkan bahwa makin besar butir-butir agregatnya. Pada umumnya pasir mempunyai modulus halus butir antara 2,3 sampai 3,1. Adapun modulus halus butir kerikil biasanya diantara 5 dan 8.

6) Gradasi Agregat (*Grading*)

Gradasi adalah distribusi ukuran butir dari agregat. Agregat harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda utuh, homogen dan rapat, agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat yang berukuran besar.

Sejumlah agregat biasanya terdiri atas butir-butir yang ukurannya tidak sama. Bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang sama atau seragam, maka volume pori akan relatif lebih besar. Sebaliknya bila ukuran butir-butirnya bervariasi, maka akan menyebabkan volume porinya kecil. Hal ini karena butiran yang lebih kecil mengisi pori diantara butiran yang besar, sehingga pori-porinya menjadi relatif sedikit dengan kata lain kemampatannya tinggi. Jika agregat memiliki fraksi butir-butir yang berbeda disetiap antara ukuran maksimum dan

minimum, maka gradasi agregat tersebut disebut gradasi menerus (*continuous*), agregat ini termasuk bergradasi baik. Sebaliknya jika salah satu atau dua fraksi tidak dimiliki, maka disebut gradasi sela (*gap grade*).

Gradasi agregat mempunyai arti penting karena berpengaruh langsung terhadap sifat-sifat teknik pokok dari beton segar, misalnya konsisten dan segregasi, juga sifat-sifat beton setelah mengeras.

Agregat kasar yang akan dicampurkan sebagai adukan beton harus memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Persyaratan mutu agregat kasar sebagaimana telah diatur dalam PBI 1971 Bab 3.4 adalah :

- a). Agregat kasar harus terdiri dari butiran-butiran yang keras dan tidak berpori.

Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir-butir tersebut tidak melebihi dari 20 % berat agregat seluruhnya. Butir-butir agregat kasar tersebut harus bersifat kekal artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.

- b). Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1 % (ditentukan dari berat kering). Yang diartikan dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melampaui ayakan 0,063 mm. Apabila kadar lumpur melebihi 1 % maka agregat harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan.

- c). Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat reaktif alkali.

- d). Keausan dari butir-butir agregat kasar diperiksa dengan mesin *Los angelos* dengan syarat-syarat tertentu.

- e). Agregat kasar terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan tidak melewati saringan 4,75 mm.
- f). Besar butiran agregat maksimal tidak boleh lebih dari $1/5$ jarak terkecil antar bidang-bidang samping dari cetakan, $1/3$ tebal pelat, atau $3/4$ dari jarak bersih minimal antara batang-batang atau berkas tulangan.

Sedangkan persyaratan gradasi agregat kasar tercantum dalam ASTM C.33-84

Tabel 2.4 Persyaratan Gradasi Agregat Kasar ASTM C.33-84

Ukuran Saringan (mm)	Presentasi Lolos Saringan (%)
50	100
38	95 – 100
19	35 – 70
9,5	10 – 30
4,75	0 – 5

(Sumber : Concrete Technology, AM.Nevile & J.J Brooks)

b. Agregat Halus

Menurut SK SNI T-15-1991, agregat halus adalah pasir sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai butiran yang lebih kecil dari 4,75 mm.

Dalam pemilihan agregat halus harus benar-benar memenuhi persyaratan yang telah ditentukan sebagaimana tertera dalam PBI 1971 NI-2 Bab3.3, karena sangat menentukan dalam hal kemudahan pengerjaan (*workability*), kekuatan (*strength*) dan tingkat keawetan (*durability*) dari beton yang dihasilkan. Pasir sebagai bahan pembentuk mortar bersama semen dan air, berfungsi mengikat agregat kasar menjadi satu kesatuan yang kuat dan padat.

Menurut PBI 1971 NI-2 agregat halus untuk beton harus memenuhi hal-hal sebagai berikut :

- 1). Agregat halus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras. Butir-butir agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti terik matahari atau hujan.
- 2). Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5 % (ditentukan terhadap berat kering). Lumpur adalah bagian yang dapat melalui saringan 0,063 mm. Bila kadar lumpur melampaui 5 % maka agregat harus dicuci dahulu sebelum digunakan pada campuran.
- 3). Agregat halus tidak boleh mengandung zat organik terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari *Abrams-Harder* (dengan larutan *NaOH*). Agregat halus yang tidak memenuhi percobaan ini juga dapat dipakai asalkan kuat tekan adukan beton agregat tersebut pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang dari 95% dari kekuatan adukan yang sama tetapi dicuci bersih dengan air, pada umur yang sama.
- 4). Agregat halus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam dan melewati ayakan sebesar 4,75 mm
- 5). Pasir laut tidak boleh digunakan sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk lembaga pemeriksaan bahan yang diakui.

ASTM C.33-97, membatasi bahan-bahan yang lewat saringan (Amerika) no. 200, sampai 3% untuk beton yang mengalami kikisan dan 5% untuk jenis beton lainnya, kecuali untuk pasir dari batu pecah, bilamana batas-batas boleh ditambah masing-masing 5% dan 7%.

Tabel 2.5 Persyaratan Gradasi Agregat Halus ASTM C.33-97

Ukuran Saringan (mm)	Presentasi Lolos Saringan (%)
9,5	100
4,75	95 – 100
2,36	80 – 100
1,18	55 – 85
0,60	25 – 60
0,30	10 – 30
0,15	2 – 10

(Sumber : *Concrete Technology, AM.Nevile & J.J Brooks*)

3. Air

Air merupakan bahan yang sangat penting dalam dunia konstruksi. Berbagai kegunaan dari air misalnya untuk pembuatan beton, pemadatan kapur, perawatan beton, dan sebagai campuran untuk adukan pasangan dan plesteran. Di dalam adukan beton, air mempunyai dua fungsi, yang pertama adalah untuk memungkinkan terjadinya reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan antara pasta semen dengan agregat pada saat terjadinya pengerasan, dan yang kedua adalah sebagai pelincir campuran kerikil, pasir, dan semen agar mudah dalam proses pencetakan beton.

Air yang memenuhi syarat sebagai air minum, memenuhi syarat pula untuk bahan campuran beton. Tetapi tidak berarti air harus memenuhi persyaratan air minum. Jika diperoleh air dengan standar air minum, maka dapat dilakukan pemeriksaan secara visual yang menyatakan bahwa air tidak berwarna, tidak berbau dan cukup jernih. Tetapi jika masih meragukan, dapat dilakukan uji laboratorium sehingga memenuhi persyaratan, yaitu :

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

Menurut Kardiyono Tjokrodimulyo (1996 : 45), kekuatan beton dan daya tahannya berkurang jika air mengandung kotoran. Pengaruh pada beton diantaranya pada lamanya waktu ikatan awal serta kekuatan beton setelah mengeras. Adanya Lumpur dalam air diatas 2 gram/liter dapat mengurangi kekuatan beton. Air dapat memperlambat ikatan awal beton sehingga beton belum mempunyai kekuatan dalam umur 2-3 hari. *Sodium karbonat* dan *potassium* dapat menyebabkan ikatan awal sangat cepat konsentrasi yang besar akan mengurangi kekuatan beton.

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

C. Bahan Campuran Tambahan

Bahan tambahan adalah bahan selain unsur pokok beton (air, semen, dan agregat) yang ditambahkan kedalam adukan beton, sebelum, segera, atau selama proses pencampuran. Bahan ini biasanya ditambahkan apabila diinginkan untuk mengubah sifat-sifat beton sewaktu dalam keadaan segar maupun setelah mengeras. Hal ini juga dilakukan mengingat berbagai persoalan yang ada di lapangan sangat kompleks, sehingga dibutuhkan cara-cara khusus untuk menanggulangnya.

Fungsi bahan campuran tambahan adalah untuk mengubah sifat-sifat beton agar menjadi cocok untuk pekerjaan tertentu, atau ekonomi atau tujuan lain seperti menghemat energi.

Penggunaan bahan campuran seharusnya hanya dipertimbangkan, bila beton keras atau yang belum mengeras digunakan untuk dirubah sifatnya. Perubahan sifat dimodifikasi dengan perubahan proporsi dan komposisi beton normalnya.

Pemberian bahan tambahan kedalam adukan beton pada umumnya dengan jumlah yang relatif kecil, sehingga perlu adanya suatu kontrol yang lebih daripada pembuatan adukan beton biasa. Kesalahan yang sering terjadi pada penggunaan bahan tambahn ini adalah pemakaian jumlah yang berlebihan yang dapat mengakibatkan sifat-sifat beton yang direncanakan tidak dapat tercapai dan yang terjadi adalah sebaliknya, yaitu beton yang dihasilkan mempunyai kualitas yang rendah.

Bahan campuran dapat berupa bahan yang bersifat kimia ataupun bersifat fisikal. Menurut SK SNI S-18-1990-03, bahan kimia tambahan dibagi dalam beberapa tipe :

1. Tipe A : Bahan tambahan yang digunakan untuk mengurangi jumlah air yang dipakai.
2. Tipe B : Bahan tambahan yang digunakan untuk memperlambat waktu pengikatan beton.
3. Tipe C : Bahan tambahan yang digunakan untuk mempercepat waktu pengikatan beton.
4. Tipe D : Bahan tambahan yang digunakan untuk mengurangi jumlah air dan memperlambat waktu pengikatan beton.
5. Tipe E : Bahan tambahan yang digunakan untuk mengurangi jumlah air mempercepat waktu pengikatan serta menambah kekuatan awal beton.
6. Tipe F : Bahan tambahan yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran sebesar 12% atau lebih untuk menghasilkan adukan beton dengan kekentalan sama.
7. Tipe G : Bahan tambahan yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran sebesar 12% atau lebih dan juga memperlambat waktu pengikatan beton.

Sedangkan bahan tambahan yang bersifat fisikal diantaranya serat. Serat ini dapat berupa serat tumbuhan (ijuk, rami), serat baja, serat plastik, serat kaca/gelas, atau serat karbon.

D. Penambahan Serat pada Campuran Beton

Beton serat adalah beton yang dalam proses pembuatannya ditambahkan serat (*fiber*) dalam adukan. Dengan penambahan serat ke dalam adukan beton, maka sifat-sifat struktural beton akan diperbaiki. Serat-serat di dalam beton bersifat mekanis, sehingga tidak akan bereaksi secara kimiawi dengan bahan beton lainnya. Serat hanya membantu mengikat dan mempersatukan campuran beton.

Serat pada campuran beton dapat menunda retaknya beton, membatasi penambahan retak dan juga membantu ketidakmampuan semen portland yang tidak dapat menahan regangan dan benturan menjadi ikatan komposit kuat dan lebih tahan retak. Serat juga memperbaiki daktilitas, terutama retak beton sebelum beton hancur.

1. Serat

Telah banyak peneliti yang mencoba mencari alternatif bahan yang dapat memperbaiki kelemahan sifat-sifat beton, terutama berbagai macam jenis bahan serat. Beberapa macam serat yang dapat dipakai untuk memperbaiki sifat-sifat beton telah dilaporkan oleh ACI Committee 544 (1902) dan Soroushian & Bayasi (1987). Sifat-sifat dasar (*basic properties*) dari berbagai macam *fiber* disajikan pada tabel 2.6 di bawah ini :

Tabel 2.6 Karakteristik Dasar dari Berbagai Jenis Serat

Fiber Type	Specific Gravity	Tensile Strength (Ksi)	Young' Modulus (10^3 Ksi)	Volume Fraction	Common Diameter (in)	Common Lengths (in)
<i>Steel</i>	7,86	100-300	30	0,75-3,00	0,0005-0,04	0,5-1,5
<i>Glass</i>	2,7	<i>up to</i> 180	11	2-8	0,004-0,03	0,5-1,5
<i>Plastic</i>	0,91	<i>up to</i> 100	0,14-1,2	1-3	<i>up to</i> 0,1	0,5-1,5
<i>Carbon</i>	1,6	<i>up to</i> 100	<i>up to</i> 7,2	1-5	0,0004-0,0008	0,5-1,5

(Sumber : *Soroushian & Bayasi, 1987*)

Salah satu jenis serat plastik alternatif yang digunakan untuk bahan tambahan pada beton adalah *polypropylene*. Plastik beneser bekas tali kemas (*polypropylene strapping band*), selain memenuhi salah satu kriteria bahan fiber beton, bahan ini untuk jumlah yang besar juga mudah didapat. Material ini merupakan sampah buangan bekas tali kemas barang, yang mempunyai volume relatif besar di Pasar Legi Surakarta dan di Terminal Peti Kemas Pedaringan Surakarta. Karena merupakan sampah buangan bekas tali kemas barang, yang mempunyai volume relatif besar di Pasar Legi Surakarta dan di Terminal Peti Kemas Pedaringan Surakarta., maka harganya tentu sangat murah. Untuk mendapatkan mutu beton serat yang bagus, dipilih tali plastik beneser yang relatif masih baru.

Jenis tali plastik yang mempunyai sifat polimer ini, diharapkan dapat berfungsi sama dengan fibermesh. Dari penjelasan spesifikasi *polypropylene* yang dikeluarkan oleh Master Building Technology (MBT) New Zeland 5 maret 1998

dapat diketahui manfaat yang diperoleh apabila menggunakan *polypropylene* sebagai bahan tambahan dalam campuran adukan beton, antara lain : mencegah retak plastis, mengurangi permeabilitas, menambah ketahanan terhadap abrasi, menambah kapasitas impak, tahan terhadap alkali, memberikan ketahanan terhadap kehancuran, hantaran panas rendah, hantaran listrik rendah, ketahanan terhadap asam dan garam tinggi, absorpsivitas 0% dan tidak berkarat.

Serat plastik ini banyak mengurangi pembentukan retak akibat penurunan dan susut, yaitu dengan cara meningkatkan kapasitas regangan tarik pada beton plastis. Pengurangan atau penghilangan retak plastis ini dapat membuat beton mencapai keutuhan jangka panjang yang optimum.

Pada saat beton mengeras dan menyusut, retak yang sangat kecil sekali akan berkembang. Bila retak kecil tersebut terpotong oleh batangan-batangan serta maka retak tersebut akan tercegah untuk berkembang menjadi retak yang lebih besar.

Denier serat merupakan berat serat dalam gram tiap 9000 meter serat. Secara matematis, hubungannya dengan diameter ekuivalen dan berat jenis serat adalah :

$$de = kf \sqrt{\frac{D}{g_s}} \quad (2.1)$$

dimana : D = Denier (gr)

de = Diameter ekuivalen (mm)

kf = 0,0120

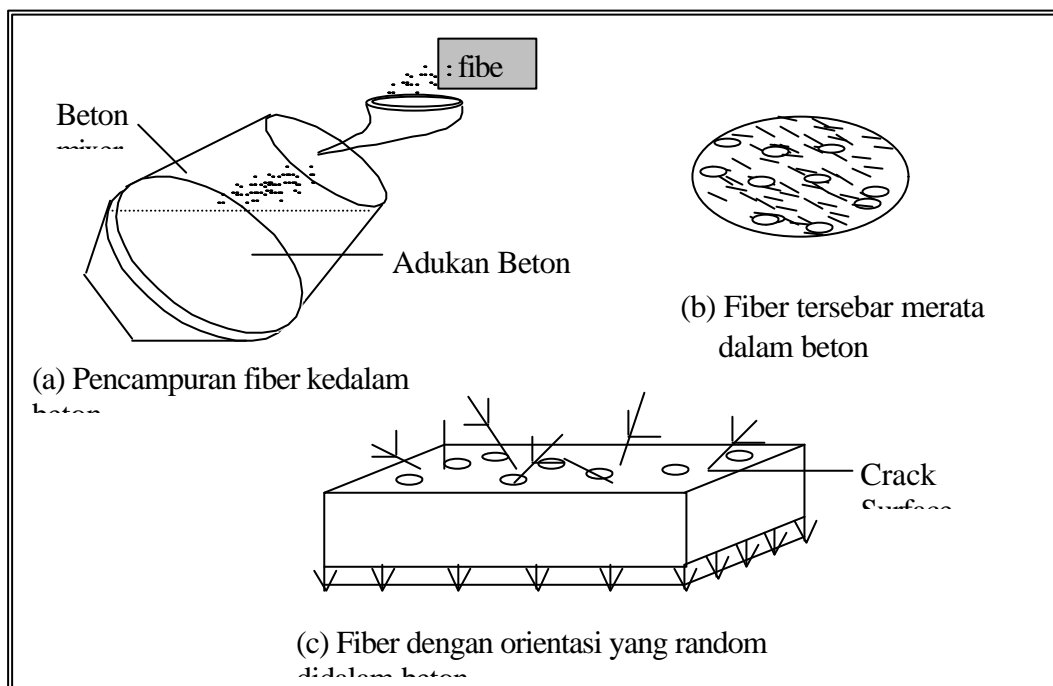
g_s = Berat Jenis (gr/cm³)

2. Sifat Struktural Beton Serat

Peningkatan sifat struktural yang diperlihatkan oleh beton serat dipengaruhi oleh hal-hal sebagai berikut :

a. Orientasi Penyebaran (*Dispersion*) Short Fiber yang Random

Fiber dispersion adalah teknik pencampuran adukan agar serat yang ditambahkan dapat tersebar merata dengan orientasi yang random dalam beton. Cara yang dianjurkan oleh Soroushian dan Bayasi (1987) seperti gambar 2.1 berikut :



Gambar 2.1. Konsep beton berserat (*Soroushian & Bayasi, 1987*)

Arah penyebaran serat yang random dan terdistribusi secara merata akan menyebabkan peningkatan sifat struktural yang optimal. Untuk mencapai hal ini maka faktor yang perlu diperhatikan adalah metode penyebaran dan pencampuran serat ke dalam adukan, konsentrasi dan aspek rasio serat.

b. Lekatan Pada Alur retakan

Ukuran serat yang pendek dan tidak menerus, memungkinkan terjadinya alur retak tidak melewati serat, sehingga lekatan antara serat dan partikel penyusun beton dalam komposit menjadi tidak optimal. Apabila lekatan serat yang terjadi pada masa beton lebih kecil dari pada kuat tarik serat, maka kekuatan beton serat akan ditentukan oleh kuat lekat serat (*bond strength*).

c. Panjang Tertanam Serat yang Tidak Teratur (Random)

Gaya aksial yang diakibatkan oleh tegangan lekat serat pada pasta semen, merupakan fungsi dari panjang tertanam minimum serat pada bidang retak. Panjang tertanam serat ini juga tidak teratur. Untuk mengatasi keadaan ini dapat diusahakan dengan memberikan aspek rasio atau l/d yang tepat.

3. Konsep Beton Serat

Dalam pemakaian beton serat, ada dua istilah yang sering digunakan untuk memudahkan perencanaan dan pengenalan kuantitas dan kualitas yang dihasilkan oleh penambahan serat :

a. Fiber Volume Vriction (Vf)

Fiber Volume Fraction (Vf) adalah prosentase valume serat (*fiber*) yang ditambahkan pada setiap volume beton. Dalam kenyataannya, persentase yang digunakan adalah berat seratnya. Ini dapat diketahui dari berat jenis serat.

Umumnya semakin besar *volume fraction* (Vf) akan meninggikan kualitas beton, tetapi *volume fraction* juga mempengaruhi *workabilitas* adukan beton serat,

sehingga *volume fraction* mempunyai nilai yang optimal jika meninjau *workabilitas*-nya.

b. *Fiber Aspec Ratio (l/d)*

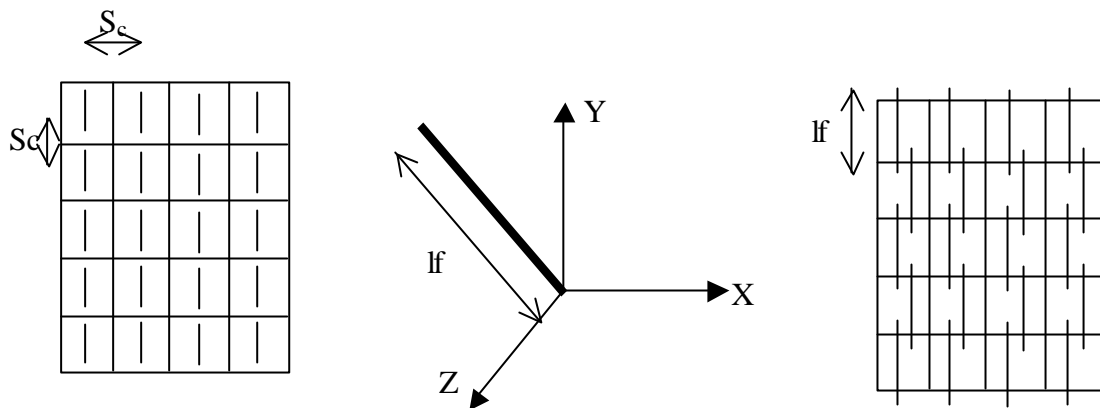
Fiber aspec rasio (l/d) merupakan rasio antara panjang serat (*l*) dan diameter serat (*d*). Rasio perbandingan panjang dan diameter juga mempengaruhi kekuatan beton serat dan *workabilitas*-nya.

4. Mekanisme Kerja Serat dalam Beton

Teori yang dipakai sebagai pendekatan untuk dapat menjelaskan mekanisme kerja serat di dalam beton sehingga dapat memperbaiki sifat atau perilaku beton menurut Soroushian dan Bayasi (1987) ada dua teori, yaitu :

a. *Spacing Concept*

Dalam teori ini dengan mendekatkan jarak antar serat didalam campuran beton maka beton akan lebih mampu membatasi ukuran retak dan mencegah berkembangnya retak menjadi lebih besar. Serat bekerja lebih efektif jika berjajar secara urut dan seragam tanpa adanya *overlapping*. Tetapi keadaan sesungguhnya dari susunan tersebut tidak teratur dan saling *overlapping*, seperti yang terlihat pada Gambar 2.2 :



(a). serat yang seragam (b). proyeksi arah yang random (c). serat saling overlapping

Gambar 2.2. Susunan serat (*fiber*) dalam beton menurut *spacing concept*

b. Composite Material Concept

Konsep material komposit merupakan salah satu pendekatan yang cukup populer untuk memperkirakan kuat tarik ataupun kuat lentur dari *fiber reinforced concrete*. Konsep ini dikembangkan untuk memperkirakan kekuatan material komposit pada saat timbul retak pertama (*first crack strength*). Dalam konsep ini diasumsikan bahan penyusun saling melekat sempurna. Bentuk serat menerus (*continous fiber*) dan angka poisson dianggap sama dengan nol.

Dengan asumsi tersebut, maka kekuatan bahan komposit dari beton serat dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$\sigma_c = \sigma_f \cdot V_f + \sigma_m \cdot (1 - V_f) \quad (2.2)$$

dengan :

σ_c = kekuatan komposit saat retak awal

σ_f = tegangan tarik serat

$$\sigma_m = \text{tegangan tarik beton} = 0,57 \sqrt{f'c}$$

$$V_f = \text{prosentase volume serat}$$

dengan :

$$\sigma_f = 2 \cdot \tau \cdot (l_f / d_f) \quad (2.3)$$

sehingga : $\tau = \frac{\sigma_f \cdot d_f}{2 \cdot l_f}$

dengan :

$$\tau = \text{tegangan lekat (bond strength) pada panjang lekatan serat yang diperhitungkan (} l_f / 2 \text{)}$$

Karena serat yang digunakan dalam *fiber reinforced concrete* adalah ukuran pendek (*short fiber*) dan bukan *continous fiber*, maka dari persamaan tersebut perlu dikoreksi berdasarkan pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut :

- 1) Orientasi dari *short fiber* yang random akan mengurangi efisiensi penulangan serat terhadap material komposit.
- 2) Lekatan yang tidak sempurna serta ukuran serat yang pendek dapat menyebabkan alur retakan yang tidak melewati serat.
- 3) Distribusi alur retak yang tidak sembarang menyebabkan alur retak tidak selalu memotong serat tepat ditengah-tengah.
- 4) Efektifitas beton pada saat menahan tarik pada saat timbul retak.

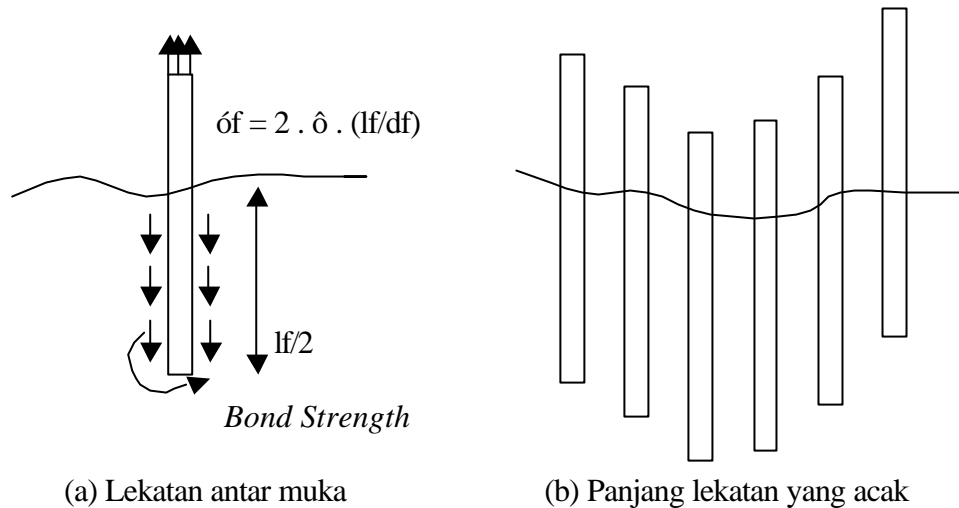
Dengan demikian persamaan (2.1) menjadi

$$\sigma_c = 2 \cdot \eta_f \cdot \eta_l \cdot \tau \cdot (l_f / d_f) \cdot V_f + \gamma \cdot \sigma_m \cdot (1 - V_f) \quad (2.4)$$

dengan : η_f = faktor efisiensi orientasi random dari serat (fiber)

η_l = faktor efisiensi panjang serat yang tertanam

γ = koefisien tarik beton (= 0,97)



Gambar 2.3. Susunan serat menurut *Composite Material Concept*

Teori lain yang menggambarkan mekanisme kerja serat dalam beton berupa *dowel action*, yang merupakan kombinasi *pull-out resistance* dan *bending resistance*. Dalam teori ini *pull-out resistance* diartikan sebagai ketahanan tarik yang dimiliki oleh lekatan serat terhadap matrik beton (Suhendro, 2000) sehingga memungkinkan terjadinya perpindahan tegangan (*stress transfer*) dari matrik beton ke serat atau dari serat ke beton (Sadashi dan Hannant, 1994; Jurnal ACI Material, 1994). Sedangkan *bending resistance* berkaitan dengan kelenturan dan keliatan serat sebagai tulangan mikro beton yang membantu menahan tegangan-tegangan dalam yang terjadi (tegangan normal dan tegangan geser).

Dengan adanya mekanisme *dowel action* dalam beton serat, telah terbukti mampu secara efektif dan efisien menunda terjadinya retakan-retakan mikro beton

yang pada akhirnya mampu meningkatkan berbagai sifat mekanik beton. (Suhendro, 2000).

E. Sifat-sifat Beton

Sifat-sifat beton yang dimaksud adalah sifat-sifat yang dikehendaki dalam perencanaan konstruksi beton. Sifat-sifat yang ditinjau dalam kondisi, yaitu :

1. Sifat-sifat beton segar
2. Sifat-sifat beton padat

1. Sifat-sifat Beton Segar

a. Kemudahan Pengerjaan (*workability*)

Kemudahan pengerjaan (*workability*) merupakan tingkat kemudahan adukan beton untuk diaduk, diangkut, dituang dan dipadatkan tanpa mengurangi homogenitas beton dan beton tidak terurai (*bleeding* yang berlebihan) untuk mencapai kekuatan yang direncanakan. Perbandingan bahan-bahan itu secara bersama-sama merupakan sifat kemudahan pengerjaan beton segar. Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat kemudahan dikerjakan antara lain :

- 1) Jumlah air yang dipakai dalam campuran adukan beton. Makin banyak air yang dipakai makin mudah beton segar dikerjakan.
- 2) Penambahan semen kedalam campuran juga memudahkan cara pengerjaan adukan beton, karena diikuti dengan bertambahnya air campuran untuk memperoleh nilai f.a.s yang tetap.

- 3) Gradasi campuran pasir dan krikil. Bila campuran pasir dan krikil mengikuti gradasi yang telah disarankan oleh peraturan maka adukan beton akan mudah dikerjakan.
- 4) Pemakaian butir-butir batuan yang bulat mempermudah cara pengerjaan beton.
- 5) Pemakaian butir maksimum kerikil yang dipakai juga berpengaruh terhadap tingkat kemudahan pengerjaan.
- 6) Cara pemadatan adukan beton menentukan sifat pengerjaan yang berbeda. Bila cara pemadatan dilakukan dengan alat getar, maka diperlukan tingkat kelecakan yang berbeda daripada jika dipadatkan dengan tangan, sehingga jumlah air yang diperlukan lebih sedikit.

Untuk lebih jelasnya pengertian workabilitas dapat didefinisikan dengan sifat-sifat sebagai berikut :

- a) *Compactibility*, atau kemudahan adukan beton untuk dipadatkan sehingga rongga-rongga udara yang terperangkap dalam beton dapat dikurangi.
- b) *Mobility*, atau kemudahan adukan beton untuk dapat mengalir kedalam cetakan disekitar tulangan dan dapat dituang dengan mudah.
- c) *Stability*, atau kemampuan adukan beton untuk tetap sebagai massa yang homogen, koheren (saling mengikat) dan stabil selama dikerjakan dan digetarkan tanpa terjadi pemisahan butiran.
- d) *Finishibility*, atau kemudahan dimana tercapai penyelesaian akhir yang baik, terutama untuk permukaan vertikal yang dicetak dengan acian dan pelat lantai, dimana dibutuhkan tenaga untuk menambalnya.

Faktor utama yang mempengaruhi workabilitas adalah kandungan air didalam campuran, sedangkan faktor lainnya adalah gradasi agregat, bentuk dan tekstur permukaan agregat, proporsi campuran serta kombinasi gradasi.

Tingkat kemudahan pengerjaan berkaitan erat dengan tingkat kelecakan (keenceran) adukan beton. Makin cair adukan makin mudah pengerjaan. Untuk mengetahui tingkat kelecakan adukan beton biasanya dilakukan dengan percobaan slam (*slump*). Makin besar nilai *slump* berarti adukan beton semakin encer dan ini berarti semakin mudah dikerjakan. Pada umumnya nilai *slump* berkisar antara 5 sampai 12,5 cm. (Kardiyono Tjokrodinuljo, 1996 : 56)

Penggunaan campuran beton pada tingkat kemudahan pengerjaan yang berbeda-beda berdasarkan nilai *slump*nya, dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.7 Penggunaan Beton pada Tingkat Workabilitas yang Berbeda-beda

Tingkat Workabilitas	Slump (mm)	Faktor Pemadatan	Penggunaan Beton yang Sesuai
Sangat Rendah	0-25	0,80-0,87	Beton yang digetarkan di jalan atau seksi lain yang lebih luas, dimana mesin getar yang kuat dapat dilakukan. Tiang yang digetarkan, balok pracetak, bantalan rel kereta api dan lainnya dimana dibutuhkan kekuatan yang tinggi, misal 40 N/mm ² atau lebih pada umur 28 hari
Rendah sampai sedang	25-50	0,87-0,93	Jalan raya dengan bentuk mesin penggetar dan penghalus yang biasa, dan pemadat yang dioperasikan dengan tangan biasa atau sejenis.
Sedang sampai tinggi	50-100	0,93-0,95	Jalan raya dengan pemadatan tangan dengan slump 50-75 mm. Untuk beton bertulang biasa tanpa penggetaran dan bertulang rapat dengan penggetaran dan pompa.

Tinggi	100-175	Lebih dari 0,95	Untuk bagian dengan tulangan rapat. Pekerjaan yang sukar pencetakannya. Umumnya tidak sesuai untuk digerakkan.
--------	---------	--------------------	---

(Sumber : L.J. Murdock dan K.M. Brook, 1991 :125)

Penambahan serat ke dalam adukan beton akan menurunkan kelecakan adukan secara cepat sejalan dengan pertambahan volume fraksi (konsentrasi serat) dan aspek rasio serat. Penurunan *workability* adukan dapat dikurangi dengan penurunan diameter maksimum agregat, peninggian faktor air semen, penambahan semen atau pemakaian bahan tambah. Meskipun demikian, jika konsentrasi serat dan aspek rasio serat melampaui batas tertentu, tetap akan didapat adukan yang kelecakannya sangat rendah. (Suhendro, 1993).

Aspek rasio yang tinggi akan mengakibatkan serat cenderung untuk menggumpal menjadi suatu bola (*balling effects*) yang sangat sulit disebar secara merata dalam proses pengadukan. Batas maksimum aspek rasio serat yang masih memungkinkan pengadukan dapat dilakukan dengan mudah adalah $l/d = 100$.

Dalam mengontrol konsistensi adukan beton serat, digunakan nilai slump pada setiap adukan beton baru. Nilai slump digunakan sebagai petunjuk ketepatan jumlah pemakaian air dalam hubungannya dengan faktor air semen yang ingin dicapai. Pada umumnya, nilai slump untuk beton serat mengikuti standart ASTM C-143 yaitu antara 25 mm sampai 100 mm. Untuk menghitung *workability* beton serat tidak cukup hanya dengan *slump test* saja karena nilai *slump* beton serat yang masih *workable* bisa hanya sebesar 2 cm maka diperlukan alat ukur lain seperti *VB-test Apparatus* atau *Inverted Slump Cone Test Equipment* yang pada prinsipnya menggunakan getaran pada pengujiannya. Secara umum beton fiber

dengan nilai VB-time berkisar antara 5 sampai dengan 25 detik dapat dinyatakan sebagai adukan yang *workability*nya dapat diterima.

Untuk beton berserat secara umum dapat dinyatakan bahwa semakin banyak prosentase fiber yang ditambahkan dalam adukan beton maka *workability* akan menurun. Selain itu besarnya rasio kelangsingan (l/d) fiber juga mempengaruhi tingkat *workability* yang akan menurun sesuai dengan penambahan besarnya rasio perbandingan. Pedoman untuk mengatasi kedua masalah tersebut, yang menyangkut pedoman pencampuran, pengecoran, dan penyelesaian (*finishing*) beton fiber, telah dilaporkan ACI Committee 544 (1984).

b. Pemisahan kerikil (*Segregation*)

Kecenderungan butir-butir kerikil untuk memisahkan diri dari campuran adukan beton disebut *segregation*. Penyebab utama terjadinya segregasi adalah perbedaan ukuran partikel dan berat jenis campuran. Tetapi ini dapat diatasi dengan memilih gradasi yang sesuai dan penanganan yang baik.

Campuran beton yang kelebihan air dapat menyebabkan segregasi, kelebihan air menyebabkan pasta semen menjadi encer dan cenderung bergerak ke bawah meninggalkan agregat yang besar. Sebaliknya penggetaran yang terlalu lama dapat mengakibatkan agregat kasar turun ke dasar cetakan dan menekan bagian yang lebih halus sehingga terangkat keatas.

c. Pemisahan air (*bleeding*)

Kecenderungan air campuran untuk naik ke atas (memisahkan diri) pada baton segar yang baru saja dipadatkan disebut *bleeding*. Hal ini disebabkan

ketidakmampuan bahan *solid* dalam campuran untuk menahan seluruh air campuran ketika bahan itu bergerak ke bawah.

Air naik ke atas sambil membawa semen dan butir-butir halus pasir, yang pada akhirnya setelah beton mengeras akan tampak sebagai selaput. Lapisan ini dikenal sebagai *laitance*. *Bleeding* biasanya terjadi pada campuran beton basah (kelebihan air) atau campuran adukan beton dengan nilai slump tinggi.

2. Sifat-sifat Beton Setelah Mengeras

a. Kekuatan (*Strength*)

Kekuatan beton dapat dilihat dari mutu beton itu sendiri. Kekuatan ini meliputi kekuatan tekan dan kekuatan tarik. Faktor air semen (f.a.s) sangat mempengaruhi kuat tekan beton. Semakin kecil f.a.s, sampai batas tertentu semakin tinggi kuat tekan beton.

Kekuatan akan sesuai dengan yang direncanakan bila pada campuran beton tersebut menggunakan semen portland dengan kekuatan yang sesuai dengan persyaratan, proporsi campuran dengan perencanaan yang tepat sehingga tidak terjadi penggunaan pasir yang berlebihan. Kekuatan beton akan semakin meningkat dengan bertambahnya umur beton karena proses hidrasi semen yang ada dalam adukan beton akan terus berjalan walaupun lambat.

b. Ketahanan (*Durability*)

Ketahanan beton dikatakan baik apabila dapat bertahan lama dalam kondisi tertentu tanpa mengalami kerusakan selama bertahun-tahun. Kondisi yang dapat mengurangi daya tahan beton dapat disebabkan faktor dari luar dan dari

dalam beton itu sendiri. Faktor luar antara lain cuaca, perubahan suhu yang ekstrim, erosi kembang dan susut akibat basah atau kering yang silih berganti dan pengaruh bahan kimia. Faktor dari dalam yaitu akibat reaksi agregat dengan senyawa alkali.

c. Rangkak dan Susut

Pemberian beban pada beton, pertama-tama akan memberikan deformasi elastik yang nilainya setara dengan hasil yang ada pada diagram tegangan-regangan percobaan tekan beton. Pembebanan dalam jangka waktu panjang dengan tegangan yang konstan akan mengakibatkan deformasi yang terjadi secara lambat, yang disebut dengan *rangkak (creep)*. Rangkak dipengaruhi oleh umur beton, besarnya regangan, faktor air semen dan kekuatan beton.

Sedangkan proses *susut (shrinkage)* didefinisikan sebagai perubahan bentuk volume yang tidak berhubungan dengan beban. Apabila beton mengeras, berarti beton tersebut mengalami susut. Hal-hal yang mempengaruhi susut antara lain mutu agregat dan faktor air semen. Pada umumnya proses rangkak selalu dihubungkan dengan susut karena keduanya terjadi bersamaan dan sering kali memberikan pengaruh yang sama, yaitu deformasi yang bertambah sesuai dengan berjalannya waktu.

Telah dijabarkan di atas bahwa penambahan serat ke dalam perancangan beton akan memperbaiki beberapa sifat dari beton itu sendiri. Dari seluruh perbaikan sifat beton dengan penambahan serat ke dalam adukannya, yang berpengaruh paling besar adalah perbaikan daktilitas ditinjau dari kemampuan penyerapan energi struktur beton dan ketahanan terhadap beban kejut. Selain itu

beton telah mempunyai kuat desak tinggi masih dapat diperbaiki walaupun persentase kenaikannya sedikit. Perbaikan kuat desak ini juga mempertinggi perilaku dan kuat geser komponen struktur seperti balok ataupun sambungan balok dan kolom.

Menurut Soroushian dan Bayasi (1987) beberapa sifat dan perilaku beton yang dapat diperbaiki setelah penambahan serat adalah :

1. Sifat Daktilitas beton ditinjau dari penyerapan energi
2. Ketahanan terhadap beban kejut (*impact*)
3. Kekuatan terhadap lentur dan tarik.
4. Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue*)
5. Kekuatan geser beton
6. Ketahanan terhadap pengaruh susutan (*shrinkage*)
7. Ketahanan-ketahanan terhadap ausan (*abrasion*) dan fragmentasi (*fragmentation*).

Setiap jenis serat mempunyai perbaikan sifat struktural yang signifikan, tetapi tidak secara keseluruhan. Perbaikan sifat ini tergantung jenis, bentuk, ukuran dan banyaknya serat yang ditambahkan ke dalam adukan beton.

Di samping itu masalah yang masih perlu dikembangkan adalah metode analisis dan perancangan berbagai elemen struktur (seperti balok, kolom, pelat dan komposit) ataupun struktur secara keseluruhan yang menggunakan kombinasi beton berserat. Formula yang telah dikenal selama ini untuk beton bertulang konvensional tidak dapat digunakan begitu saja. Kesemuanya cukup berbeda, baik konsep maupun prosedurnya, maka perlu diteliti.

F. Kuat Desak Beton

Kuat desak beton adalah besarnya beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin uji. Kuat tekan beton ditentukan oleh perbandingan semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan berbagai jenis campuran. Perbandingan air terhadap semen merupakan faktor utama dalam penentuan kuat tekan beton.

Beton relatif kuat menahan tekan. Keruntuhan beton sebagian disebabkan karena rusaknya ikatan pasta dan agregat. Besarnya kuat tekan beton dipengaruhi oleh sejumlah faktor antara lain :

- a. Faktor air semen. Hubungan faktor air semen dan kuat tekan beton secara umum adalah bahwa semakin rendah nilai faktor air semen, semakin tinggi kuat tekan betonnya. Namun kenyataannya, pada suatu nilai faktor air semen tertentu, semakin rendah nilai faktor air semen, kuat tekan betonnya semakin rendah . Hal ini dikarenakan jika faktor air semen semakin rendah, maka beton semakin sulit dipadatkan. Dengan demikian, ada suatu nilai faktor air semen yang optimal yang menghasilkan kuat tekan maksimal.
- b. Jenis semen dan kualitasnya, mempengaruhi kekuatan rata-rata dan kuat batas beton.
- c. Jenis dan lekuk-lekuk (*relief*) bidang permukaan agregat. Kenyataan menunjukkan bahwa penggunaan agregat batu pecah akan menghasilkan beton dengan kuat desak maupun kuat tarik yang lebih besar dari pada kerikil.

- d. Efisiensi dari perawatan (*curing*). Kehilangan kekuatan sampai 40% dapat terjadi bila pengeringan terjadi sebelum waktunya. Perawatan adalah hal yang sangat penting pada pekerjaan di lapangan dan pada pembuatan benda uji.
- e. Suhu. Pada umumnya kecepatan pengerasan beton bertambah dengan bertambahnya suhu. Pada titik beku kuat hancur akan tetap rendah untuk waktu yang lama.
- f. Umur pada keadaan yang normal. Kekuatan beton bertambah dengan bertambahnya umur, tergantung pada jenis semen, misalnya semen dengan kadar alumina tinggi menghasilkan beton yang kuat hancurnya pada 24 jam sama dengan semen portland biasa pada 28 hari. Pengerasan berlangsung terus secara lambat sampai beberapa tahun.

Nilai kuat tekan beton didapat melalui pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu atas benda uji silinder beton (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) sampai hancur. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi (f_c) yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan.

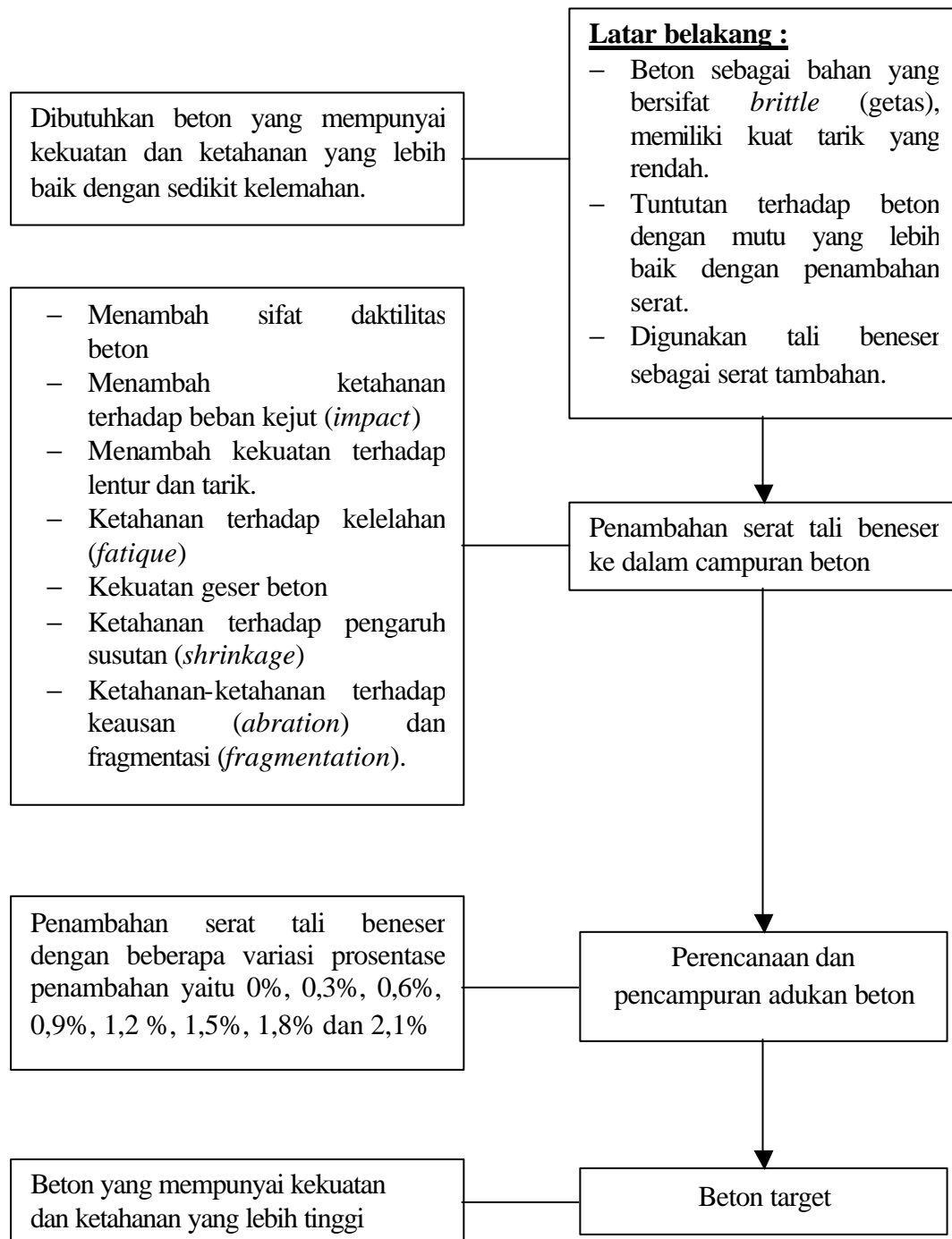
G. Kuat Tarik Belah Beton

Nilai kuat desak dan kuat tarik bahan beton tidak berbanding lurus. Setiap usaha perbaikan mutu kekuatan desak hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya. Suatu perkiraan kasar nilai kuat tarik beton normal hanya berkisar antara

9%-15% dari kuat tekannya. Kuat tarik beton yang tepat sulit diukur. Suatu nilai pendekatan yang umum dilakukan dengan menggunakan *modulus of repture* yaitu tegangan tarik lentur beton yang timbul pada pengujian hancur balok beton polos sebagai pengukur kuat tarik sesuai teori elastisitas. Kuat tarik bahan beton juga ditentukan melalui pengujian *split cylinder* yang umumnya memberikan hasil yang lebih baik dan lebih mencerminkan kuat tarik yang sebenarnya. Pengujian menggunakan benda uji silinder beton berdiameter 150 mm dan panjang 300 mm, diletakkan pada arah memanjang di atas alat penguji kemudian beban tekan diberikan merata arah tegak dari atas pada seluruh panjang silinder. Apabila kuat tarik terlampaui, benda uji terbelah menjadi dua bagian dari ujung ke-ujung.

H. Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran yang melandasi dilakukannya penelitian ini disajikan dalam bentuk diagram sebagai berikut :



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Uraian Umum

Metodologi penelitian adalah langkah-langkah atau metode dalam penelitian suatu masalah, kasus, gejala ataupun fenomena yang ada di sekitar kita dengan jalan ilmiah untuk menghasilkan jawaban yang rasional dan dapat dipertanggungjawabkan. Metode yang digunakan dalam skripsi ini adalah metode eksperimen, yang berarti mengadakan kegiatan percobaan di laboratorium untuk mendapatkan suatu hasil yang menegaskan hubungan kausal dari variabel-variabel yang diselidiki. Laboratorium yang digunakan untuk penelitian adalah Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.

Dalam penelitian ini terdapat variabel-variabel yang terdiri dari variabel bebas (*independent variable*) dan variabel tak bebas (*dependent variable*). Variabel bebas dalam penelitian ini adalah persentase penambahan serat tali beneser, sedangkan variabel tidak bebas adalah *workability* yang dinyatakan dalam *nilai slump* dan *VB-Time*, kuat desak dan kuat tarik belah beton. Adapun faktor lain seperti susunan gradasi, bentuk dan ukuran gradasi, proporsi campuran, bahan, perawatan selama proses pengerasan dan sebagainya dianggap sebagai variabel yang tidak berpengaruh.

Tahapan-tahapan pokok dalam penelitian ini secara garis besar dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Pemilihan bahan.
2. Pengujian terhadap material yang akan digunakan, yaitu agregat halus (pasir), agregat kasar (*split*) dan serat (tali beneser).
3. Perencanaan campuran adukan beton sesuai dengan spesifikasi bahan yang sudah diteliti.
4. Pembuatan benda uji disertai dengan pengujian nilai *slump* dan *VB-test*.
5. Perawatan benda uji selama 28 hari.
6. Pengujian kuat desak dan kuat tarik belah beton.
7. Analisis data dan penarikan kesimpulan.

Analisa permasalahan yang digunakan adalah menggunakan analisis statistik uji normalitas dan analisis regresi, untuk mengetahui korelasi antara beberapa variabel yang ada sehingga didapat suatu kesimpulan dari penelitian tersebut, yaitu mengenai pengaruh penambahan serat tali beneser terhadap peningkatan kuat desak dan kuat tarik belah beton.

B. Benda Uji

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berupa benda uji beton berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm . Total benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah 32 buah benda uji silinder untuk uji desak dan 32 buah benda uji silinder untuk uji tarik belah. Dilakukan pembuatan benda

uji meliputi beton normal dan beton serat dengan kadar penambahan serat tali beneser bervariasi 0,3%, 0,6%, 0,9%, 1,2%, 1,5%, 1,8%, dan 2,1% dari volume adukan beton dikali berat jenis serat.

Untuk lebih jelasnya pembagian kelompok benda uji dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kelompok Benda Uji

KEL	KODE	Kadar Serat (Vf %)	Jml Sampel Uji Desak	Jml Sampel Uji Tarik Belah
I	D-TB0	0,0	4 silinder	4 silinder
II	D-TB3	0,3	4 silinder	4 silinder
III	D-TB6	0,6	4 silinder	4 silinder
IV	D-TB9	0,9	4 silinder	4 silinder
V	D-TB12	1,2	4 silinder	4 silinder
VI	D-TB15	1,5	4 silinder	4 silinder
VII	D-TB18	1,8	4 silinder	4 silinder
VIII	D-TB21	2,1	4 silinder	4 silinder
JUMLAH			32 silinder	32 silinder

C. Tahap dan Prosedur Penelitian

Sebagai penelitian ilmiah, penelitian harus dilaksanakan dalam sistematika dan urutan yang jelas dan teratur sehingga hasilnya dapat dipertanggungjawabkan.

Untuk itu, pelaksanaan penelitian dibagi dalam beberapa tahap, yaitu :

1. Tahap I

Disebut tahap persiapan. Pada tahap ini seluruh bahan dan peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian dipersiapkan terlebih dahulu agar penelitian dapat berjalan dengan lancar.

2. Tahap II

Disebut tahap uji bahan. Pada tahap ini dilakukan penelitian terhadap agregat kasar, agregat halus dan serat tali beneser yang akan digunakan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui sifat dan karakteristik bahan tersebut. Selain itu untuk mengetahui apakah agregat kasar maupun halus tersebut memenuhi persyaratan atau tidak. Hasil dari pengujian ini, juga digunakan sebagai data rancang campur adukan beton.

3. Tahap III

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

- a. Penetapan campuran adukan beton.
- b. Pembuatan adukan beton.
- c. Pemeriksaan nilai *slump* dan *VB-Time*
- d. Pembuatan benda uji.

4. Tahap IV

Disebut tahap perawatan (*curing*). Pada tahap ini dilakukan perawatan terhadap benda uji yang telah dibuat pada tahap III. Perawatan ini dilakukan dengan cara merendam benda uji pada hari kedua selama 7 hari, kemudian dikeluarkan dari air dan ditutup dengan karung goni yang setiap harinya

disiram air. Perawatan ini dilakukan sampai benda uji berumur 21 hari. Dan kemudian beton diangin-anginkan selama 7 hari atau sampai benda uji berumur 28 hari. Dan diadakan pengujian beton pada umur 28 hari.

5. Tahap V

Disebut tahapan pengujian. Pada tahap ini dilakukan pengujian kuat desak dan kuat tarik belah beton pada umur 28 hari, yang dilanjutkan dengan analisa data. Pengujian kuat desak dan kuat tarik belah beton dengan menggunakan mesin desak (*Compression Testing Machine*) merek “Controls” dengan kapasitas 2000 kN.

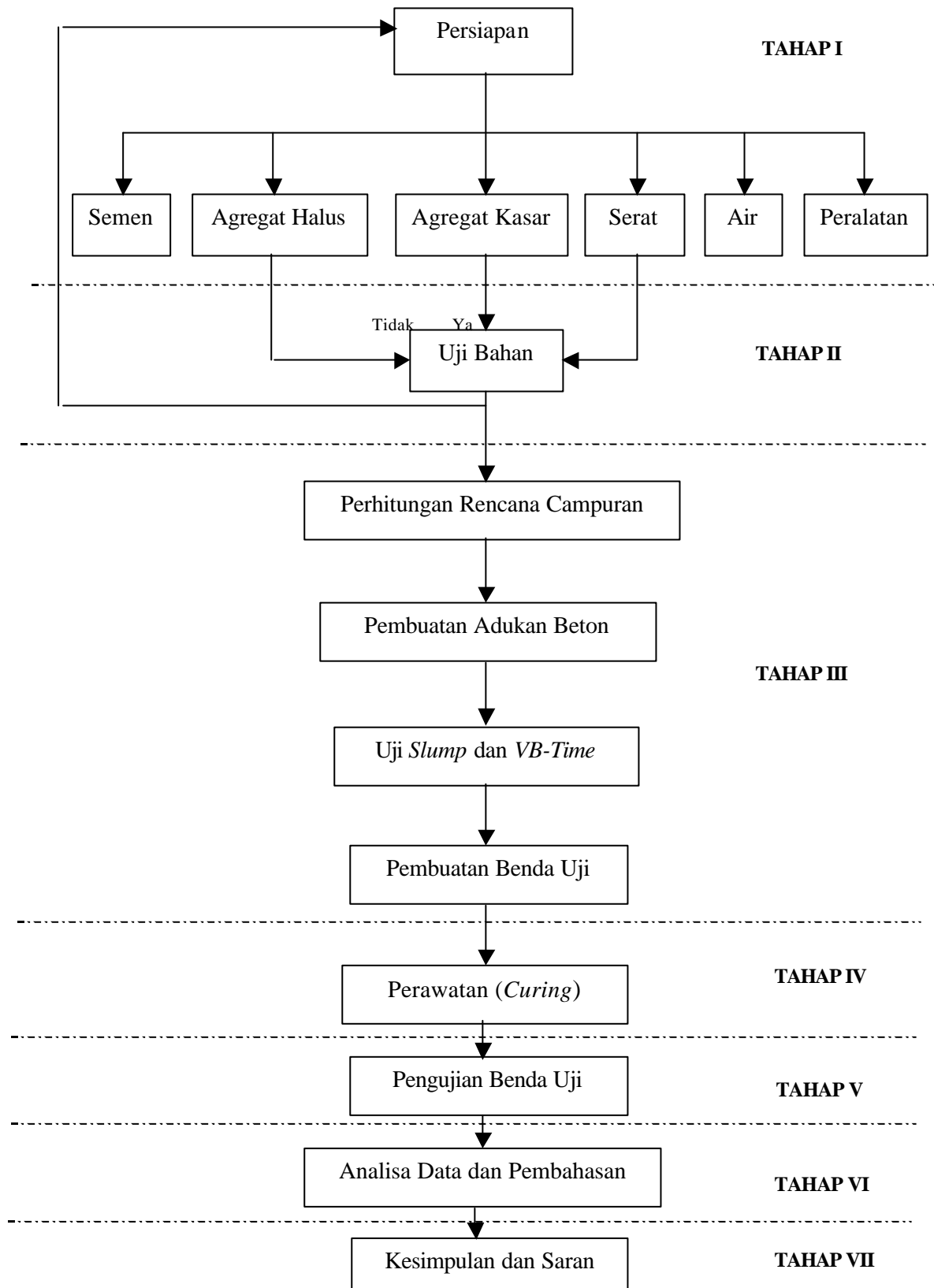
6. Tahap VI

Disebut tahap analisis data. Pada tahap ini, data yang diperoleh dari hasil pengujian dianalisis untuk mendapatkan hubungan antara variabel-variabel yang diteliti dalam penelitian.

7. Tahap VII

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

Tahap penelitian ini dapat dilihat secara skematis dalam bentuk bagan alir pada Gambar 3.1 berikut ini :



Gambar 3.1 Bagan Alir Tahap-Tahap Metodologi Penelitian

D. Standar Penelitian dan Spesifikasi Bahan Dasar

Pengujian bahan-bahan pembentuk beton dilakukan untuk mengetahui sifat dan karakteristik dari material pembentuk. Pengujian dilakukan terhadap agregat halus dan agregat kasar, sedangkan air yang digunakan sesuai dengan spesifikasi standar air dalam PBI 1971 pasal 3.6.

1. Agregat Halus

Pengujian untuk agregat halus dilaksanakan berdasarkan standar ASTM dan disesuaikan dengan spesifikasi bahan menurut ASTM dan PBI 1971. Standar pengujian terhadap agregat halus adalah sebagai berikut :

- a. ASTM C-40 : Standar penelitian untuk pengujian kotoran organik dalam agregat halus.
- b. ASTM C-117 : Standar penelitian untuk pengujian agregat yang lolos saringan no. 200 dengan pencucian (tes kandungan lumpur).
- c. ASTM C-128 : Standar penelitian untuk menentukan *specific gravity* dari agregat halus.
- d. ASTM C-136 : Standar penelitian untuk analisis saringan agregat halus.

Spesifikasi untuk agregat halus adalah sebagai berikut :

- a. ASTM C-33 : Spesifikasi standar untuk agregat halus.
- b. PBI 1971 : Spesifikasi standar untuk agregat halus.

2. Agregat Kasar

Pengujian untuk agregat kasar dilaksanakan berdasarkan standar ASTM dan disesuaikan dengan spesifikasi bahan menurut ASTM dan PBI 1971. Standar pengujian terhadap agregat kasar adalah sebagai berikut :

- a. ASTM C-127 : Standar penelitian untuk menentukan specific gravity dari agregat kasar.
- b. ASTM C-131 : Standar penelitian untuk pengujian keusan agregat kasar.
- c. ASTM C-136 : Standar penelitian untuk analisa saringan agregat kasar.
- d. ASTM C-566 : Standar penelitian untuk pengujian kadar air.

Spesifikasi untuk agregat kasar adalah sebagai berikut :

- a. ASTM C-33 : Spesifikasi standar untuk agregat kasar.
- b. PBI 1971 : Spesifikasi standar untuk agregat kasar.

3. Serat Tali Beneser

Pengujian terhadap kuat tarik serat tali beneser dilakukan di Bagian Teknik Produksi PT SOLO BAG Karanganyar. Pengujian dilakukan dengan alat uji kuat tarik benang Digital Strength Meter Test merek “Nikitas” buatan Eropa. Selain itu juga dicari perpanjangan/mulur serat setelah diuji tarik.

E. Alat-alat yang Digunakan

Penelitian ini menggunakan alat-alat yang tersedia di Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Alat-alat yang dipakai adalah sebagai berikut :

1. Timbangan

Timbangan yang dipakai ada dua jenis dalam penelitian ini, yaitu :

- a. Neraca merek “ Murayama Seisakusho Ltd Japan”, kapasitas 5 kg, ketelitian sampai 0,10 gram, digunakan untuk mengukur berat material yang berada dibawah kapasitasnya.
- b. Timbangan “Bascule” merek DSN Bola Dunia, kapasitas 150 kg dengan ketelitian sampai 0,1 kg, digunakan untuk mengukur berat benda uji dan material sesuai dengan kapasitasnya.

2. Oven

Oven merek “*Memmert*” West Germany dengan temperatur maksimum 2200°C, daya listrik 1500 W, digunakan untuk mengeringkan material (pasir, kerikil).

3. Ayakan

Ayakan baja yang digunakan adalah merek “*Controls*”, Italy, bentuk lubang ayakan adalah bujur sangkar dengan ukuran yang tersedia adalah 50 mm, 38,1 mm, 25 mm, 19 mm, 12,5 mm, 4,75 mm, 1,18 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm dan pan.

4. Mesin penggetar ayakan

Mesin penggetar ayakan yang digunakan adalah mesin penggetar dengan merek “*Controls*”, *Italy*, mesin ini digunakan sebagai dudukan sekaligus penggetar ayakan. Penggunaan pada waktu uji gradasi (*sieve analysis*) baik untuk agregat halus maupun agregat kasar.

5. Corong konik/*Conical Mould*

Corong konik/*Conical Mould* dengan ukuran diameter atas 3,8 cm, diameter bawah 8,9 cm, tinggi 7,6 cm, lengkap dengan alat penumbuk. Alat ini digunakan untuk mengukur keadaan SSD (*Saturated Surface Dry*), agregat halus pasir.

6. Kerucut Abrams

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

7. Meja Getar

Meja getar merek “*Hitachi*” digunakan untuk mengetahui kelecakan adukan beton yang hasilnya berupa VB-*time* dalam satuan detik.

8. Mesin Uji Desak (*Compression Testing Machine*)

Mesin Desak merek “*Controls*” dengan kapasitas 2000 kN yang digunakan untuk pengujian kuat desak dan kuat tarik belah benda uji beton.

9. Seperangkat alat uji berat jenis serat.

Terdiri dari dua buah cawan lebar, satu buah mangkuk kecil dan air raksa.

10. Mesin *Los Angelos*

Mesin *Los Angelos* merek “*Controls*” Italy, yang dilengkapi dengan 12 bola baja. Alat ini digunakan untuk menguji ketahanan aus (Abrasi) agregat kasar.

11. Molen

Molen yang digunakan berkapasitas 120 liter dan bertenaga dinamo listrik sebesar 1500 rpm.

12. Cetakan benda uji

Benda uji dalam penelitian berbentuk silinder, sehingga cetakannya pun berbentuk silinder baja dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

13. Alat Bantu

Untuk memperlancar dan mempermudah pelaksanaan penelitian, digunakan beberapa alat bantu antara lain :

- a. *Vibrator* untuk pemadatan pada waktu pembuatan benda uji.
- b. Cetok semen, digunakan untuk memindahkan bahan batuan dan memasukkan campuran beton kedalam cetakan silinder beton.
- c. Gelas ukur berkapasitas 250 ml digunakan untuk meneliti kandungan zat organik dan kandungan lumpur dalam agregat halus.
- d. Pengukur waktu.
- e. Ember untuk tempat air.
- f. Alat pemotong, digunakan gunting untuk memotong serat.

14. Mesin Uji Kuat Tarik Tali (*Digital Strength Meter*)

Untuk mengukur kuat tarik tali beneser digunakan alat *Digital Strength Meter* merek “*Nikitas*” buatan Eropa yang ada di PT Solo Bag, Karanganyar.

F. Pengujian Bahan Dasar Beton

Untuk mengetahui sifat dan karakteristik dari material pembentuk beton, maka dalam penelitian ini dilakukan pengujian terhadap bahan-bahan pembentuk beton. Pengujian ini hanya dilakukan terhadap agregat kasar, agregat halus, dan serat tali beneser. sedangkan air dan semen yang digunakan telah sesuai dengan spesifikasi standar dalam PBI NI 1971 pasal 3.6.

1. Agregat Halus

a. Pengujian kadar lumpur agregat halus

Pasir adalah salah satu bahan dasar beton sebagai agregat halus. Pasir yang digunakan dalam pembuatan beton harus memenuhi beberapa persyaratan, salah satunya adalah pasir harus bersih. Pasir bersih yaitu pasir yang tidak mengandung lumpur lebih dari 5 % dari berat keringnya. Lumpur adalah bagian pasir yang lolos dari ayakan 0,063 mm. Apabila kadar Lumpur lebih dari 5 % maka pasir harus dicuci terlebih dahulu. Syarat-syarat agregat halus harus sesuai dengan PBI NI-2,1971.

1). Tujuan :

Untuk mengetahui kadar lumpur yang terkandung dalam pasir.

2). Alat dan bahan :

a). Pasir kering oven

b). Air bersih

- c). Gelas ukur 250 cc
- d). Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu
- e). Timbangan

3). Cara kerja :

- a). Mengambil pasir sebanyak 250 gram.
- b). Mengeringkan pasir dalam oven dengan temperatur 110° C selama 24 jam.
- c). Mengambil pasir kering 100 gram lalu dimasukkan ke dalam gelas ukur 250 cc.
- d). Menuangkan air ke dalam gelas ukur hingga setinggi 12 cm di atas permukaan pasir.
- e). Mengocok air dan pasir minimal 10 kali lalu membuang airnya.
- f). Mengulangi langkah 5 hingga air dalam gelas tampak jernih.
- g). Memasukkan pasir ke dalam cawan lalu mengeringkannya dalam oven dengan temperatur 110° C selama 24 jam.
- h). Setelah selesai, cawan dikeluarkan dan diangin-anginkan hingga mencapai suhu kamar.
- i). Menimbang pasir dalam cawan.
- j). Berat pasir awal $G_o = 100$ gram, berat pasir akhir = G_1

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{G_o - G_1}{G_o} \times 100\% \quad (3.1)$$

- k). Membandingkan dengan persyaratan PBI NI-2 1971, yaitu kadar lumpur maksimum 5 %. Bila lebih dari 5% maka sebelum digunakan pasir harus dicuci terlebih dahulu.

b. Pengujian kadar zat organik dalam agregat halus

Pasir umumnya diambil dari sungai, maka kemungkinan pasir kotor sangat besar, misalnya bercampur dengan lumpur maupun zat organik lainnya. Pasir sebagai agregat halus dalam adukan beton tidak boleh mengandung zat organik terlalu banyak karena akan mengurangi kekuatan beton yang dihasilkan. Kandungan zat organik ini dapat dilihat dari percobaan warna *Abrams Harder* dengan menggunakan larutan NaOH 3% sesuai dengan PBI NI-2, 1971.

1). Tujuan

Untuk mengetahui kadar zat organik dalam pasir berdasarkan tabel perubahan warna (tabel 3.2).

Tabel 3.2. Tabel perubahan warna

Warna	Penurunan kekuatan
Jernih	0 %
Kuning muda	0 % - 10 %
Kuning tua	10 % - 20 %
Kuning kemerahan	20 % - 30 %
Coklat kemerahan	30 % - 50 %
Coklat tua	50 % - 100 %

(Sumber : Roosseno, 1954)

2). Alat dan bahan :

- a). Pasir kering oven.
- b). Larutan NaOH 3%
- c). Gelas ukur 250 cc.

3). Cara kerja :

- a). Mengambil pasir sebanyak 130 cc yang telah dioven, dan memasukkannya ke dalam gelas ukur.
- b). Menuangkan NaOH 3 % hingga volume mencapai 200 cc.
- c). Mengocok selama 10 menit.
- d). Meletakkan campuran tersebut pada tempat terlindung selama 24 jam.
- e). Mengamati warna air yang ada pada gelas ukur, lalu membandingkan warna hasil pengamatan dengan warna pada tabel 3.2.

c. Pengujian *specific gravity* agregat halus

Mengetahui sifat-sifat bahan bangunan yang akan dicapai dalam suatu konstruksi adalah sangat penting karena dengan sifat-sifat tersebut dapat ditentukan langkah-langkah yang tepat untuk mengerjakan bangunan tersebut. Berat jenis merupakan salah satu variabel yang sangat penting dalam merencanakan campuran adukan beton, karena dengan mengetahui variabel tersebut dapat dihitung volume pasir yang diperlukan.

1). Tujuan :

- a). Untuk mengetahui *bulk specific gravity*, yaitu perbandingan antara berat pasir dalam kondisi kering dengan volume pasir total.
- b). Untuk mengetahui *bulk specific gravity SSD*, yaitu perbandingan antara berat pasir jenuh dalam kondisi kering permukaan dengan volume pasir total.

- c). Untuk mengetahui *apparent specific gravity*, yaitu perbandingan antara berat pasir kering dengan volume butir pasir.
- d). Untuk mengetahui daya serap air (*absorbtion*), yaitu perbandingan antara berat air yang diserap dengan berat pasir kering.

2). Alat dan bahan :

- a). Cawan Alumunium.
- b). *Volumetric flash*.
- c). *Conical mould*.
- d). Neraca.
- e). Pasir kering oven.

3). Cara kerja :

- a). Menyiapkan pasir kering oven dalam kondisi SSD (*saturated surface dry*).
- b). Pengamatan pasir kering oven dalam kondisi SSD dengan langkah-langkah sebagai berikut :
 - i. Pasir dimasukkan ke dalam *conical mould* 1/3 bagian lalu ditumbuk 10 kali.
 - ii. Pasir ditambah lagi hingga 2/3 bagian lalu ditumbuk 10 kali.
 - iii. Pasir ditambah hingga penuh lalu ditumbuk 10 kali.
 - iv. Mengangkat *conical mould* lalu mengukur penurunan pasir yang terjadi. Pasir berada dalam kondisi SSD apabila penurunan yang teradi sebesar 1/3 tinggi *conical mould*.

- c). Mengambil pasir dalam kondisi SSD sebanyak 500 gram dan memasukkannya ke dalam *volumetric flash* dan direndam dalam air selama 24 jam.
- d). Menimbang berat *volumetric flash* + air + pasir (c).
- e). Mengeluarkan pasir dari *volumetric flash* lalu menimbang *volumetric flash* + air (b).
- f). Mengeringkan pasir dalam oven selama 24 jam.
- g). Menimbang pasir yang telah kering oven (a).
- h). Menganalisa hasil pengujian dengan rumus-rumus sebagai berikut :

$$\text{Bulk Specific gravity} : \frac{a}{b + 500 - c} \quad (3.2)$$

$$\text{Bulk Specific gravity SSD} : \frac{500}{b + 500 - c} \quad (3.3)$$

$$\text{Apparent Specific gravity} : \frac{a}{b + a - c} \quad (3.4)$$

$$\text{Absorbtion} : \frac{500 - a}{a} \times 100 \% \quad (3.5)$$

dengan :

a = Berat pasir kering oven (gr)

b = Berat *volumetric flash* + air (gr)

c = Berat *volumetric flash* + air + pasir (gr)

d. Pengujian gradasi agregat halus

Gradasi dan keseragaman diameter pasir sebagai agregat halus lebih diperhitungkan daripada agregat kasar, karena sangat menentukan sifat pengerjaan

dan sifat kohesi campuran adukan beton. Selain itu pasir sangat menentukan pemakaian semen dalam pembuatan beton.

1). Tujuan :

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui variasi ukuran butiran pasir, prosentase dan modulus kehalusannya.

2). Alat dan bahan :

- a). Satu set ayakan dengan susunan diameter lubang 9,5 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,60 mm, 0,30 mm, 0,15 mm dan panci penampungan (pan).
- b). Mesin penggetar.
- c). Neraca.
- d). Pasir kering oven sebanyak 3000 gram.

3). Cara kerja :

- a). Menyiapkan pasir yang telah dioven sebanyak 3000 gram.
- b). Memasang ayakan dengan susunan sesuai dengan urutan besar diameter lubang dan yang terbawah adalah pan.
- c). Memasukkan pasir kedalam ayakan teratas kemudian ditutup rapat.
- d). Memasang susunan ayakan tersebut pada mesin penggetar dan digetarkan selama 5 menit, kemudian mengambil susunan ayakan tersebut.
- e). Memindahkan pasir yang tertinggal dalam masing-masing ayakan ke dalam cawan lalu ditimbang.
- f). Menghitung prosentase berat pasir tertinggal pada masing-masing ayakan.
- g). Menghitung modulus kehalusan dengan menggunakan rumus

$$\text{Modulus kehalusan pasir} = \frac{a}{b}$$

Dengan : $a = \text{Ó prosentase komulatif berat pasir yang tertinggal selain}$
 dalam pan

$b = \text{Ó prosentase berat pasir yang tertinggal}$

e. Pengujian kadar air agregat halus

Kondisi agregat halus dalam rancang campur beton (*mix design*) adalah SSD (*Saturated Surface Dry*). Tetapi dalam pelaksanaan pembuatan adukan, kondisi dari agregat halus mungkin bukan dalam SSD. Oleh karena itu perlu diketahui kadar air dari agregat halus tersebut sebagai koreksi perbandingan rancang campur.

1). Tujuan :

Untuk mengetahui perbandingan antara berat air terhadap berat kering butir pasir

2). Alat dan bahan :

- a). Neraca
- b). Cawan
- c). Oven
- d). Pasir

3). Cara kerja :

- a). Menimbang cawan dan memberi nomor.
- b). Mengambil benda uji dan memasukkan dalam cawan lalu menimbang pasir dalam cawan (a).

- c). Mengeringkan pasir dalam oven selama 24 jam pada suhu 110 °C.
- d). Mengeluarkan pasir dari oven dan mengangin-anginkannya kemudian menimbang pasir yang telah kering oven tersebut (b).
- e). Menghitung kadar air pasir :

$$\text{Kadar air} : \frac{(a - b)}{b} \times 100\% \quad (3.7)$$

2. Agregat Kasar

a. Pengujian *specific gravity* agregat kasar.

Mengetahui sifat-sifat bahan bangunan yang akan dicapai dalam suatu konstruksi adalah sangat penting karena dengan sifat-sifat tersebut dapat ditentukan langkah-langkah yang tepat untuk mengerjakan bangunan tersebut. Berat jenis merupakan salah satu variabel yang sangat penting dalam merencanakan campuran adukan beton, karena dengan mengetahui variabel tersebut dapat dihitung volume kerikil yang diperlukan.

1). Tujuan :

Pengujian *specific gravity* agregat kasar yang dalam penelitian ini menggunakan kerikil dengan ukuran diameter maksimum 20 mm, bertujuan :

- a). Untuk mengetahui *bulk specific gravity*, yaitu perbandingan antara berat kerikil dalam kondisi kering dengan volume kerikil total.
- b). Untuk mengetahui *bulk specific gravity SSD*, yaitu perbandingan antara berat kerikil jenuh dalam kondisi kering permukaan dengan volume kerikil total.

- c). Untuk mengetahui *apparent specific gravity*, yaitu perbandingan antara berat kerikil kondisi kering dengan selisih antara berat butiran pada kondisi kering dengan berat dalam air .
- d). Untuk mengetahui daya serap air (*absorbtion*), yaitu perbandingan antara berat air yang diserap oleh kerikil jenuh dalam kondisi kering permukaan dengan berat kerikil kering.

2). Alat dan bahan :

- a). Oven
- b). Bejana dan kontainer.
- c). Neraca.
- d). Kerikil.
- e). Air.

3). Cara kerja :

- a). Mencuci kerikil lalu dimasukkan dalam oven dengan suhu 110 °C selama 24 jam.
- b). Mengambil kerikil kering lalu ditimbang sebanyak 3000 gram dan didiamkan hingga mencapai suhu ruang (a)
- c). Merendam kerikil dalam air selama 24 jam, lalu dikeringkan dengan kain lap agar permukaan kerikil kering, lalu menimbang kerikil tersebut (b).
- d). Memasang kontainer pada neraca, lalu menuangkan air dalam bejana hingga kontainer terendam seluruhnya dan mengatur posisi agar neraca seimbang.
- e). Memasukkan kerikil dalam kontainer hingga seluruhnya terendam air.

f). Menimbang kerikil tersebut (c).

g). Menganalisa hasil pengujian dengan rumus-rumus sebagai berikut :

$$\text{Bulk Specific gravity} : \frac{a}{b - c} \quad (3.8)$$

$$\text{Bulk Specific gravity SSD} : \frac{b}{b - c} \quad (3.9)$$

$$\text{Apparent Specific gravity} : \frac{a}{a - c} \quad (3.10)$$

$$\text{Absorbtion} : \frac{b - a}{a} \times 100 \% \quad (3.11)$$

dengan :

a = Berat kerikil kering oven (gr)

b = Berat kerikil kondisi SSD (gr)

c = Berat kerikil dalam air (gr)

b. Pengujian gradasi agregat kasar

Gradasi dan keseragaman diameter agregat kasar sangat penting untuk diketahui, karena sangat menentukan sifat pengerjaan dan sifat kohesi campuran adukan beton. Selain itu jumlah kerikil sangat menentukan pemakaian semen dalam pembuatan beton.

1). Tujuan :

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui variasi ukuran butiran kerikil, prosentase dan modulus kehalusannya.

2). Alat dan bahan :

- a). Satu set ayakan dengan susunan diameter lubang 50 mm, 38,1 mm, 25,4 mm, 19,0 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 4,75 mm 2,36 mm, 1,18 mm, 0,85 mm dan panci penampungan (pan).
- b). Mesin penggetar.
- c). Neraca.
- d). Kerikil kering oven sebanyak 3000 gram.

3). Cara kerja :

- a). Menyiapkan kerikil yang telah dioven sebanyak 3000 gram.
- b). Memasang ayakan dengan susunan sesuai dengan urutan besar diameter lubang dan yang terbawah adalah pan.
- c). Memasukkan kerikil kedalam ayakan teratas kemudian ditutup rapat.
- d). Memasang susunan ayakan tersebut pada mesin penggetar dan digetarkan selama 5 menit, kemudian mengambil susunan ayakan tersebut.
- e). Memindahkan kerikil yang tertinggal dalam masing-masing ayakan ke dalam cawan lalu ditimbang.
- f). Menghitung prosentase berat kerikil tertinggal pada masing-masing ayakan.
- g). Menghitung modulus kehalusan dengan menggunakan rumus :

$$\text{Modulus kehalusan pasir} = \frac{a}{b} \quad (3.12)$$

Dengan : $a = \sum$ prosentase komulatif berat kerikil yang tertinggal
selain dalam pan

$b = \sum$ prosentase berat kerikil yang tertinggal

c. Pengujian abrasi agregat kasar

Agregat kasar harus tahan terhadap gaya aus gesek, bagian yang hilang karena gesekan tidak boleh lebih dari 50 %.

1). Tujuan :

Untuk mengetahui daya tahan agregat terhadap gesekan.

2). Alat dan bahan :

- a). Bejana *Los Angelos* dan bola-bola baja.
- b). Ayakan.
- c). Neraca.
- d). Kerikil.

3). Cara kerja :

- a). Menyiapkan agregat kasar dengan diameter dan berat yang sesuai dengan susunan butir contoh yang telah diuji, jumlah bola baja yang digunakan dan jumlah putaran mesin penguji sesuai dengan SII.0087.75.
- b). Mencuci kerikil lalu dioven dengan suhu 110°C selama 24 jam, kemudian ditimbang sebanyak 10.000 gram (a).
- c). Memasukkan benda uji ke dalam bejana *Los Angelos* bersama bola baja sebanyak 11 buah (untuk agregat 10-20 mm), lalu bejana ditutup dan diputar dengan kecepatan putaran 30-33 putaran per menit sebanyak 500 putaran.
- d). mengeluarkan benda uji kemudian disaring dengan ayakan 2,36 mm, sisa benda uji diatas ayakan 2,36 mm dicuci dan dioven dengan suhu 110°C selama 24 jam.

- e). Menimbang benda uji sisa kering oven (b).
- f). Menganalisa prosentase berat benda uji yang hilang dengan rumus :

$$\text{Prosentase berat yang hilang} = \frac{(a - b)}{a} \times 100 \% \quad (3.13)$$

d. Pengujian kadar air agregat kasar

Kondisi agregat kasar dalam rancang campur beton (*mix design*) adalah SSD (*Saturated Surface Dry*). Tetapi dalam pelaksanaan pembuatan adukan, kondisi dari agregat kasar mungkin bukan dalam SSD. Oleh karena itu perlu diketahui kadar air dari agregat kasar tersebut sebagai koreksi perbandingan rancang campur.

1). Tujuan :

Untuk mengetahui perbandingan antara berat air terhadap berat kering butir kerikil.

2). Alat dan bahan :

- a). Neraca
- b). Cawan
- c). Oven
- d). Kerikil

3). Cara kerja :

- a). Menimbang cawan dan memberi nomor.
- b). Mengambil benda uji dan memasukkan dalam cawan lalu menimbang kerikil dalam cawan (a).
- c). Mengeringkan kerikil dalam oven selama 24 jam pada suhu 110 °C.

d). Mengeluarkan kerikil dalam oven dan mengangin-anginkannya kemudian menimbang kerikil yang telah kering oven tersebut (b).

e). Menghitung kadar air kerikil :

$$\text{Kadar air} : \frac{(a - b)}{b} \times 100\% \quad (3.14)$$

3. Serat Tali Beneser

a. Berat jenis tali beneser

Dalam merencanakan tali beneser sebagai serat untuk bahan tambahan di dalam campuran adukan beton sangat diperlukan data berat jenisnya. Hal ini diperlukan untuk mengetahui seberapa banyak serat yang perlu ditambahkan ke dalam adukan beton sesuai dengan prosentase (*Volume fraction*) yang telah ditentukan terlebih dahulu.

1). Tujuan :

Untuk mengetahui berat jenis tali beneser.

2). Alat dan bahan :

- a). Cawan
- b). Mangkuk kecil
- c). Neraca Ohaus
- d). Air raksa
- e). Tali beneser

3). Cara kerja :

- a). Tali beneser dipotong kecil (± 3 cm) atau lebih kecil dari diameter mangkuk kemudian ditimbang (a).

- b). Air raksa dimasukkan ke dalam mangkuk dan diratakan dengan cawan yang berpermukaan rata. Perataan ini dilakukan diatas satu cawan sehingga tumpahan raksa masuk ke dalam cawan tersebut.
- c). Tali dimasukkan di atas air raksa dan diratakan kembali dengan cawan.
- d). Air raksa yang tumpah akibat perataan ditimbang (b).
- e). Karena berat jenis air raksa sudah diketahui maka berat jenis tali beneser dapat dihitung dengan rumus :

$$Bj \text{ tali beneser } (\text{gr/cm}^3) = \frac{a}{b} \times 13,6 \quad (3.15)$$

b. Kuat Tarik Tali Beneser

Kuat tarik tali beneser perlu diteliti untuk mengetahui kekuatan dari tali tersebut. Kuat tarik yang terukur pada uji ini adalah kuat tarik tali secara tunggal, dengan panjang 25 cm dan ukuran tampang melintang 1,5 mm x 0,58 mm.

1). Tujuan :

Untuk mengetahui kuat tarik tali beneser.

2). Alat dan bahan :

- a). Alat uji kuat tarik (*Digital Strength Meter Test*)
- b). Jangka sorong/penggaris
- c). Tali beneser

3). Cara kerja :

- a). Tali dipotong sesuai dengan ukuran yang diinginkan, yaitu panjang 25 cm dengan penambahan untuk pegangan alat uji sekitar 20 cm di masing-masing ujungnya dan ukuran tampang melintang 1,5 mm x 0,58 mm.

- b). Memasang bahan pada alat uji.
- c). Memulai pembebanan dengan penarikan.
- d). Membaca bacaan digital pada saat tali putus sebagai beban tarik yang diijinkan (P)
- e). Kuat tarik tali beneser dapat diketahui dengan menggunakan rumus :

$$\sigma = \frac{P}{a} \quad (3.16)$$

dimana : σ = Tegangan tarik yang terjadi (gram/mm²)

A = Luas penampang tali beneser (mm²)

P = Besarnya beban tarik yang diijinkan (gram)

G. Rencana Campuran Beton

Perancangan adukan beton dimaksudkan untuk mendapatkan kualitas beton yang baik. Dalam penelitian ini menggunakan perbandingan antara Semen : Pasir : Kerikil 1 : 2 : 3, serta nilai faktor air semen sebesar 0,6.

Penambahan serat dilakukan sedikit demi sedikit setelah semua bahan beton tercampur ke dalam molen beberapa saat guna menghindari penggumpalan serat, kemudian diteruskan penggilingan sedikitnya 10 menit agar serat dapat tercampur lebih merata (*Perumalsamy N.Balaguru, 1992 : 123*).

Perhitungan rencana campuran dilakukan dengan metode rancang campur beton serat dengan berbagai variasi *volume fraction* (Vf) 0 % (beton normal), 0,3%, 0,6%, 0,9%, 1,2%, 1,5%, 1,8% dan 2,1%. Perencanaan campuran beton

serat dapat dilakukan setelah hasil pengujian bahan dasar beton diperoleh. Data yang diperlukan dalam perencanaan campuran beton serat meliputi :

1. Faktor air semen
2. Volume serat / *Volume fraction*(Vf)
3. Diameter serat (d)
4. Diameter agregat kasar
5. Panjang serat (l)
6. Aspect ratio (l/d)
7. Specific gravity Air
8. Specific gravity Pasir SSD
9. Specific gravity Kerikil SSD
10. Specific gravity PC
11. Specific gravity serat

H. Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah pembuatan benda uji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pembuatan campuran adukan beton sesuai proporsi campuran hasil perhitungan beton serat
 - a. Menyiapkan bahan-bahan campuran adukan beton.
 - b. Menimbang masing-masing bahan sesuai rencana.
 - c. Memasukkan bahan-bahan tersebut ke dalam molen dan memutar molen sampai adukan tercampur dengan baik.
2. Penambahan serat tali beneser
 - a. Serat ditaburkan secara merata ke dalam *Concrete mixer* yang berputar dengan kecepatan normal.

- b. Penyebaran serat dilakukan dengan tangan.
- c. Jumlah serat yang ditambahkan sesuai dengan prosentase yang telah ditentukan.

3. Pemeriksaan nilai *slump* dan *VB-time* adukan beton

- a. Menyiapkan alat *Slump test* (kerucut Abrams) dan diletakkan diatas meja getar (*VB-test*), lalu adukan beton dimasukkan di dalamnya hingga 1/3 bagian, lalu dipadatkan dengan alat penumbuk sebanyak 20 kali.
- b. Menambahkan adukan sampai 2/3 bagian lalu ditumbuk 20 kali.
- c. Menambahkan adukan sampai penuh lalu ditumbuk sebanyak 20 kali lalu bagian atas diratakan.
- d. Setelah didiamkan selama satu menit kerucut *Abrams* diangkat lurus ke atas dan mengukur penurunan yang terjadi (nilai *Slump*).
- e. Hasil dari penarikan kerucut yang berupa adukan berbentuk kerucut terpancung ini digetarkan didalam kontainer di atas meja getar hingga permukaannya horisontal (rata).
- f. Waktu penggetaran yang diperlukan untuk proses tersebut dinamakan *V-B time*.

4. Pencetakan benda uji silinder

- a. Menyiapkan cetakan silinder
- b. Memasukkan adukan ke dalam hingga penuh sambil dipadatkan dengan *vibrator*.
- c. Setelah cetakan penuh dan padat, permukaan diratakan dan diberi kode sampel diatasnya kemudian dibiarkan selama 24 jam.

I. Perawatan Benda Uji (*Curing*)

Perawatan beton adalah suatu pekerjaan menjaga agar permukaan beton segar selalu lembab sejak adukan beton dipadatkan sampai beton dianggap cukup keras. Hal ini dimaksudkan untuk menjamin agar proses hidrasi dapat berlangsung dengan baik dan proses pengerasan terjadi dengan sempurna sehingga tidak terjadi retak-retak pada beton dan mutu beton dapat terjamin.

Perawatan ini dilakukan dengan cara merendam benda uji pada hari kedua selama 7 hari, kemudian dikeluarkan dari dalam air dan ditutup dengan karung goni yang setiap harinya disiram air. Perawatan ini dilakukan sampai benda uji berumur 21 hari. Kemudian beton diangin-anginkan selama 7 hari atau sampai benda uji berumur 28 hari dan diadakan pengujian beton pada umur ke-28 hari.

J. Uji Kuat Desak Beton

Kuat desak beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila diberi beban dengan gaya desak tertentu yang dihasilkan oleh mesin desak.

Pengujian kuat desak silinder beton dengan menggunakan mesin desak (*Compression Testing Machine*) merek “*Controls*” dengan kapasitas 2000 kN yang ada di Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UNS . Adapun langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut :

1. Semua silinder beton ditimbang beratnya dan dibersihkan permukaannya dari butiran kotoran.
2. Silinder beton dipasang pada mesin dengan arah pendesakannya.
3. Mesin dihidupkan, pendesakan dimulai terlihat jarum penunjuk pada manometer bergerak sesuai dengan besar pembebanannya.
4. Pada saat silinder beton hancur maka salah satu jarumnya akan kembali ke posisi nol, sedangkan jarum yang lain tetap menunjuk angka pembebanan maksimum dan hasilnya dicatat.

Untuk mendapatkan besaran kuat hancur dari benda uji tersebut dilakukan perhitungan berdasarkan SKSNI M-14-1989-F dengan rumus :

$$f'c = \frac{F}{A} \quad (3.17)$$

dimana $f'c$: Kuat desak benda uji (MPa)
 A : Luas permukaan benda uji (mm²)
 F : Beban desak maksimum (N)

K. Uji Kuat Tarik Belah Beton

Kuat tarik belah beton adalah nilai kuat tarik yang tidak langsung dari benda uji beton berbentuk silinder yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji desak.

Pengujian kuat tarik belah beton juga menggunakan mesin uji desak (*Compression Testing Machine*) merek “Controls” dengan kapasitas 2000 kN.

Langkah-langkah pengujian sama dengan uji kuat desak, tetapi silinder diletakkan pada alat pembebanan dengan posisi mendatar (rebah).

Gaya F bekerja pada kedua sisi silinder sepanjang l dan disebarluaskan seluas selimut silinder ($\phi.d.l$). Secara berangsur-angsur beban dinaikkan sehingga mencapai nilai maksimum dan silinder terbelah oleh gaya tarik horizontal.

Dari beban maksimal yang dapat diterima, kekuatan tarik belah dapat dihitung sebagai berikut :

$$f'_{ct} = \frac{2.F}{p.L.D} \quad (3.18)$$

dimana f'_{ct} : Kuat tarik belah (MPa)
 F : Beban maksimum (N)
 L : Panjang dari silinder (mm)
 D : Diameter silinder (mm)

L. Metodologi Pembahasan

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini diharapkan seragam dalam tiap kondisi pencampuran, namun hal ini tidaklah mungkin karena komposisi ukuran agregat halus dan kasar yang benar-benar seragam untuk tiap satuan isi sulit untuk dilaksanakan. Untuk itu perlu dilihat tentang keseragaman dari tiap kondisi pencampuran yang mewakili suatu karakter tertentu. Pengujian yang digunakan adalah uji normalitas metode *Liliefors*.

Penelitian ini membahas tentang pengaruh variasi prosentase penambahan serat tali beneser terhadap kuat desak dan kuat tarik belah silinder beton. Untuk

mengetahui bagaimana hubungan dan pengaruh variasi penambahan serat tali beneser terhadap kuat desak dan kuat tarik belah silinder beton tersebut digunakan metode statistika persamaan regresi non linier.

1. Uji Normalitas Metode *Liliefors*

Untuk menganalisis data-data suatu penelitian yang bersifat eksakta, digunakan uji normalitas metode Liliefors. Untuk membuktikan bahwa kelompok benda uji dari satu jenis terdiri dari populasi normal, maka ditempuh prosedur sebagai berikut :

- a. Pengamatan $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ dijadikan angka baku $z_1, z_2, z_3, \dots, z_n$ dengan menggunakan rumus :

$$z = \frac{x_i - \bar{x}}{s} \quad (3.19)$$

dengan \bar{x} dan s masing-masing merupakan rata-rata dan simpangan baku dari sampel.

- b. Untuk tiap angka baku ini dengan menggunakan daftar distribusi normal baku, kemudian dihitung peluang

$$F(z_1) = P(Z \leq z_1).$$

- c. Selanjutnya dihitung proporsi $z_1, z_2, z_3, \dots, z_n$ yang lebih kecil atau sama dengan z_1 . Jika proporsi ini dinyatakan oleh $S(z_1)$, maka

$$S(z_1) = \frac{\text{banyaknya } z_1, z_2, z_3, \dots, z_n \text{ yang } \leq z_1}{n} \quad (3.20)$$

- d. Hitung selisih $F(z_1) - S(z_1)$ kemudian ditentukan harga mutlaknya.

- e. Diambil harga yang paling besar antara harga-harga mutlak selisih tersebut (L_o). Untuk menolak atau menerima hipotesa, maka dibandingkan dengan harga L_o dengan nilai L kritis (L_{kr}) yang diperoleh dari tabel C.4. Hipotesa bahwa populasi berdistribusi normal dapat diterima apabila harga L_o yang diperoleh dari data pengamatan lebih kecil dari harga L_{kr} .

2. Analisis Regresi

Regresi adalah garis yang membentuk suatu fungsi yang menghubungkan titik-titik data dengan kedekatan semaksimal mungkin. Korelasi merupakan ukuran kecocokan suatu model regresi yang digunakan dengan data. Besarnya nilai korelasi dilambangkan dengan r . Apabila besarnya $r = 0$ berarti tidak ada kecocokan/hubungan sama sekali antara kedua variable data yang dianalisis, sebaliknya bila nilai $r = \pm 1$ maka kedua variabel data yang dianalisis terdapat hubungan (menggambarkan suatu garis trend).

Persamaan garis regresi mempunyai berbagai bentuk linier maupun non linier. Untuk menganalisa data pada penelitian ini dipilih bentuk persamaan yang mempunyai penyimpangan kuadrat mendekati $r = \pm 1$.

Terdapat banyak kurva non linier yang dapat digunakan untuk menyatakan hubungan antara dua variabel atau lebih, maka dalam analisis hasil suatu penelitian ditentukan terlebih dahulu kurva yang paling tepat untuk mengekspresikan data hasil penelitian. Penentuan pendekatan regresi ini didapat dari pengalaman maupun informasi dari berbagai sumber pustaka, kurva mana

yang paling logis dibandingkan dengan kurva yang lain. Dalam hal ini penentuan persamaan regresi dengan menggunakan program *Microsoft Excel*.

Dari analisa *regresi polinomial Microsoft Excel* didapatkan kurva hubungan antara variasi penambahan serat tali beneser terhadap kuat desak dan kuat tarik belah beton silinder. Dari kurva ini dapat diketahui nilai prosentase penambahan serat yang menghasilkan kuat desak dan kuat tarik belah beton yang maksimum. Pada analisa regresi ini, dibedakan menjadi dua jenis variabel, yaitu variabel bebas dan tak bebas. Variabel yang mudah didapat digolongkan sebagai variabel bebas (*independent variabel*), sedangkan variabel yang terjadi karena variabel bebas merupakan variabel tak bebas (*dependent variabel*). Pada penelitian ini, variabel bebas adalah variasi penambahan serat, sedangkan variabel tak bebas adalah besarnya kuat desak dan kuat tarik belah.

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Pengujian bahan dan benda uji dilaksanakan sesuai dengan tata cara dan standar pengujian yang terdapat pada bab sebelumnya. Waktu pelaksanaan percobaan disesuaikan dengan jadwal penelitian dan ijin penggunaan Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UNS.

Dalam bab ini akan disajikan hasil penelitian dan pembahasan terhadap hasil yang diperoleh. Sedangkan hasil pemeriksaan bahan dasar penyusun beton disajikan pada lampiran. Hasil dan perhitungan pemeriksaan agregat halus, agregat kasar, dan serat tali beneser disajikan dalam lampiran A.

A. Hasil Pengujian Agregat

1. Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian terhadap agregat halus yang dilaksanakan dalam penelitian ini meliputi pengujian kadar lumpur, kadar zat organik, *specific gravity* dan gradasi agregat halus. Hasil-hasil pengujian tersebut disajikan dalam tabel 4.1, sedangkan data-data pengujian disajikan dalam lampiran A.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Agregat Halus

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
Kandungan zat organik	Larutan NaOH 3% Berwarna jernih	Jernih atau kuning muda	Memenuhi syarat
Kandungan lumpur	2 %	Maksimum 5 %	Memenuhi syarat
<i>Bulk specific gravity</i>	2,4499	-	-
<i>Bulk specific gravity</i> SSD	2,5025	-	-
<i>Apparent specific</i> <i>gravity</i>	2,5858	-	-
<i>Absorbtion</i>	2,145 %	-	-
Modulus halus butir	3,036	2,3 – 3,1	Memenuhi syarat

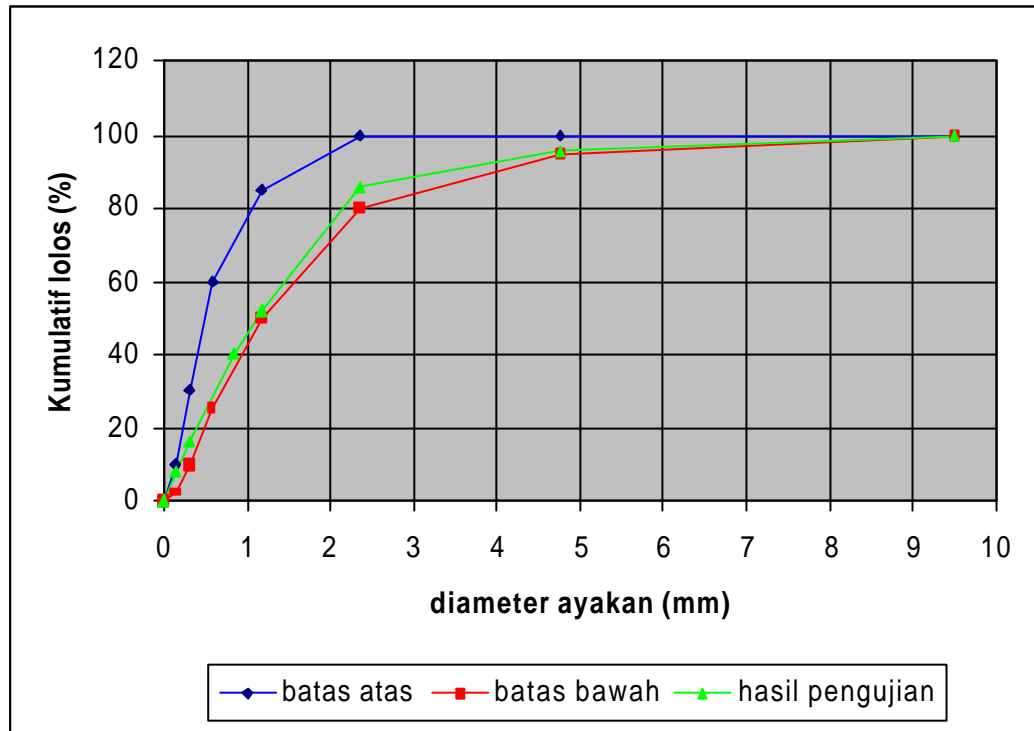
(Sumber : hasil penelitian)

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus

Ukuran ayakan (mm)	Tertahan			Lolos Komulatif (%)	Syarat ASTM C-33
	Berat (gr)	Prosentase (%)	Komulatif (%)		
9,5	0	0	0	100	100
4,75	140,2	4,688	4,688	95,312	95-100
2,36	297,1	9,934	14,622	85,378	80-100
1,18	994,1	33,241	47,863	52,137	50-85
0,85	371,7	12,429	60,292	39,708	-
0,6	-	-	-	-	25-60
0,3	710,5	23,758	84,050	15,950	10-30
0,15	239,3	8,002	92,052	7,948	2-10
Pan	237,7	7,948	100	0	0
Jumlah	2990,6	100	403,5678		

(Sumber : hasil penelitian)

Dari tabel gradasi agregat halus diatas dapat digambarkan grafik gradasi beserta batas gradasi yang disyaratkan oleh ASTM C-33 sebagai berikut :



Gambar 4.1 Grafik Daerah Susunan Butir Agregat Halus

2. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian terhadap agregat kasar *split* (batu pecah) yang dilaksanakan dalam penelitian ini meliputi pengujian berat jenis (*specific gravity*), keausan (abrasi) dan gradasi. Hasil-hasil pengujian tersebut disajikan dalam tabel 4.3, sedangkan data hasil pengujian secara lengkap disajikan dalam lampiran A.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
<i>Bulk specific gravity</i>	2,4056	-	-
<i>Bulk specific gravity</i> SSD	2,4951	-	-
<i>Apparent specific gravity</i>	2,6420	-	-
<i>Absorbtion</i>	3,72 %	-	
Abrasi	30 %	Maksimum 50 %	Memenuhi syarat
Modulus halus butir	6,0249	5 – 8	Memenuhi syarat

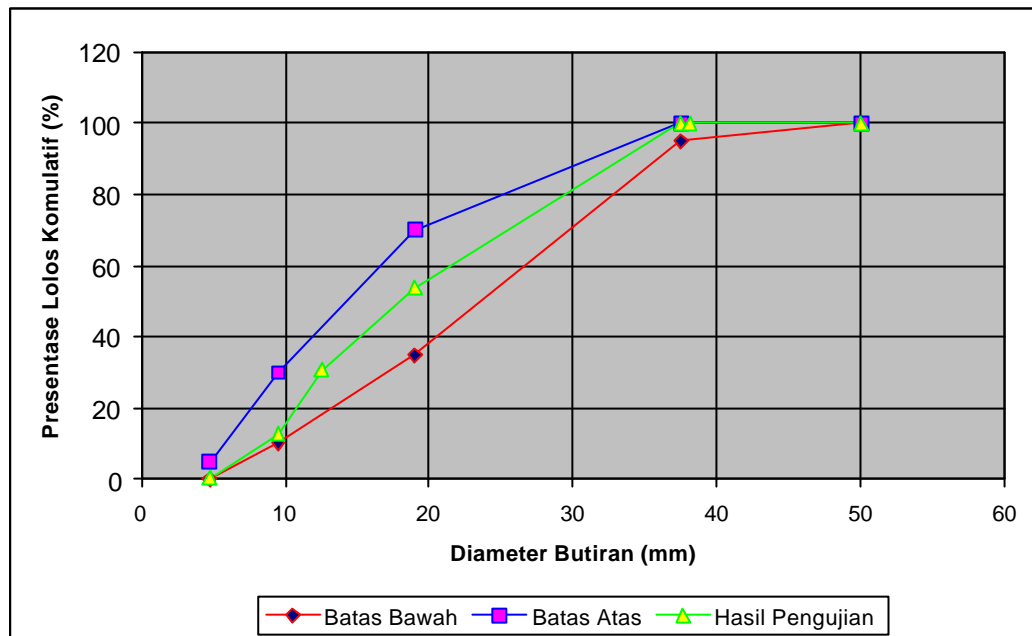
(Sumber : hasil penelitian)

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Gradasi Agregat Kasar

Ukuran ayakan (mm)	Tertahan			Lolos Komulatif (%)	Syarat ASTM C-33
	Berat (gr)	Prosentase (%)	Komulatif (%)		
50	-	-	-	-	-
38,1	-	-	-	-	-
37,5	-	-	-	100	95-100
25,4	-	-	-	-	-
19	1380	46,23	46,23	53,77	35-70
12,5	688,5	23,07	69,3	30,70	-
9,5	540,25	18,10	87,4	12,60	10-30
4,75	362,85	12,16	99,56	0,44	0-5
2,36	13,2	0,44	100	0	-
1,18	0	0	100	0	-
0,85	0	0	100	0	-
Pan	0	0	100	0	-
Jumlah	2984,8	100	702,49		

(Sumber : hasil penelitian)

Dari tabel gradasi agregat kasar diatas dapat digambarkan grafik gradasi beserta batas gradasi yang disyaratkan oleh ASTM C-33 sebagai berikut :



Gambar 4.2 Grafik Daerah Susunan Butir Agregat Kasar

B. Hasil Pengujian Serat Tali Beneser

Pengujian yang dilakukan terhadap serat tali beneser (*polypropylene strapping brand*) adalah pengujian berat jenis serat dan kuat tarik serat, sedangkan spesifikasi serat *polypropylene* secara umum diperoleh dari literatur.

Tabel 4.5 Data Spesifikasi Serat *Polypropylene*

Penyerapan Air	0 %
Specific Gravity	0,9
Panjang Serat	12, 19, 51 mm
Titik Leleh	160° C – 170° C

Titik Bakar	590 ° C
Kuat Tarik Leleh	560 – 770 MPa
Ketahanan Asam dan Garam	Tinggi
Konduktifitas Panas	Rendah
Konduktifitas Listrik	Rendah

(Sumber : *Master Building Technology (MBT) New Zeland, Australia, 1998*)

Hasil pengujian berat jenis serat tali beneser dapat dilihat pada tabel 4.6

sebagai berikut :

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Berat Jenis Serat tali Beneser

Simbol	Keterangan	Berat Tali Beneser (gr)				
		1	2	3	4	5
a	Berat serat yang dipotong-potong	0,2	0,2	0,19	0,18	0,2
b	Air raksa yang tumpah akibat perataan (gr)	3,83	4,43	3,91	4,24	4,38
Berat jenis (gr/cm^3)		0,7102	0,6140	0,6957	0,6415	0,6210
Rata – rata (gr/cm^3)		0,65647				

(Sumber : hasil penelitian)

Hasil pengujian kuat tarik serat tali beneser dapat dilihat pada tabel 4.7

sebagai berikut :

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Kuat Tarik Serat Tali Beneser

No	Beban Tarik (P)	$L_0 = 25 \text{ cm}$	Mulur (Elongation)
	(gram)	$H_1 \text{ (cm)}$	(%)
1	27000	8,5	1,360
2	38000	10,0	1,600
3	28000	9,0	1,440
4	38000	10,5	1,680
5	25000	8,0	1,280
6	25000	7,4	1,184
7	26000	7,9	1,264
8	31000	9,0	1,440
9	33000	9,5	1,520
10	35000	9,0	1,440
Rata-rata	30600		1,421

(Sumber :Bagian Teknik Produksi PT Solo Bag)

Dari hasil penelitian diatas, beban tarik rata-rata dibagi dengan luas penampang, yaitu $1,55053 \text{ mm}^2$ didapatkan kuat tarik serat 197,35 MPa

Volume serat yang ditambahkan ke dalam adukan beton sebesar 0,0 %, 0,3 %, 0,6 %, 0,9 %, 1,2 %, 1,5 %, 1,8 %, dan 2,1 % dari volume adukan. Serat yang ditambahkan berupa potongan-potongan serat dengan panjang 50 mm dan ukuran tampang 1.5 mm x 0.58 mm. Dengan berat jenis $656,468 \text{ kg/m}^3$, maka serat yang ditambahkan ke dalam tiap meter kubik beton berturut-turut adalah 0 kg, 0,0847 kg, 0,1694 kg, 0,2541 kg, 0,3387 kg, 0,4234 kg, 0,5081 kg, dan 0,5928 kg

C. Rencana Campuran Adukan Beton

Dalam penelitian ini perhitungan campuran adukan beton berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Bambang Suhendro yang memperhitungkan dimensi *Fiber aspect ratio* (l/d) dan *volume fraction* (V_f) dari serat yang ditambahkan. Perbandingan pasir : Kerikil adalah 2 : 3 dalam perbandingan berat dengan faktor air semen 0,6. Sedangkan proporsi serat yang digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran adukan beton ditentukan menurut persentase yang telah ditetapkan dan penambahan dilakukan berdasarkan volume beton.

Hasil perhitungan proporsi campuran adukan beton dapat dilihat pada tabel 4.8, sedangkan tahap-tahap dan tata cara perhitungan campuran adukan beton secara lengkap dapat dilihat pada lampiran B.

Tabel 4.8 Kebutuhan bahan dasar tiap perlakuan

Kel / Kode	Serat		Proporsi Campuran			
	Kadar (%)	Berat (gr)	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (lt)
I / D-TB0	0	0	17,7890	27,7509	41,6263	10,6734
II / D-TB3	0,3	84,6842	17,7357	27,6676	41,5014	10,6414
III / D-TB6	0,6	169,3727	17,6823	27,5844	41,3765	10,6094
IV / D-TB9	0,9	254,0526	17,6289	27,5011	41,2517	10,5773
V / D-TB12	0,12	338,7368	17,5755	27,4178	41,1268	10,5453
VI / D-TB15	0,15	423,4210	17,5222	27,3346	41,0019	10,5133
VII / D-TB18	0,18	508,1052	17,4688	27,2513	40,8770	10,4813
VIII / D-TB21	0,21	592,7894	17,4154	27,1681	40,7521	10,4493
JUMLAH		2371,162	140,8178	219,6758	329,5137	84,4907

(Sumber : hasil penelitian)

D. Data Hasil Pengujian

1. Nilai Slump dan VB-Time

Untuk menguji workabilitas adukan beton serat, pada penelitian ini digunakan 2 macam pengujian yaitu uji *slump* dan *VB-time*. Pengujian dilakukan pada tiap-tiap campuran adukan pada masing-masing variasi kadar serat. Kadar serat (V_f) yang ditambahkan sebesar 0,0 %, 0,3 %, 0,6 %, 0,9 %, 1,2 %, 1,5 %, 1,8 %, dan 2,1 %. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.9 dan 4.10 sebagai berikut:

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Nilai *Slump* Beton Serat Tali Beneser

Kadar Serat	Nilai <i>Slump</i> (mm)	Tingkat <i>Workabilitas</i>
0 %	180	Tinggi
0,3 %	125	Tinggi
0,6 %	95	Sedang-Tinggi
0,9 %	75	Sedang-Tinggi
1,2 %	65	Sedang-Tinggi
1,5 %	30	Rendah-Sedang
1,8 %	10	Sangat-Rendah
2,1 %	5	Sangat-Rendah

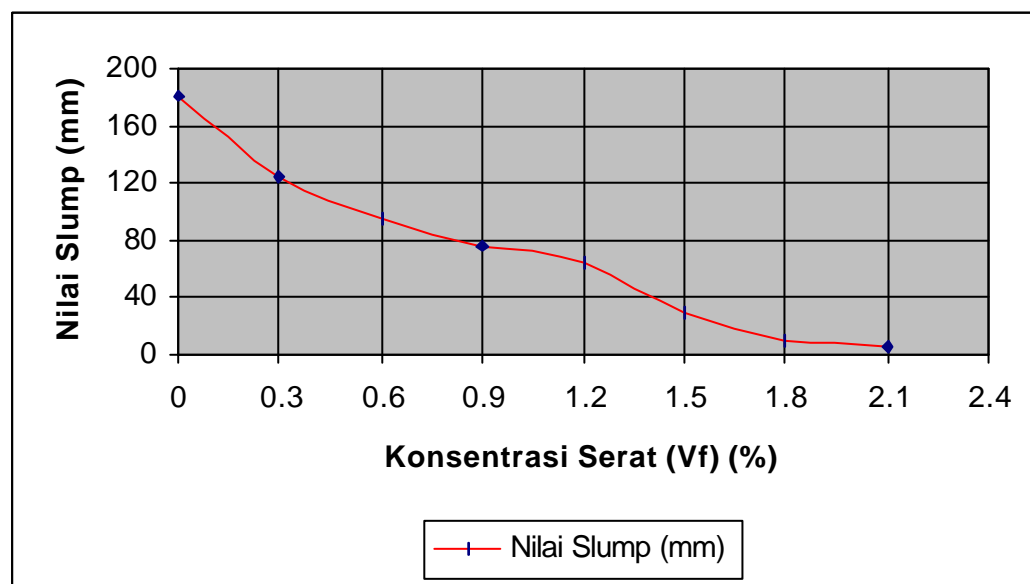
(Sumber : hasil penelitian)

Tabel 4.10 Hasil Pengujian *VB-Time* Beton Serat Tali Beneser

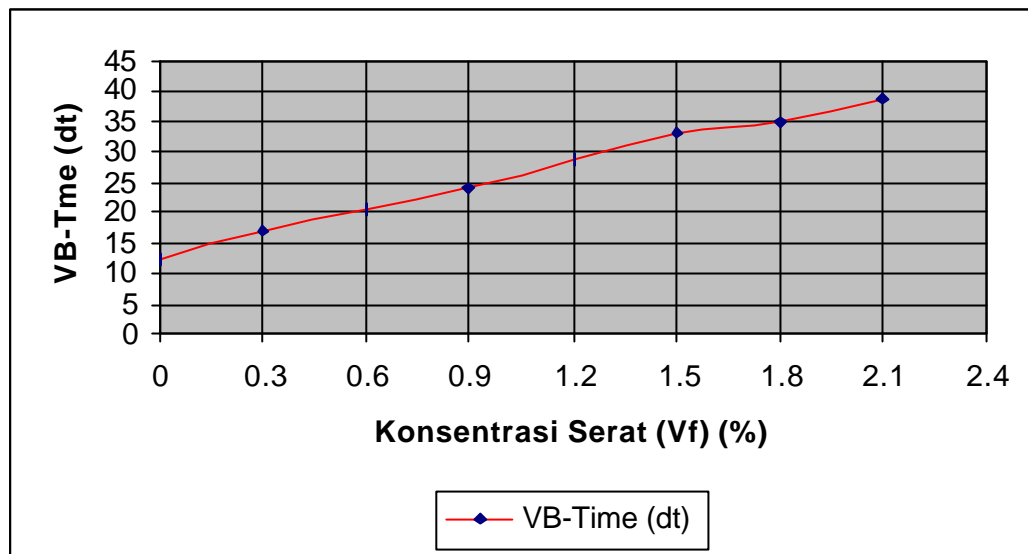
Kadar Serat	Nilai <i>VB-Time</i> (dt)
0 %	12,13
0,3 %	17,25
0,6 %	20,49
0,9 %	24,17
1,2 %	29,05
1,5 %	33,22
1,8 %	35,15
2,1 %	39,09

(Sumber : hasil penelitian)

Dari data pada tabel 4.9 dan 4.10 dapat dibuat grafik yang menunjukkan hubungan antara konsentrasi serat (V_f) dengan nilai *slump* dan nilai *VB-time* seperti terlihat pada Gambar 4.3 dan 4.4 sebagai berikut :



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Nilai *Slump* dan Konsentrasi Serat (V_f)



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Antara VB-Time dan Konsentrasi Serat (Vf)

2. Pengujian Kuat Desak Beton

Pengujian kuat desak beton terhadap benda uji silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm dilakukan pada umur 28 hari diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Kuat Desak Beton

Kadar serat	Kode-No	Gaya	Luas (A)	Kuat desak	Kuat desak rata-rata
%		(kN)	(m ²)	(MPa)	(MPa)
0	D-TB0-1	340	0,01767	19,2417	20,3735
	D-TB0-2	360		20,3735	
	D-TB0-3	370		20,9395	
	D-TB0-4	370		20,9395	
0,3	D-TB3-1	340	0,01767	19,2417	21,0809
	D-TB3-2	370		20,9394	
	D-TB3-3	390		22,0713	
	D-TB3-4	390		22,0713	

Tabel 4.11 (Lanjutan)

Kadar serat	Kode-No	Gaya	Luas (A)	Kuat desak	Kuat desak rata-rata
%		(kN)	(m ²)	(MPa)	(MPa)
0,6	D-TB6-1	360	0,01767	20,3735	21,6469
	D-TB6-2	380		21,5054	
	D-TB6-3	380		21,5054	
	D-TB6-4	410		23,2032	
0,9	D-TB9-1	340	0,01767	19,2417	21,3639
	D-TB9-2	380		21,5054	
	D-TB9-3	390		22,0713	
	D-TB9-4	400		22,6372	
1,2	D-TB12-1	350	0,01767	19,8076	21,0809
	D-TB12-2	370		20,9394	
	D-TB12-3	380		21,5054	
	D-TB12-4	390		22,0713	
1,5	D-TB15-1	340	0,01767	19,2417	20,2321
	D-TB15-2	350		19,8076	
	D-TB15-3	360		20,3735	
	D-TB15-4	380		21,5054	
1,8	D-TB18-1	280	0,01767	15,8461	17,6854
	D-TB18-2	310		17,5439	
	D-TB18-3	320		18,1098	
	D-TB18-4	340		19,2417	
2,1	D-TB21-1	200	0,01767	11,3186	13,5822
	D-TB21-2	240		13,5823	
	D-TB21-3	260		14,7142	
	D-TB21-4	260		14,7142	

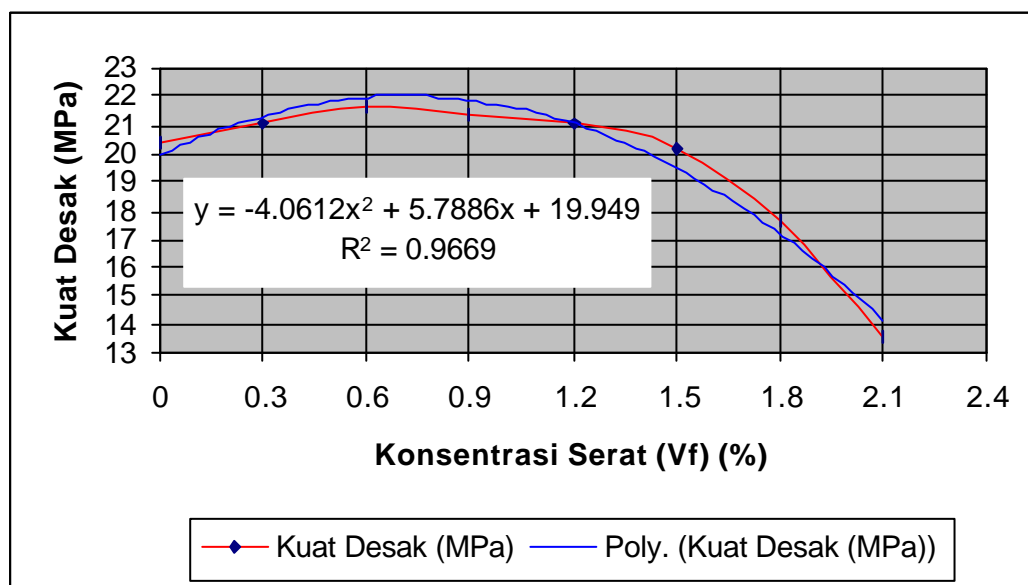
(Sumber : hasil penelitian)

Tabel 4.12 Peningkatan Kuat Desak Beton Serat Tali Beneser

Kuat Desak Beton Normal MPa (A)	Konsentrasi Serat (Vf) %	Kuat Desak MPa (B)	Peningkatan Kuat Desak MPa (B-A)	Persentase Peningkatan Kuat Desak $(B-A) \times 100\% / A$
20,3735	0,3	21,0809	0,7074	3,472157
	0,6	21,6469	1,2734	6,250276
	0,9	21,3639	0,9904	4,861217
	1,2	21,0809	0,7074	3,472157
	1,5	20,2321	-0,1414	-0,69404
	1,8	17,6854	-2,6881	-13,1941
	2,1	13,5822	-6,7913	-33,334

(Sumber : hasil perhitungan)

Dari data pada tabel 4.11 dapat diperoleh grafik hubungan antara konsentrasi serat (Vf) dan kuat desak beton serat tali beneser dengan menggunakan regresi *polynomial* dari *Microsoft Excel* sebagai berikut :



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara Kuat Desak Beton dengan Konsentrasi Serat Tali Beneser

3. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah beton terhadap benda uji silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm dilakukan pada umur 28 hari, diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Kadar serat	Kode-No	Gaya	Luas selimut ($\pi \cdot L \cdot D$)	Kuat tarik belah ($2.F / \pi.L.D$)	Kuat tarik belah rata-rata
%		(kN)	(m^2)	(MPa)	(MPa)
0	D-TB0-1	80	0,1413	1,1318	1,6269
	D-TB0-2	115		1,6269	
	D-TB0-3	120		1,6977	
	D-TB0-4	145		2,0513	
0,3	D-TB3-1	120	0,1413	1,6977	1,9806
	D-TB3-2	140		1,9806	
	D-TB3-3	150		2,1221	
	D-TB3-4	150		2,1221	
0,6	D-TB6-1	140	0,1413	1,9806	2,1751
	D-TB6-2	150		2,1221	
	D-TB6-3	155		2,1928	
	D-TB6-4	170		2,4050	
0,9	D-TB9-1	120	0,1413	1,6977	2,2637
	D-TB9-2	160		2,2635	
	D-TB9-3	180		2,5465	
	D-TB9-4	180		2,5464	
1,2	D-TB12-1	130	0,1413	1,8391	2,1222
	D-TB12-2	145		2,0513	
	D-TB12-3	150		2,1221	
	D-TB12-4	175		2,4757	

Tabel 4.13 (Lanjutan)

Kadar serat	Kode-No	Gaya	Luas selimut ($\pi \cdot L \cdot D$)	Kuat tarik belah ($2 \cdot F / \pi \cdot L \cdot D$)	Kuat tarik belah rata-rata
%		(kN)	(m^2)	(MPa)	(MPa)
1,5	D-TB15-1	120	0,1413	1,6977	2,0337
	D-TB15-2	140		1,9806	
	D-TB15-3	145		2,0513	
	D-TB15-4	170		2,4050	
1,8	D-TB18-1	110	0,1413	1,5562	1,8390
	D-TB18-2	130		1,8391	
	D-TB18-3	135		1,9099	
	D-TB18-4	145		2,0513	
2,1	D-TB21-1	100	0,1413	1,4147	1,6092
	D-TB21-2	110		1,5562	
	D-TB21-3	115		1,6269	
	D-TB21-4	130		1,8391	

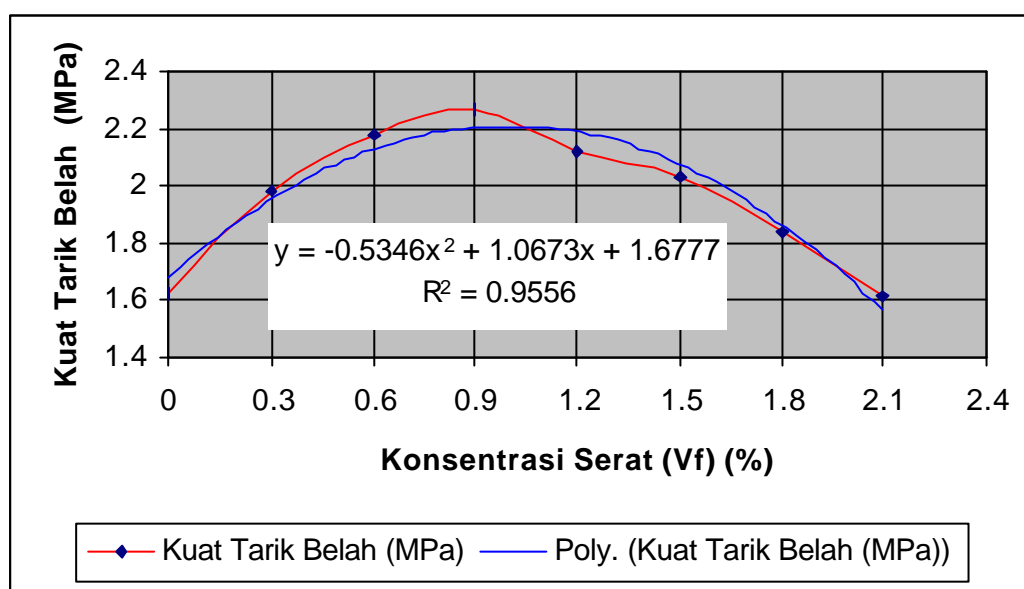
(Sumber : hasil penelitian)

Tabel 4.14 Peningkatan Kuat Tarik Belah Beton Serat Tali Beneser

Kuat Tarik Belah Beton Normal MPa (A)	Konsentrasi Serat (V_f) %	Kuat Tarik Belah MPa (B)	Peningkatan Kuat Tarik Belah MPa (B-A)	Persentase Peningkatan Kuat Tarik Belah $(B-A) \times 100\% / A$
1,6269	0,3	1,9806	0,3537	21,74073
	0,6	2,1751	0,5482	33,69599
	0,9	2,2637	0,6368	39,14193
	1,2	2,1222	0,4953	30,44440
	1,5	2,0337	0,4068	25,00461
	1,8	1,8390	0,2121	13,03706
	2,1	1,6092	-0,0177	-1,08796

(Sumber : hasil perhitungan)

Dari data pada tabel 4.13 dapat diperoleh grafik hubungan antara konsentrasi serat (V_f) dan kuat tarik belah beton serat tali beneser dengan menggunakan regresi *polynomial* dari *Microsoft Excel* sebagai berikut :



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Antara Kuat Tarik Belah Beton dengan Konsentrasi Serat Tali Beneser

E. Analisa Data Hasil Penelitian

1. Uji Normalitas Data Metode Liliefors

Pengujian normalitas yang diterapkan dalam bidang eksakta digunakan metode *Liliefors*. Dalam pengujian normalitas *Liliefors* ini sebaran data kuat desak dan kuat tarik belah kelompok benda uji harus bersifat normal.

Dari hasil uji yang dilakukan dengan metode *Liliefors*, ternyata sebaran semua benda uji masih bersifat normal. Berikut tata cara dan langkah-langkah perhitungan untuk uji normalitas metode *Liliefors*, dengan data kuat desak beton

serat dan kuat tarik belah beton serat dalam berbagai konsentrasi serat. Sedangkan hasil perhitungan secara lengkap dapat dilihat dalam lampiran C.

a. Perhitungan Uji Normalitas Metode *Liliefors* Pengujian Kuat Desak

Perhitungan uji normalitas metode *Liliefors* untuk pengujian kuat desak dengan konsentrasi serat 0 %, tata cara dan langkah-langkah perhitungan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Menentukan nilai kuat desak beton rata-rata (X)

$$X = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4}{4}$$

$$X = \frac{19,2417 + 20,3735 + 20,9394 + 20,9394}{4}$$

$$X = 20,3735 \text{ MPa}$$

2. Menentukan simpangan baku (Sd)

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [X_i - X]^2}{n - 1}}$$

$$Sd = 0,8004$$

3. Menentukan Z_i

$$Z_i = \frac{X_i - X}{S}$$

$$Z_1 = \frac{19,2417 - 20,3735}{0,8004} = -1,41$$

$$Z_2 = \frac{20,3735 - 20,3735}{0,8004} = 0$$

$$Z_3 = \frac{20,9394 - 20,3735}{0,8004} = 0,71$$

$$Z_4 = \frac{20,9394 - 20,3735}{0,8004} = 0,71$$

4. Menentukan $F(Z_i)$, dengan mencari harga z_i berdasarkan tabel C.3 (Lampiran), diperoleh :

$$z = 0,4207 \quad F(Z_1) = 0,5 - 0,4207 = 0,0793$$

$$z = 0 \quad F(Z_2) = 0,5 - 0,0000 = 0,5000$$

$$z = 0,2611 \quad F(Z_3) = 0,5 + 0,2611 = 0,7611$$

$$z = 0,2611 \quad F(Z_4) = 0,5 + 0,2611 = 0,7611$$

5. Menentukan $S(Z_i)$, dimana :

$$S(Z_i) = \frac{\text{banyaknya } Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n \text{ yang } \leq Z_i}{n}$$

$$S(Z_1) = 1/4 = 0,2500$$

$$S(Z_2) = 2/4 = 0,5000$$

$$S(Z_3) = 3/4 = 0,7500$$

$$S(Z_4) = 4/4 = 1,0000$$

6. Menentukan harga mutlak selisih antara $F(Z_i)$ dengan $S(Z_i)$

$$[F(Z_1) - S(Z_1)] = [0,0793 - 0,2500] = 0,1707$$

$$[F(Z_2) - S(Z_2)] = [0,5000 - 0,5000] = 0$$

$$[F(Z_3) - S(Z_3)] = [0,7611 - 0,7500] = 0,0111$$

$$[F(Z_4) - S(Z_4)] = [0,7611 - 1,0000] = 0,2389$$

7. Menentukan Lo , dimana Lo merupakan harga terbesar diantara harga-harga mutlak ($Lo = 0,2389$)

8. Menentukan Lcr , berdasarkan tabel C.4 (Lampiran) diperoleh $Lcr = 0,3810$

9. Membandingkan Lo dengan Lcr , berdasarkan hasil diatas diperoleh $Lo = (0,2389) < Lcr = (0,3810)$, sehingga dapat disimpulkan bahwa sebaran kelompok data uji berdistribusi normal.

Dengan menggunakan prosedur yang sama seperti diatas, dilakukan uji normalitas kuat desak dengan metode *Liliefors* terhadap berbagai variasi konsentrasi serat dan hasil pengujian secara lengkap dapat dilihat pada lampiran C

Dari hasil uji normalitas yang dilakukan dengan metode *Liliefors* untuk uji kuat desak beton serat yang terlihat pada lampiran C (Tabel C.1), ternyata secara keseluruhan nilai $Lo < Lcr$ sehingga dapat disimpulkan bahwa semua benda uji masih terdistribusi normal.

b. Perhitungan Uji Normalitas Metode Liliefors Pengujian Kuat Tarik

Belah

Perhitungan uji normalitas metode *Liliefors* untuk pengujian kuat tarik belah dengan konsentrasi serat 0 %, tata cara dan langkah-langkah perhitungan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Menentukan nilai kuat tarik belah beton rata-rata (X)

$$X = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4}{4}$$

$$X = \frac{1,1318 + 1,6269 + 1,6977 + 2,0513}{4}$$

$$X = 1,6269 \text{ MPa}$$

2. Menentukan simpangan baku (Sd)

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [X_i - X]^2}{n - 1}}$$

$$Sd = 0,3787$$

3. Menentukan Z_i

$$Z_i = \frac{X_i - X}{S}$$

$$Z_1 = \frac{1,1318 - 1,6269}{0,3787} = -1,31$$

$$Z_2 = \frac{1,6269 - 1,6269}{0,3787} = 0$$

$$Z_3 = \frac{1,6977 - 1,6269}{0,3787} = 0,19$$

$$Z_4 = \frac{2,0513 - 1,6269}{0,3787} = 1,12$$

4. Menentukan $F(Z_i)$, dengan mencari harga z_i berdasarkan tabel C.3 (Lampiran),

diperoleh :

$$z = 0,4049 \quad F(Z_1) = 0,5 - 0,4049 = 0,0951$$

$$z = 0 \quad F(Z_2) = 0,5 + 0,0000 = 0,5000$$

$$z = 0,0754 \quad F(Z_3) = 0,5 + 0,0754 = 0,5754$$

$$z = 0,3686 \quad F(Z_4) = 0,5 + 0,3686 = 0,8686$$

5. Menentukan $S(Z_i)$, dimana :

$$S(Z_i) = \frac{\text{banyaknya } Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n \text{ yang } \leq Z_i}{n}$$

$$S(Z_1) = 1/4 = 0,2500$$

$$S(Z_2) = 2/4 = 0,5000$$

$$S(Z_3) = 3/4 = 0,7500$$

$$S(Z_4) = 4/4 = 1,0000$$

6. Menentukan harga mutlak selisih antara $F(Z_i)$ dengan $S(Z_i)$

$$[F(Z_1) - S(Z_1)] = [0,0951 - 0,2500] = 0,1549$$

$$[F(Z_2) - S(Z_2)] = [0,5000 - 0,5000] = 0$$

$$[F(Z_3) - S(Z_3)] = [0,5754 - 0,7500] = 0,1746$$

$$[F(Z_4) - S(Z_4)] = [0,8686 - 1,0000] = 0,1314$$

7. Menentukan L_o , dimana L_o merupakan harga terbesar diantara harga-harga mutlak ($L_o = 0,1746$)
8. Menentukan L_{cr} , berdasarkan tabel C.4 (Lampiran) diperoleh $L_{cr} = 0,3810$
9. Membandingkan L_o dengan L_{cr} , berdasarkan hasil diatas diperoleh $L_o = (0,1746) < L_{cr} = (0,3810)$, sehingga dapat disimpulkan bahwa sebaran kelompok data uji berdistribusi normal.

Dengan menggunakan prosedur yang sama seperti diatas, dilakukan uji normalitas kuat tarik belah dengan metode *Liliefors* terhadap berbagai variasi konsentrasi serat dan hasil pengujian secara lengkap dapat dilihat pada lampiran C

Dari hasil uji normalitas yang dilakukan dengan metode *Liliefors* untuk uji kuat tarik belah beton serat yang terlihat pada lampiran C (Tabel C.2), ternyata secara keseluruhan nilai $L_o < L_{cr}$ sehingga dapat disimpulkan bahwa semua benda uji masih terdistribusi normal.

2. Analisis Regresi

Analisis regresi yang digunakan adalah analisis regresi *polynomial* orde 2. Tujuan dari pembuatan regresi non linier ini adalah untuk mengetahui nilai koefisien determinansi (R^2) yang menunjukkan seberapa jauh kecocokan ketetapan garis regresi yang terbentuk dan mengetahui sejauh mana korelasi antara variabel-variabel penyusunnya.

a. Analisis Regresi Untuk Pengujian Kuat Desak

Dari hasil analisis regresi dengan menggunakan fasilitas yang disediakan *Microsoft Excel* diperoleh Gambar 4.5 yang merupakan grafik hubungan antara konsentrasi serat dan kuat desak beton serat tali beneser. Dari grafik tersebut diperoleh persamaan garis regresi sebagai berikut :

$$y = -4,0612x^2 + 5,7886x + 19,949 \text{ dengan } R^2 = 0,9669$$

Keterangan : y = Kuat desak (MPa)

x = Konsentrasi serat (%)

Dari grafik *regresi polynomial orde 2* hasil pengujian pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa kuat desak beton serat tali beneser tertinggi terletak pada konsentrasi serat 0,7127 % dengan kuat desak sebesar 22,0117 MPa.

Tujuan dari analisis regresi non linier adalah untuk mengetahui koefisien determinansi (R^2) yang menunjukkan seberapa jauh hubungan atau korelasi antara variabel-variabel yang ada serta seberapa jauh ketepatan dan kecocokan garis regresi yang dibentuk. Berdasarkan grafik pada Gambar 4.5 diperoleh harga $R^2 = 0,9669$ yang mendekati 1, ini menunjukkan adanya korelasi positif antara variabel-variabel yang ada.

b. Analisis Regresi Untuk Pengujian Kuat Tarik Belah

Dari hasil analisis regresi dengan menggunakan fasilitas yang sediakan *Microsoft Excel* diperoleh Gambar 4.6 yang merupakan grafik hubungan antara konsentrasi serat dan kuat tarik belah beton serat tali beneser. Dari grafik tersebut diperoleh persamaan garis regresi sebagai berikut :

$$y = -0,5346x^2 + 1,0673x + 1,6777 \text{ dengan } R^2 = 0,9556$$

Keterangan : y = Kuat tarik belah (MPa)

x = Konsentrasi serat (%)

Dari grafik *regresi polynomial orde 2* hasil pengujian pada Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa kuat tarik belah beton serat tali beneser tertinggi terletak pada konsentrasi serat 0,9982 % dengan kuat tarik belah sebesar 2,2104 MPa.

Tujuan dari analisis regresi non linier digunakan sebagai pendekatan adalah untuk mengetahui koefisien determinansi (R^2) yang menunjukkan seberapa jauh hubungan atau korelasi antara variabel-variabel yang ada serta seberapa jauh ketepatan dan kecocokan garis regresi yang dibentuk. Berdasarkan grafik pada Gambar 4.6 diperoleh harga $R^2 = 0.9556$ yang mendekati 1, ini menunjukkan adanya korelasi positif antara variabel-variabel yang ada.

F. Pembahasan Hasil Penelitian

1. Workability Adukan Beton Serat

Workability merupakan faktor yang penting dalam pembuatan adukan beton. *Workability* yang memadai sangat diperlukan untuk memudahkan proses pengadukan, pengangkutan, penuangan dan pemadatan. Salah satu faktor yang bisa dijadikan sebagai parameter untuk mengetahui suatu adukan mudah untuk dikerjakan (*Workable*) adalah kelecakan adukan.

Tingkat kelecakan adukan beton serat tidak bisa ditentukan hanya dengan uji *slump* saja, karena hal ini belum menggambarkan keadaan workabilitas sesungguhnya dari adukan beton. Pada penelitian ini digunakan 2 macam pengujian untuk menentukan tingkat kelecakan adukan beton yaitu dengan pengujian nilai *slump* dan *VB-time*.

a. Uji *Slump*

Seperti terlihat pada Tabel 4.9 dan Gambar 4.3, nilai *slump* terus mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya konsentrasi serat. Penurunan nilai *slump* ini disebabkan oleh karena penambahan serat akan menambah sifat saling mengunci antar bahan dan menimbulkan gesekan (*friction*) antar serat dan agregat sehingga keduanya tidak bisa bergerak dengan leluasa. Penambahan serat akan mengakibatkan luas permukaan bahan yang dilumasi air bertambah, sehingga kandungan air bebas yang sangat berpengaruh pada kelecakan adukan beton berkurang.

Penurunan nilai *slump* juga disebabkan pada saat pencampuran serat tertekuk akibat benturan dengan agregat sehingga satu sama lain saling mengikat serta berkelompok (*balling effect*). Dari Tabel 4.9 dan Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa nilai *slump* terendah terletak pada konsentrasi serat 2,1 % dengan nilai *slump* 5 mm dengan tingkat workabilitas sangat rendah.

b. Uji *VB-Time*

Uji *VB-time* dilakukan untuk menentukan kelecakan adukan beton serat yang pada umumnya memiliki workabilitas rendah. Seperti terlihat pada Tabel

4.10 dan Gambar 4.4, semakin banyak serat yang ditambahkan pada adukan beton akan menyebabkan nilai *VB-time* meningkat pula. Hal ini disebabkan dengan semakin banyak serat yang ditambahkan ke dalam adukan beton, maka kemungkinan terjadinya ikatan antar serat yang akan menyebabkan penggumpalan semakin besar, dan gesekan serat dengan agregat juga semakin besar, dimana kedua hal ini akan mengurangi workabilitas adukan beton. Nilai *VB-time* yang diperkenankan untuk adukan beton berkisar 5 detik sampai dengan 25 detik.

Penambahan serat tali beneser ke dalam adukan beton akan menurunkan kelecakan adukan beton. Penambahan serat dalam adukan beton akan menyebabkan terjadinya ikatan dan gesekan antara serat dan agregat sehingga adukan akan mengalami penurunan kelecakan. Peningkatan nilai *VB-time* pada campuran beton serat disebabkan karena diperlukan waktu yang lebih lama untuk memisahkan ikatan tersebut sehingga waktu untuk mencapai kondisi datar pada saat digetarkan di atas meja getar bertambah. Dari Tabel 4.10 dan Gambar 4.4 terlihat bahwa nilai *VB-time* tertinggi terletak pada konsentrasi serat 2,1 % dengan harga *VB-time* 39,09 detik. Uji *VB-time* yang dilakukan di Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik memberikan hasil yang kurang valid karena alat yang digunakan belum memenuhi standar pengujian *VB-time*, tapi secara umum dapat dilihat dengan perlakuan yang sama, diperoleh waktu getar yang diperlukan untuk mencapai kondisi datar pada permukaan adukan beton mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya konsentrasi serat.

2. Kuat Desak Beton Serat

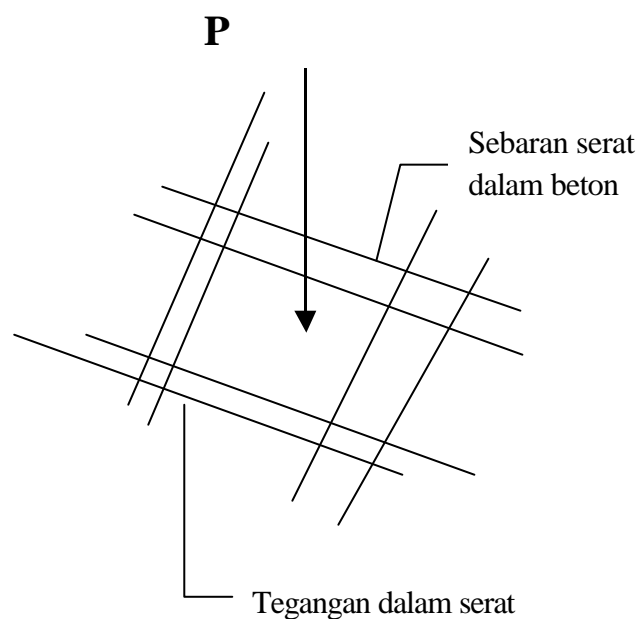
Pada waktu pengujian dilakukan, diamati perilaku yang terjadi pada benda uji terutama pada saat terjadi pembebanan sampai terjadi pecah dan tampang retaknya. Dari pengamatan dapat diketahui bahwa beton tanpa serat akan pecah secara mendadak dan disertai letusan kecil dan retakan banyak terlihat pada permukaan selimut benda uji. Pada beton yang menggunakan serat, pecah akan terjadi secara perlahan-lahan dan tidak disertai dengan bunyi letusan sedangkan retakan yang terjadi tidak sebanyak beton tanpa serat. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan serat ke dalam adukan beton, maka beton akan menjadi lebih liat (*ductile*) dan mampu menyerap energi yang lebih besar dari pada beton tanpa serat.

Dari hasil penelitian diketahui bahwa dengan penambahan serat tali beneser dalam adukan beton akan meningkatkan kuat desak beton sampai penambahan konsentrasi serat sebanyak 0,7127 % dengan kuat desak sebesar 22,0117 Mpa atau meningkat 8,0408 % dari beton normal yang mempunyai kuat desak 20,3735 MPa. Kuat desak beton akan terus menurun seiring dengan penambahan konsentrasi serat diatas 0,7127 %. Peningkatan kuat desak terjadi karena adanya efek pengekanan di dalam beton oleh serat terhadap material penyusun beton sehingga beton menjadi lebih *compact* (padat).

Penurunan kuat desak setelah mencapai kondisi optimal disebabkan karena sulitnya penyebaran serat tali beneser akibat konsentrasi serat semakin tinggi dan juga semakin banyaknya rongga didalam beton karena adanya ikatan antar serat

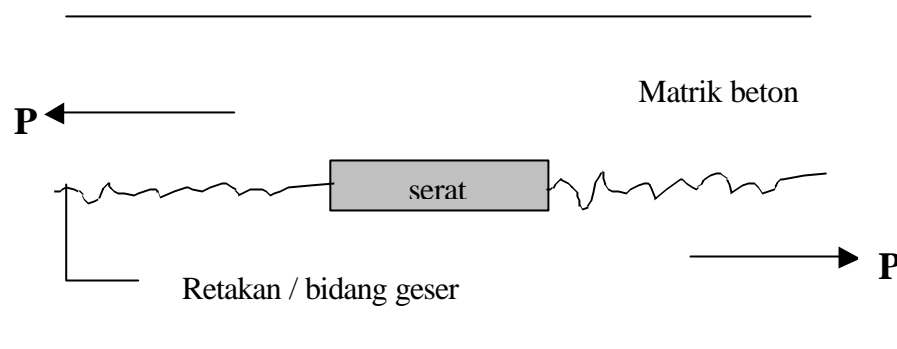
menghalangi pergerakan agregat, kurang sempurnanya proses pengerjaan campuran adukan beton sehingga serat tali beneser yang ditambahkan tidak terdistribusi secara merata ke segala arah, atau cara pemadatan yang akan berpengaruh pada derajat kepadatan yang akan dicapai.

Berdasarkan teori yang dikemukakan oleh Soroushian dan Bayasi mengenai mekanisme kerja serat berupa *material composite concept* maka antara matrik beton dengan serat menjadi satu kesatuan yang saling mendukung tegangan dalam yang timbul akibat beban dari luar.



Gambar 4.7 Material Composite Concept Dalam Mendukung Gaya Desak

Sedangkan mekanisme serat yang dikemukakan oleh Bambang Suhendro berupa *dowel action* dalam mendukung gaya desak, adanya retakan yang terjadi pada beton digambarkan sebagai bidang geser dimana geseran yang terjadi akan ditahan oleh serat yang berfungsi sebagai pasak didalam mendukung gaya geser.



Gambar 4.8 Dowel Action Dalam Mendukung Gaya Desak

Dari hasil penelitian terlihat bahwa tidak terjadi peningkatan yang besar pada kuat desak beton. Hal ini senada dengan penelitian Sudarmoko, 1990 (dalam Sujatmiko, 1990) menguraikan bahwa kuat desak dan modulus elastisitas beton tidak begitu dipengaruhi oleh penambahan serat meskipun tetap terjadi peningkatan. Pengaruh serat terhadap kuat desak beton tidak begitu kelihatan, terlebih serat terbuat dari bahan yang elastis atau mempunyai kekakuan kecil sehingga kurang mampu membantu menahan gaya desak. Kuat desak beton lebih utama dipengaruhi oleh mutu agregat, keruntuhan beton yang terjadi disebabkan oleh pecahnya batuan dan tegangan lekat antar batuan yang terlampaui oleh tegangan desak yang diakibatkan oleh beban luar.

3. Kuat Tarik Belah Beton Serat

Tujuan utama dari penambahan serat ke dalam adukan beton adalah untuk meningkatkan kekuatan beton terhadap tarik. Kuat tarik merupakan suatu sifat

yang sangat penting untuk menahan retak yang disebabkan perubahan temperatur dan akibat pembebanan.

Pada waktu pengujian dilakukan, diamati perilaku yang terjadi pada benda uji terutama pada saat terjadi pembebanan sampai terjadi pecah dan tampang retaknya. Dari pengamatan dapat diketahui bahwa beton tanpa serat akan segera mengalami retak dengan retakan arah memanjang terlihat pada permukaan selimut benda uji. Pada beton yang menggunakan serat, pecah akan terjadi secara perlahan-lahan dan retakan memanjang pada selimut yang terjadi tidak sebanyak beton tanpa serat. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan serat ke dalam adukan beton akan menambah ikatan di dalam beton yang dapat memperkecil terjadinya retakan-retakan akibat pembebanan dan beton tidak mudah hancur akibat pembebanan. Disamping itu kontur serat yang kasar akan memungkinkan terjadinya ikatan yang kuat antara serat dengan mortar sehingga beton menjadi lebih padat, liat (*ductile*) dan mampu menyerap energi yang lebih besar dari pada beton tanpa serat.

Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa dengan penambahan serat tali beneser ke dalam adukan beton akan terus meningkatkan kuat tarik belah beton sampai penambahan konsentrasi serat sebanyak 0,9982 % dengan kuat tarik belah sebesar 2,2104 MPa atau meningkat 35,8658 % dari beton normal yang mempunyai kuat tarik belah 1,6269 MPa. Kuat tarik belah beton akan terus menurun seiring dengan penambahan konsentrasi serat diatas 0,9982 %.

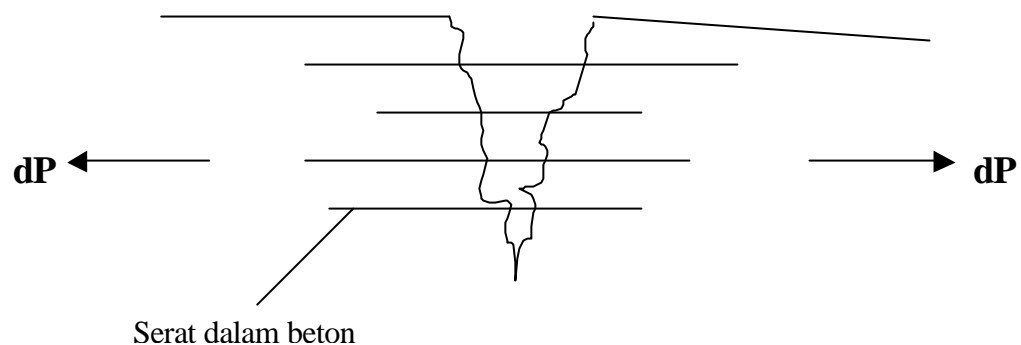
Peningkatan kuat tarik belah yang terjadi pada beton serat tali beneser terhadap beton normal diakibatkan karena pada beton normal gaya tarik yang

terjadi hanya ditahan oleh beton sendiri, sedangkan pada beton serat gaya tarik yang terjadi ditahan secara bersama-sama oleh beton dan serat tali beneser. Sesuai dengan *composite material concept* sumbangan kekuatan tarik dari serat timbul karena adanya tegangan lekat (*bond strength*) antara serat dengan beton. Besarnya tegangan lekat tergantung pada panjang lekatan serat dari alur retakan beton serta dimensi dari serat tersebut. Faktor lain yang mempengaruhi tegangan lekat antara beton dengan serat adalah kontur permukaan dari serat. Serat tali beneser yang digunakan memiliki kontur yang kasar sehingga luas bidang sentuh antara serat dan beton menjadi lebih luas, hal ini akan menyebabkan tegangan lekat (*bond strength*) yang timbul menjadi lebih besar, akibatnya kuat tarik belah betonnya pun meningkat.

Setelah mencapai kondisi optimum kuat tarik belah terus mengalami penurunan seiring dengan penambahan konsentrasi serat. Hal ini disebabkan karena sulitnya penyebaran serat tali beneser akibat konsentrasi serat semakin tinggi dan juga semakin banyaknya rongga didalam beton karena adanya ikatan antar serat menghalangi pergerakan agregat atau kurang sempurnanya proses pengerjaan campuran adukan beton, sehingga serat tali beneser yang ditambahkan tidak terdistribusi secara merata kesegala arah.

Mekanisme kerja serat di dalam beton, yaitu serat yang melekat pada campuran beton akan menahan beton hancur secara tiba-tiba yang disebabkan oleh gaya tarikan, hal ini terjadi karena serat yang terdistribusi secara acak (*random*) dalam tiga dimensi menahan tarikan dan beton tidak mampu menahan gaya tersebut, bahkan meskipun sudah terjadi retakan (beton gagal) maka adanya

serat dalam beton, tegangan tarik akibat beban luar akan sepenuhnya dilawan oleh serat. Serat akan mengalami proses penegangan (Fiber bridging) hingga putus apabila tegangan tarik akibat beban yang terjadi sudah melampaui tegangan tarik pada serat.



Gambar 4.9 Fiber Bridging yang Menahan Tegangan Tarik dalam Beton Serat

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh prosentase

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh prosentase peningkatan kuat tarik belah yang terjadi lebih besar daripada peningkatan kuat desaknya. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan serat lebih berperan dalam peningkatan kuat tarik, berarti signifikan dengan maksud utama penambahan serat sebagai tulangan mikro ke dalam adukan beton yaitu untuk meningkatkan kuat tarik beton berupa retakan-retakan di daerah tarik yang terlalu dini akibat pembebanan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian mengenai kuat desak dan kuat tarik belah beton dengan berbagai variasi penambahan serat tali beneser yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan meningkatnya konsentrasi serat yang ditambahkan, maka nilai *slump* akan semakin turun dan nilai *VB-Time* akan semakin meningkat yang menunjukkan semakin menurunnya *workability* adukan beton.
2. Dari hasil pengujian kuat desak beton pada berbagai variasi penambahan serat tali beneser yang telah dilakukan, didapatkan kuat desak maksimal sebesar 21,6469 MPa atau meningkat sebesar 6,251% dari beton normal yang terjadi pada konsentrasi penambahan serat 0,6%.
3. Dari hasil pengujian kuat tarik belah beton pada berbagai variasi penambahan serat tali beneser yang telah dilakukan, didapatkan kuat tarik belah maksimal sebesar 2,2637 MPa atau meningkat sebesar 39,142% dari beton normal yang terjadi pada konsentrasi penambahan serat 0,9%.
4. Sifat serat tali beneser yang mempunyai modulus elastisitas rendah membuat serat ini tidak banyak memberikan kontribusi dalam peningkatan kuat desak, sedangkan pada kuat tarik belah, serat tali beneser yang mempunyai kuat tarik yang tinggi dapat memberikan peningkatan yang cukup besar.

B. Saran

Untuk menindaklanjuti penelitian ini maka perlu diadakan penelitian lebih lanjut untuk melengkapi dan merupakan pengembangan dari tema penelitian ini. Saran-saran yang dapat penulis berikan untuk penelitian-penelitian selanjutnya adalah :

1. Perlunya penelitian dengan menggunakan bahan tambahan kimia (*superplastisizer*) guna meningkatkan *workability* adukan beton.
2. Penelitian mengenai pengaruh penambahan serat tali beneser dengan berbagai variasi *aspect ratio* dan faktor air semen yang berbeda.
3. Mengembangkan tinjauan penelitian mengenai pengaruh penambahan serat tali beneser pada kuat lentur, kuat geser, kekuatan terhadap beban *impact*, lekatan terhadap tulangan dan beban puntir pada prosentase serat optimal.



PEMERIKSAAN AGREGAT KASAR

Pengujian : Abrasi Agregat Kasar
Tanggal : 23 Oktober 2003
Standar : ASTM C-131
Alat dan bahan : - Bejana *Los Angeles* dan bola-bola baja
- Saringan
- Neraca
- Kerikil

Hasil pengujian :

Tabel A.1 Hasil Pengujian Abrasi Agregat Kasar :

Simbol	Keterangan	Berat (gr)
A	Berat kerikil kering oven mula-mula	5000
B	Sisa kerikil kering oven diatas ayakan 2,36 mm	3500

$$\begin{aligned}\text{Persentase berat yang hilang} &= \frac{A - B}{A} \times 100\% \\ &= \frac{5000 - 3500}{5000} \times 100 \% \\ &= 30 \%\end{aligned}$$

Syarat :

Kehilangan berat tidak boleh lebih dari 50 % (PBBI 1971 pasal 3.4 ayat 5)

Analisa :

Dari hasil perhitungan, keausan kerikil sebesar 30 % (kurang dari 50%) sehingga kerikil tersebut memenuhi sebagai agregat kasar.



PEMERIKSAAN AGREGAT KASAR

Pengujian : **Specific Gravity**
Tanggal : 23 -25 Oktober 2003
Standar : ASTM C-128
Alat dan bahan : - Bejana dan Container
- Oven Listrik
- Neraca
- Kerikil (*Split*) 3000 gram
- Air bersih

Hasil pengujian :

Tabel A.2 Hasil Pengujian *Specivic Gravity* Agregat Kasar :

Simbol	Keterangan	Berat (gr)
a	Kerikil kering oven	3000
b	Berat kerikil SSD total	3111,6
c	Berat kerikil dalam air	1864,5

$$\text{Bulk Specific gravity} : \frac{a}{b - c} = 2,4056$$

$$\text{Bulk Specific gravity SSD} : \frac{b}{b - c} = 2,4951$$

$$\text{Apparent Specific gravity} : \frac{a}{a - c} = 2,6420$$

$$\text{Absorbtion} : \frac{b - a}{a} \times 100 \% = 3,72 \%$$



PEMERIKSAAN AGREGAT KASAR

Pengujian : Gradasi agregat kasar

Tanggal : 23 Oktober 2003

Standar : ASTM C-136

Alat dan bahan : - Satu set ayakan (50 mm, 38,1 mm, 25,4 mm, 19,0 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,85 mm dan pan.
- Mesin penggetar ayakan.
- Neraca.
- Kerikil kering oven sebanyak 3000 gram.

Hasil pengujian :

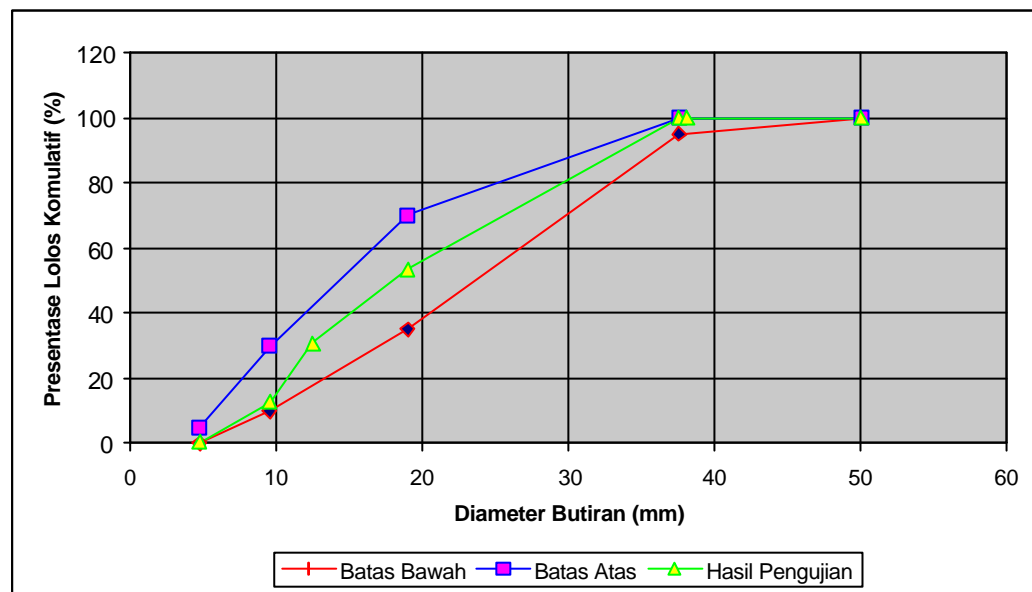
Tabel A.3 Hasil Pengujian Gradasi Agregat Kasar :

Ukuran ayakan (mm)	Tertahan			Lolos Komulatif (%)	Syarat ASTM C-33
	Berat (gr)	Prosentase (%)	Komulatif (%)		
50	-		-	-	-
38,1	-		-	-	-
37,5	-		-	100	95-100
25,4	-		-	-	-
19	1380	46,23	46,23	53,77	35-70
12,5	688,5	23,07	69,3	30,70	-
9,5	540,25	18,10	87,4	12,60	10-30
4,75	362,85	12,16	99,56	0,44	0-5
2,36	13,2	0,44	100	0	-
1,18	0	0	100	0	-
0,85	0	0	100	0	-
Pan	0	0	100	0	-
Jumlah	2984,8	100	702,49		



$$\begin{aligned}\text{Modulus halus} &= \frac{\Sigma(\%kum) - 100}{100} \\ &= \frac{702,49 - 100}{100} = 6,025\end{aligned}$$

$$\text{Agregat yang hilang} = \frac{3000 - 2984,8}{3000} \times 100 \% = 0,51 \% < 5 \%$$



Gambar A.1 Grafik Daerah Susunan Butir Agregat Kasar

Syarat :

Modulus halus agregat kasar berkisar antara 5-8 (Kardiyono Tjokrodinuljo, 1996).

Analisa :

- Dari hasil perhitungan modulus halus agregat kasar sebesar 6,025 sehingga masih memenuhi syarat sebagai agregat kasar.
- Dari hasil analisa saringan, kerikil yang diuji telah memenuhi syarat batas yang telah ditentukan oleh ASTM C-33



TABEL KLASIFIKASI AGREGAT UNTUK PENGUJIAN ABRASI
AGREGAT KASAR

Tabel A.4 Klasifikasi Agregat Untuk Pengujian Abrasi Agregat Kasar

Kelas	ket	Saringan	ket	Saringan	
Kelas E	Lolos	75	Tertinggal	63	2500 ± 50 gram
		36		50	2500 ± 50 gram
		50		37,5	5000 ± 50 gram
Kelas F	Lolos	50	Tertinggal	37,5	5000 ± 50 gram
		37,5		25	5000 ± 50 gram
Kelas G	Lolos	38	Tertinggal	25	5000 ± 50 gram
		25		19	5000 ± 50 gram
Kelas A	Lolos	37,5	Tertinggal	25	1250 ± 25 gram
		25		19	1250 ± 25 gram
		19		12,5	1250 ± 10 gram
		12,5		9,5	1250 ± 10 gram
Kelas B	Lolos	19	Tertinggal	12,5	2500 ± 10 gram
		12,5		9,5	2500 ± 10 gram
Kelas C	Lolos	9,5	Tertinggal	6,3	2500 ± 10 gram
		6,3		4,75	2500 ± 10 gram
Kelas D	Lolos	4,75	Tertinggal	2.4	5000 gram
Jumlah putaran untuk E, F & G = 1000 kali, jumlah baja 12 buah Jumlah putaran untuk A, B, C & D = 500 kali, jumlah bola baja A=12, B=11, C=8, D=6					



PEMERIKSAAN AGREGAT HALUS

Pengujian : Kandungan Zat Organik

Tanggal : 23 – 24 Oktober 2003

Standar : ASTM C-40

Alat dan bahan :

- Gelas ukur 250 cc
- Oven Listrik
- Pasir
- Larutan NaOH 3 %

Hasil pengujian :

- Warna larutan hasil pengamatan : Jernih
- Tabel perubahan warna prof. Ir. Rooseno

Tabel A.5 Tabel Perubahan Warna

Warna	Penurunan kekuatan
Jernih	0 %
Kuning muda	0 % - 10 %
Kuning tua	10 % - 20 %
Kuning kemerahan	20 % - 30 %
Coklat kemerahan	30 % - 50 %
Coklat tua	50 % - 100 %

Syarat :

Agregat halus yang mengandung bahan organik dapat dipakai, asal kekuatan tekan pada umur 7 hari dan 28 hari tidak kurang dari 95 % dari kekuatan adukan yang sama tetapi dicuci dalam larutan NaOH 3 % yang kemudian dicuci hingga bersih dengan air pada umur yang sama atau penurunan yang diperbolehkan maksimum 5 % (PBBI 1971)

Analisa :

Warna larutan hasil pengamatan adalah jernih. Hal ini menunjukkan bahwa pasir tidak mengandung zat organik yang dapat menurunkan kekuatan beton (penurunan 0 %) sehingga pasir tidak perlu dicuci bila akan digunakan sebagai agregat halus.



PEMERIKSAAN AGREGAT HALUS

Pengujian : **Kandungan Lumpur**
Tanggal : 23 – 24 Oktober 2003
Standar : ASTM C-117
Alat dan bahan : - Gelas ukur 250 cc
- Oven Listrik
- Pasir 100 gr
- Cawan
- Neraca
- Pipet
- Air bersih

Hasil pengujian :

Tabel A.6 Hasil Pengujian Kandungan Lumpur Agregat Halus

Simbol	Keterangan	Berat (gr)
Go	Pasir sebelum dicuci (kering 110°C, 24 jam)	100
G ₁	Pasir setelah dicuci (kering 110°C, 24 jam)	98
(Go – G ₁)	Selisih pasir sebelum dan setelah dicuci	2

Prosentase kandungan Lumpur :

$$\begin{aligned}\text{Kandungan Lumpur} &= \frac{Go - G_1}{Go} \times 100\% \\ &= \frac{2}{100} \times 100\% = 2\%\end{aligned}$$

Syarat :

Kandungan Lumpur dalam agregat halus tidak boleh lebih dari 5 % (PBBI 1971 pasal 3.3 ayat 3)

Analisa :

Dari hasil perhitungan diperoleh kandungan lumpur dalam pasir 2 % sehingga pasir tidak perlu dicuci bila akan digunakan sebagai agregat halus.



PEMERIKSAAN AGREGAT HALUS

Pengujian : Specivic Gravity
Tanggal : 23 Oktober 2003
Standar : ASTM C-128
Alat dan bahan : - *Volumetric flash*
- Oven Listrik
- Pasir 500 gr
- *Conical Mold* + penumbuk
- Neraca
- Air bersih

Hasil pengujian :

Tabel A.7 Hasil Pengujian *Specific Gravity* Agregat Halus

Simbol	Keterangan	Berat (gr)
	Pasir Kondisi SSD	500
a	Pasir kering oven	489,5
b	Berat Volumetrik + Air	732,3
c	Berat Volumetrik + pasir + air	1032,5

$$\text{Bulk Specific gravity} : \frac{a}{b + 500 - c} = 2,4499$$

$$\text{Bulk Specific gravity SSD} : \frac{500}{b + 500 - c} = 2,5025$$

$$\text{Apparent Specific gravity} : \frac{a}{b + a - c} = 2,5858$$

$$\text{Absorbtion} : \frac{500 - a}{a} \times 100 \% = 2,145 \%$$



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL
Jl. Ir. Sutami No.36A Ketingan Surakarta 57126 Telp. (0271) 647069

PEMERIKSAAN AGREGAT HALUS

Pengujian : Gradasi agregat halus
Tanggal : 23 Oktober 2003
Standar : ASTM C-136
Alat dan bahan : - Satu set ayakan (9,5 mm, 4,75 mm 2,36 mm, 1,18 mm, 0,85 mm, 0,3 mm, 0,15 mm dan (pan).
- Mesin penggetar ayakan.
- Neraca.
- Pasir kering oven sebanyak 3000 gram.

Hasil pengujian :

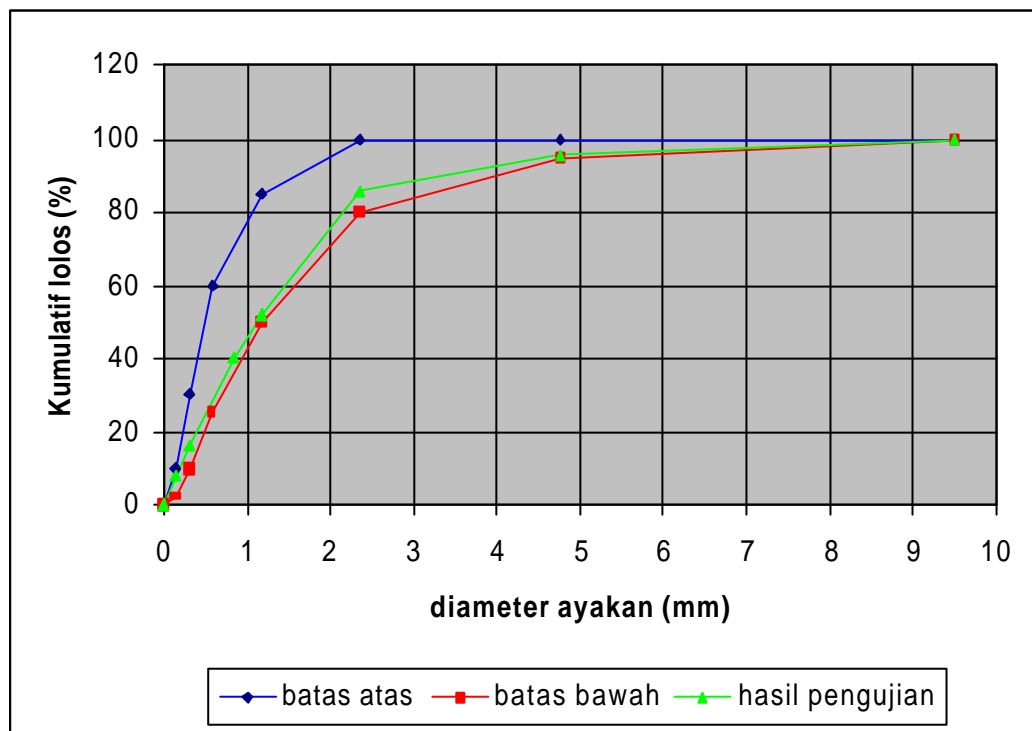
Tabel A.8 Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus :

Ukuran ayakan (mm)	Tertahan			Lolos Komulatif (%)	Syarat ASTM C-35
	Berat (gr)	Prosentase (%)	Komulatif (%)		
9,5	0	0	0	100	100
4,75	140,2	4,688022	4,688022	95,31198	95-100
2,36	297,1	9,934461	14,62248	85,37752	80-100
1,18	994,1	33,24082	47,86331	52,13669	50-85
0,85	371,7	12,42894	60,29225	39,70775	-
0,6	-	-	-	-	25-60
0,3	710,5	23,75777	84,05002	15,94998	10-30
0,15	239,3	8,001739	92,05176	7,948238	2-10
Pan	237,7	7,948238	100	0	0
Jumlah	2990,6		403,5678		



$$\begin{aligned}\text{Modulus halus} &= \frac{\Sigma(\% \text{ kum}) - 100}{100} \\ &= \frac{403,5678 - 100}{100} = 3,0306\end{aligned}$$

$$\text{Agregat yang hilang} = \frac{3000 - 2990,6}{3000} \times 100 \% = 0,3133\%$$



Gambar A.2 Grafik Daerah Susunan Butir Agregat Halus

Syarat :

Modulus halus agregat halus berkisar antara 2,3-3,1 (Kardiyono Tjokrodinuljo, 1996).

Analisa :

- Dari hasil perhitungan modulus halus agregat halus sebesar 3,036 sehingga masih memenuhi syarat sebagai agregat halus.
- Dari hasil analisa saringan, pasir yang diuji telah memenuhi syarat batas yang telah ditentukan oleh ASTM C-33



PEMERIKSAAN SERAT TALI BENESER

Pengujian : Berat Jenis
Tanggal : 25 Oktober 2003
Standar : ASTM
Alat dan bahan : - Cawan
- Mangkuk kecil
- Neraca Ohaus
- Air raksa
- Serat tali beneser

Hasil pengujian :

Tabel A.9 Hasil Pengujian Berat Jenis Serat tali Beneser

Simbol	Keterangan	Berat Tali Beneser (gr)				
		1	2	3	4	5
a	Berat serat yang dipotong-potong	0,2	0,2	0,19	0,18	0,2
b	Air raksa yang tumpah akibat perataan (gr)	3,83	4,43	3,91	4,24	4,38
Berat jenis (gr/cm ³)		0,7102	0,6140	0,6957	0,6415	0,6210
Rata – rata (gr/cm ³)		0,65647				

Berat jenis tali beneser dihitung dengan persamaan :

$$B_j \text{ tali beneser (gr/cm}^3\text{)} = \frac{a}{b} \times 13,6$$



HASIL PENGUJIAN CAMPURAN BETON

Pengujian : NILAI SLUMP DAN VB TIME

Tanggal : SELASA, 2 DESEMBER 2003

Standar : -

Alat dan bahan :

- Kerucut Abrams tinggi 30 cm dengan diameter atas 10 cm dan bawah 20 cm
- Meja getar dan *Container*
- Batang baja penumbuk ukuran 16 mm dengan panjang 60 cm
- Dasar yang kedap air sekitar 45 cm²
- Sekop kecil
- Cetok besi
- Penggaris
- Kain lap pembersih
- Adukan beton

Hasil pengujian :

Tabel A.11 Hasil Pengujian *Slump* dan *VB-time*

Kadar Serat	Nilai <i>Slump</i> (mm)	<i>VB-Time</i> (dt)
0 %	180	12,13
0,3 %	125	17,25
0,6 %	95	20,49
0,9 %	75	24,17
1,2 %	65	29,05
1,5 %	30	33,22
1,8 %	10	35,15
2,1 %	5	39,09



HASIL PENGUJIAN BENDA UJI

Pengujian : KUAT DESAK BETON

Tanggal : SELASA, 30 DESEMBER 2003

Standar : SKSNI M-14-1989-F

Alat dan bahan : Mesin Desak merek “Controls” dengan kapasitas 2000 kN

Tabel A.12 Hasil Pengujian Kuat Desak Beton Serat Tali Beneser

Kadar serat	Kode-No	Gaya	Luas (A)	Kuat desak	Kuat desak rata-rata
%		(kN)	(m ²)	(MPa)	(MPa)
0	D-TB0-1	340	0,01767	19,2417	20,3735
	D-TB0-2	360		20,3735	
	D-TB0-3	370		20,9395	
	D-TB0-4	370		20,9395	
0,3	D-TB3-1	340	0,01767	19,2417	21,0809
	D-TB3-2	370		20,9394	
	D-TB3-3	390		22,0713	
	D-TB3-4	390		22,0713	
0,6	D-TB6-1	360	0,01767	20,3735	21,6469
	D-TB6-2	380		21,5054	
	D-TB6-3	380		21,5054	
	D-TB6-4	410		23,2032	
0,9	D-TB9-1	340	0,01767	19,2417	21,3639
	D-TB9-2	380		21,5054	
	D-TB9-3	390		22,0713	
	D-TB9-4	400		22,6372	
1,2	D-TB12-1	350	0,01767	19,8076	21,0809
	D-TB12-2	370		20,9394	
	D-TB12-3	380		21,5054	
	D-TB12-4	390		22,0713	



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL
 Jl. Ir. Sutami No.36A Ketingan Surakarta 57126 Telp. (0271) 647069

Tabel A.12 (Lanjutan)

Kadar serat	Kode-No	Gaya	Luas (A)	Kuat desak	Kuat desak rata-rata
%		(kN)	(m ²)	(MPa)	(MPa)
1,5	D-TB15-1	340	0,01767	19,2417	20,2321
	D-TB15-2	350		19,8076	
	D-TB15-3	360		20,3735	
	D-TB15-4	380		21,5054	
1,8	D-TB18-1	280	0,01767	15,8461	17,6854
	D-TB18-2	310		17,5439	
	D-TB18-3	320		18,1098	
	D-TB18-4	340		19,2417	
2,1	D-TB21-1	200	0,01767	11,3186	13,5822
	D-TB21-2	240		13,5823	
	D-TB21-3	260		14,7142	
	D-TB21-4	260		14,7142	



HASIL PENGUJIAN BENDA UJI

Pengujian : KUAT TARIK BELAH BETON

Tanggal : SELASA, 30 DESEMBER 2003

Standar : SKSNI M-14-1989-F

Alat dan bahan : Mesin Desak merek "Controls" dengan kapasitas 2000 kN

Tabel A.13 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Serat Tali Beneser

Kadar serat	Kode-No	Gaya	Luas selimut ($\pi \cdot L \cdot D$)	Kuat tarik belah ($2.F / \pi \cdot L \cdot D$)	Kuat tarik belah rata-rata
%		(kN)	(m^2)	(MPa)	(MPa)
0	D-TB0-1	80	0,1413	1,1318	1,6269
	D-TB0-2	115		1,6269	
	D-TB0-3	120		1,6977	
	D-TB0-4	145		2,0513	
0,3	D-TB3-1	120	0,1413	1,6977	1,9806
	D-TB3-2	140		1,9806	
	D-TB3-3	150		2,1221	
	D-TB3-4	150		2,1221	
0,6	D-TB6-1	140	0,1413	1,9806	2,1751
	D-TB6-2	150		2,1221	
	D-TB6-3	155		2,1928	
	D-TB6-4	170		2,4050	
0,9	D-TB9-1	120	0,1413	1,6977	2,2637
	D-TB9-2	160		2,2635	
	D-TB9-3	180		2,5465	
	D-TB9-4	180		2,5464	



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL
 Jl. Ir. Sutami No.36A Ketingan Surakarta 57126 Telp. (0271) 647069

Tabel A.13 (Lanjutan)

Kadar serat	Kode-No	Gaya	Luas selimut ($\pi \cdot L \cdot D$)	Kuat tarik belah ($2 \cdot F / \pi \cdot L \cdot D$)	Kuat tarik belah rata- rata
%		(kN)	(m^2)	(MPa)	(MPa)
1,2	D-TB12-1	130	0,1413	1,8391	2,1222
	D-TB12-2	145		2,0513	
	D-TB12-3	150		2,1221	
	D-TB12-4	175		2,4757	
1,5	D-TB15-1	120	0,1413	1,6977	2,0337
	D-TB15-2	140		1,9806	
	D-TB15-3	145		2,0513	
	D-TB15-4	170		2,4050	
1,8	D-TB18-1	110	0,1413	1,5562	1,8390
	D-TB18-2	130		1,8391	
	D-TB18-3	135		1,9099	
	D-TB18-4	145		2,0513	
2,1	D-TB21-1	100	0,1413	1,4147	1,6092
	D-TB21-2	110		1,5562	
	D-TB21-3	115		1,6269	
	D-TB21-4	130		1,8391	

PEMERIKSAAN SERAT TALI BENESER

Pengujian : Kuat Tarik Serat

Tanggal : 5 Nopember 2003

Alat dan bahan :

- Digital Strength Meter Test merek “Nikitas”
- Jangka Sorong/Penggaris
- Gunting
- Serat Tali beneser

Hasil pengujian :

Tabel A.10 Hasil Pengujian Kuat Tarik Serat Tali Beneser

No	Beban Tarik (P)	$L_0 = 25 \text{ cm}$	Mulur (Elongation)
	(gram)	$H_1 \text{ (cm)}$	(%)
1	27000	8,5	1,360
2	38000	10,0	1,600
3	28000	9,0	1,440
4	38000	10,5	1,680
5	25000	8,0	1,280
6	25000	7,4	1,184
7	26000	7,9	1,264
8	31000	9,0	1,440
9	33000	9,5	1,520
10	35000	9,0	1,440
Rata-rata	30600		1,421

SOLO BAG

Perhitungan Kuat Tarik Serat

$$\begin{aligned}\text{Berat 1 m serat} &= 1 \text{ gr} \\ \text{Denier serat} &= 1 \times 9000 = 9000 \text{ gr} \\ \text{Berat Jenis serat} &= 0,65647 \text{ gr/cm}^3 \\ \\ \text{Diameter Ekuivalen serat (de)} &= 0,012 \sqrt{\frac{\text{Denier}}{\text{BeratJenis}}} \\ &= 0,012 \sqrt{\frac{9000}{0,65647}} \\ &= 1,405 \text{ mm} \\ \text{Luas Penampang serat (A)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times 1,405^2 \\ &= 1,5504 \text{ mm}^2 \\ \text{Kuat Tarik serat (S)} &= \frac{P}{A} = \frac{30600}{1,5504} = 19735,842 \text{ gram/mm}^2 \\ &= 197,35 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Perhitungan Mulur (Elongation)

$$\begin{aligned}\text{Mulur (Elongation) (e)} &= \frac{H_1}{L_0} \times 4 = \frac{H_1}{25} \times 4 \\ \text{Modulus Elastisitas (E)} &= \frac{S}{e} = \frac{197,35}{1,421} \\ &= 138,881 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Keterangan :

Denier merupakan satuan berat benang sepanjang 9000 meter

H_1 adalah nilai *strength* maksimal dimana kekuatan sudah tak mau bertambah lagi dalam keadaan benang belum putus

L_0 adalah panjang benang awal sebelum penarikan

RENCANA CAMPURAN BETON SERAT

A. Data Bahan

1. Bahan pasir : Karanganyar
2. Bahan kerikil : Pecah mesin, Karanganyar
3. Diameter kerikil : $\frac{3}{4}$ (19 mm)
4. Jenis semen : PC Type I merek Nusantara
5. Faktor air semen : 0,6
6. Volume serat : 0%, 0,3%, 0,6%, 0,9%, 1,2%, 1,5%, 1,8%, 2,1%
7. Diameter serat : 1,405 mm
8. Panjang serat : 50 mm
9. Aspect ratio (l/d) : 35,59

B. DATA SPECIFIC GRAVITY

1. Specific gravity Air : 1 000 kg/m³
2. Specific gravity Pasir SSD : 2 503 kg/m³
3. Specific gravity Kerikil SSD : 2 495 kg/m³
4. Specific gravity PC : 3 150 kg/m³
5. Specific gravity serat : 656,47 kg/m³

C. PERENCANAAN CAMPURAN BETON SERAT

(V_f = 0%, 0,3%, 0,6%, 0,9%, 1,2%, 1,5%, 1,8%, 2,1%)

1. Dari grafik B.1 dan l = 50 mm, diperoleh VB time = 15 detik,
Dari grafik B.2 untuk l/d = 35,59, diperoleh VB time <<< detik,
VB time <<<, maka adukan semakin encer
VB time >>>, maka adukan semakin baik untuk beton serat asal memenuhi
syarat (5<VB<25) detik

Dipilih VB time = 15 detik, untuk perencanaan diambil asumsi VB time rata-rata = ± 15 detik

2. Dari grafik B.3, untuk VB time = 15 detik dan tanpa *super plastisizer* (0%) diperoleh :

$$WCF = \frac{W}{C + F} = 0,5$$

3. Dari grafik B.6 untuk VB time = 15 detik diperoleh :

$$FCF = \frac{F}{C + F} = 0,3$$

4. Untuk diameter agregat kasar $\frac{3}{4}$ (19 mm) dan VB time = 15 detik dari grafik B.4 diperoleh :

$$SGCF = \frac{S + G}{C + F} = 3,9$$

5. Dipakai perbandingan Pasir : Kerikil = 2 : 3 dan VB time = 15 detik, dari grafik B.5 maka diperoleh :

$$SGCF = \frac{S + G}{C + F} = 2,631$$

dipakai SGCF = 3,9

6. Kebutuhan Semen dan Fly Ash, untuk Vf = 0,3% adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{SUM} &= \frac{FCF}{\frac{2245}{0,3}} + \frac{WCF}{\frac{1000}{0,5}} + \frac{SPCF}{1000} + \frac{SGCF}{\frac{2498,2}{3,9}} \\ &= \frac{0,3}{2245} + \frac{0,5}{1000} + 0 + \frac{3,9}{2498,2} = 0,002195 \end{aligned}$$

C = Jumlah semen

$$\begin{aligned} &= \frac{(1 - Vf)}{\frac{\text{SUM}}{1 - FCF} + \frac{1}{3150}} \\ &= \frac{1 - 0,003}{\frac{0,002195}{(1 - 0,3)} + \frac{1}{3150}} = 288,7198 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$F = \text{Jumlah fly ash} = \frac{FCF \times C}{1 - FCF} = \frac{(0,3 \times 288,7198)}{1 - 0,3} = 123,7371 \text{ kg/m}^3$$

7. Kebutuhan Semen tanpa fly ash

untuk $V_f = 0,3 \%$

$$C = 288,7198 + 123,7371 = 412,4569 \text{ kg/m}^3$$

Untuk prosentase penambahan serat yang lain hasilnya dapat ditabelkan sebagai berikut :

Tabel B.1 Hasil perhitungan kebutuhan semen tanpa fly ash

Kadar serat %	C (kg/m ³)	F (kg/m ³)	(C + F) (kg/m ³)
0	289,5886	124,1094	413,6980
0,3	288,7198	123,7371	412,4569
0,6	287,8511	123,3647	411,2158
0,9	286,9823	122,9924	409,9747
1,2	286,1135	122,6201	408,7336
1,5	285,2448	122,2478	407,4925
1,8	284,3760	121,8754	406,2514
2,1	283,5072	121,5031	405,0103

8. Berat Pasir dan Kerikil (WSG)

untuk $V_f = 0,3 \%$

$$WSG = (C+F) \times (SGCF) = 412,4569 \times 3,9 = 1608,5819 \text{ kg/m}^3$$

Untuk prosentase penambahan serat yang lain hasilnya dapat ditabelkan sebagai berikut :

Tabel B.2 Hasil perhitungan berat pasir dan kerikil

Kadar serat %	WSG (kg/m ³)
0	1613,4222
0,3	1608,5819
0,6	1603,7417
0,9	1598,9014
1,2	1594,0611

Tabel B.2 (Lanjutan)

Kadar serat %	WSG (kg/m ³)
1,5	1589,2209
1,8	1584,3806
2,1	1579,5403

9. Perbandingan berat Pasir : Kerikil = 2 : 3, untuk $V_f = 0,3\%$

$$\text{Berat Pasir} = 2/5 \times 1608,5819 = 643,4328 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Berat Kerikil} = 3/5 \times 1608,5819 = 965,1492 \text{ kg/m}^3$$

Untuk prosentase penambahan serat yang lain hasilnya adalah sebagai berikut:

Tabel B.3 Hasil perhitungan kebutuhan pasir dan kerikil tiap m³ beton serat

Kadar serat (%)	Material	Berat per m ³ (kg/m ³)
0	Pasir	645,3689
	Kerikil	968,0533
0.3	Pasir	643,4328
	Kerikil	965,1492
0.6	Pasir	641,4967
	Kerikil	962,2450
0.9	Pasir	639,5606
	Kerikil	959,3408
1.2	Pasir	637,6245
	Kerikil	956,4367
1.5	Pasir	635,6883
	Kerikil	953,5325
1.8	Pasir	633,7522
	Kerikil	950,6284
2.1	Pasir	631,8161
	Kerikil	947,7242

10. Untuk $f_{as} = 0,6$, $V_f = 0,3$ %

$$\text{Kebutuhan air} = 0,6 \times 412,4569 = 247,4741 \text{ kg/m}^3$$

Untuk prosentase penambahan serat yang lain hasilnya dapat ditabelkan sebagai berikut :

Tabel B.4 Hasil perhitungan kebutuhan air ($f_{as} = 0,6$)

Kadar serat %	Kebutuhan air (kg/m ³)
0	248,2188
0,3	247,4741
0,6	246,7295
0,9	245,9848
1,2	245,2402
1,5	244,4955
1,8	243,7509
2,1	243,0062

11. Hasil perhitungan perbandingan campuran Beton Serat tiap 1 m³ adalah:

Tabel B.5 Hasil perhitungan perbandingan campuran beton serat tiap m³

Material	Kebutuhan berat material (kg/m ³)							
	0 %	0,3 %	0,6 %	0,9 %	1,2 %	1,5 %	1,8 %	2,1 %
Semen type I	413,6980	412,4569	411,2158	409,9747	408,7336	407,4925	406,2514	405,0103
Pasir	645,3689	643,4328	641,4967	639,5606	637,6245	635,6883	633,7522	631,8161
Kerikil	968,0533	965,1492	962,2450	959,3408	956,4367	953,5325	950,6284	947,7242
Air $f_{as} : 0,6$	248,2188	247,4741	246,7295	245,9848	245,2402	244,4955	243,7509	243,0062

Tabel B.6 Kebutuhan serat tali beneser tiap m³

Kadar Serat (%)	Kebutuhan Serat Tali Beneser (Kg) (Bj: 656,47 kg/m ³)
0,3	1,9694
0,6	3,9388
0,9	5,9082
1,2	7,8776
1,5	9,8470
1,8	11,8165
2,1	13,7859

12. Rekapitulasi kebutuhan bahan untuk setiap perlakuan :

Benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat desak dan kuat tarik belah beton berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, dengan jumlah sampel pada masing-masing pengujian beton serat 4 buah.

Volume beton tiap kelompok :

Pengujian kuat desak : $4 (0,25 \cdot \pi \cdot 0,15^2 \cdot 0,3) : 0,0212 \text{ m}^3$

Pengujian kuat tarik belah : $4 (0,25 \cdot \pi \cdot 0,15^2 \cdot 0,3) : 0,0212 \text{ m}^3$

Volume tiap kelompok : 0,0424 m³

Dibulatkan menjadi 0,043 m³

Kebutuhan bahan dasar tiap kelompok adalah

Misal untuk Vf = 0,3 %

- a. Semen (Pc) : $0,043 \times 413,6980 : 17,7356 \text{ kg}$
- b. Pasir : $0,043 \times 645,3689 : 27,6676 \text{ kg}$
- c. Kerikil : $0,043 \times 968,0533 : 41,5014 \text{ kg}$
- d. Air : $0,043 \times 248,2188 : 10,6414 \text{ kg}$
- e. Serat : $0,043 \times 1,9694 : 0,08468 \text{ kg}$

Hasil perhitungan selanjutnya disajikan dalam tabel sebagai berikut :

Tabel B.7 Kebutuhan bahan dasar tiap perlakuan

Kel / Kode	Serat		Proporsi Campuran			
	Kadar (%)	Berat (gr)	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (lt)
I / D-TB0	0	0	17,7890	27,7509	41,6263	10,6734
II / D-TB3	0,3	84,6842	17,7357	27,6676	41,5014	10,6414
III / D-TB6	0,6	169,3727	17,6823	27,5844	41,3765	10,6094
IV / D-TB9	0,9	254,0526	17,6289	27,5011	41,2517	10,5773
V / D-TB12	1,2	338,7368	17,5755	27,4178	41,1268	10,5453
VI / D-TB15	1,5	423,4210	17,5222	27,3346	41,0019	10,5133
VII / D-TB18	1,8	508,1052	17,4688	27,2513	40,8770	10,4813
VIII / D-TB21	2,1	592,7894	17,4154	27,1681	40,7521	10,4493
JUMLAH		2371,162	140,8178	219,6758	329,5137	84,4907

UJI NORMALITAS DATA METODE *LILIEFORS*

Pengujian normalitas yang diterapkan dalam bidang eksakta digunakan metode *Liliefors*. Dalam pengujian normalitas *Liliefors* ini sebaran data kuat desak dan kuat tarik belah kelompok benda uji harus bersifat normal.

Dari hasil uji yang dilakukan dengan metode *Liliefors*, ternyata sebaran semua benda uji masih bersifat normal. Berikut tata cara dan langkah-langkah perhitungan untuk uji normalitas metode *Liliefors*, dengan data kuat desak beton serat dan kuat tarik belah beton serat dalam berbagai konsentrasi serat.

A. Perhitungan Uji Normalitas Metode *Liliefors* Pengujian Kuat Desak

Perhitungan uji normalitas metode *Liliefors* untuk pengujian kuat desak dengan konsentrasi serat 0 %, tata cara dan langkah-langkah perhitungan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Menentukan nilai kuat desak beton rata-rata (X)

$$X = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4}{4}$$

$$X = \frac{19,2417 + 20,3735 + 20,9394 + 20,9394}{4}$$

$$X = 20,3735 \text{ MPa}$$

2. Menentukan simpangan baku (Sd)

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [X_i - X]^2}{n - 1}}$$

$$Sd = 0,8004$$

3. Menentukan Z_i

$$Z_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$$

$$Z_1 = \frac{19,2417 - 20,3735}{0,8004} = -1,41$$

$$Z_2 = \frac{20,3735 - 20,3735}{0,8004} = 0$$

$$Z_3 = \frac{20,9394 - 20,3735}{0,8004} = 0,71$$

$$Z_4 = \frac{20,9394 - 20,3735}{0,8004} = 0,71$$

4. Menentukan $F(Z_i)$, dengan mencari harga z_i berdasarkan tabel C.3 (Lampiran), diperoleh :

$$z = 0,4207 \quad F(Z_1) = 0,5 - 0,4207 = 0,0793$$

$$z = 0 \quad F(Z_2) = 0,5 - 0,0000 = 0,5000$$

$$z = 0,2611 \quad F(Z_3) = 0,5 + 0,2611 = 0,7611$$

$$z = 0,2611 \quad F(Z_4) = 0,5 + 0,2611 = 0,7611$$

5. Menentukan $S(Z_i)$, dimana :

$$S(Z_i) = \frac{\text{banyaknya } Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n \text{ yang } \leq Z_i}{n}$$

$$S(Z_1) = 1/4 = 0,2500$$

$$S(Z_2) = 2/4 = 0,5000$$

$$S(Z_3) = 3/4 = 0,7500$$

$$S(Z_4) = 4/4 = 1,0000$$

6. Menentukan harga mutlak selisih antara $F(Z_i)$ dengan $S(Z_i)$

$$[F(Z_1) - S(Z_1)] = [0,0793 - 0,2500] = 0,1707$$

$$[F(Z_2) - S(Z_2)] = [0,5000 - 0,5000] = 0$$

$$[F(Z_3) - S(Z_3)] = [0,7611 - 0,7500] = 0,0111$$

$$[F(Z_4) - S(Z_4)] = [0,7611 - 1,0000] = 0,2389$$

7. Menentukan L_o , dimana L_o merupakan harga terbesar diantara harga-harga mutlak ($L_o = 0,2389$)
8. Menentukan L_{cr} , berdasarkan tabel C.4 (Lampiran) diperoleh $L_{cr} = 0,3810$
9. Membandingkan L_o dengan L_{cr} , berdasarkan hasil diatas diperoleh $L_o = (0,2389) < L_{cr} = (0,3810)$, sehingga dapat disimpulkan bahwa sebaran kelompok data uji berdistribusi normal.

Dengan menggunakan prosedur yang sama seperti diatas, dilakukan uji normalitas kuat desak dengan metode *Liliefors* terhadap berbagai variasi konsentrasi serat dan hasil pengujian secara lengkap dapat dilihat pada Tabel C.1

Dari hasil uji normalitas yang dilakukan dengan metode *Liliefors* untuk uji kuat desak beton serat yang terlihat pada Tabel C.1, ternyata secara keseluruhan nilai $L_o < L_{cr}$ sehingga dapat disimpulkan bahwa semua benda uji masih terdistribusi normal.

B. Perhitungan Uji Normalitas Metode Liliefors Pengujian Kuat Tarik Belah

Perhitungan uji normalitas metode *Liliefors* untuk pengujian kuat tarik belah dengan konsentrasi serat 0 %, tata cara dan langkah-langkah perhitungan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Menentukan nilai kuat tarik belah beton rata-rata (\bar{X})

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4}{4}$$

$$\bar{X} = \frac{1,1318 + 1,6269 + 1,6977 + 2,0513}{4}$$

$$\bar{X} = 1,6269 \text{ MPa}$$

2. Menentukan simpangan baku (S_d)

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [X_i - \bar{X}]^2}{n - 1}}$$

$$S_d = 0,3787$$

3. Menentukan Z_i

$$Z_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$$

$$Z_1 = \frac{1,1318 - 1,6269}{0,3787} = -1,31$$

$$Z_2 = \frac{1,6269 - 1,6269}{0,3787} = 0$$

$$Z_3 = \frac{1,6977 - 1,6269}{0,3787} = 0,19$$

$$Z_4 = \frac{2,0513 - 1,6269}{0,3787} = 1,12$$

4. Menentukan $F(Z_i)$, dengan mencari harga z_i berdasarkan tabel C.3 (Lampiran), diperoleh :

$$z = 0,4049 \quad F(Z_1) = 0,5 - 0,4049 = 0,0951$$

$$z = 0 \quad F(Z_2) = 0,5 + 0,0000 = 0,5000$$

$$z = 0,0754 \quad F(Z_3) = 0,5 + 0,0754 = 0,5754$$

$$z = 0,3686 \quad F(Z_4) = 0,5 + 0,3686 = 0,8686$$

5. Menentukan $S(Z_i)$, dimana :

$$S(Z_i) = \frac{\text{banyaknya } Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n \text{ yang } \leq Z_i}{n}$$

$$S(Z_1) = 1/4 = 0,2500$$

$$S(Z_2) = 2/4 = 0,5000$$

$$S(Z_3) = 3/4 = 0,7500$$

$$S(Z_4) = 4/4 = 1,0000$$

6. Menentukan harga mutlak selisih antara $F(Z_i)$ dengan $S(Z_i)$

$$[F(Z_1) - S(Z_1)] = [0,0951 - 0,2500] = 0,1549$$

$$[F(Z_2) - S(Z_2)] = [0,5000 - 0,5000] = 0$$

$$[F(Z_3) - S(Z_3)] = [0,5754 - 0,7500] = 0,1746$$

$$[F(Z_4) - S(Z_4)] = [0,8686 - 1,0000] = 0,1314$$

7. Menentukan L_o , dimana L_o merupakan harga terbesar diantara harga-harga mutlak ($L_o = 0,1746$)
8. Menentukan L_{cr} , berdasarkan tabel C.4 (Lampiran) diperoleh $L_{cr} = 0,3810$
9. Membandingkan L_o dengan L_{cr} , berdasarkan hasil diatas diperoleh $L_o = (0,1746) < L_{cr} = (0,3810)$, sehingga dapat disimpulkan bahwa sebaran kelompok data uji berdistribusi normal.

Dengan menggunakan prosedur yang sama seperti diatas, dilakukan uji normalitas kuat tarik belah dengan metode *Liliefors* terhadap berbagai variasi konsentrasi serat dan hasil pengujian secara lengkap dapat dilihat pada Tabel C.2

Dari hasil uji normalitas yang dilakukan dengan metode *Liliefors* untuk uji kuat tarik belah beton serat yang terlihat pada Tabel C.2, ternyata secara keseluruhan nilai $L_o < L_{cr}$ sehingga dapat disimpulkan bahwa semua benda uji masih terdistribusi normal.

Tabel C.1 Uji Normalitas Kuat Desak Beton

Vf (%)	KUAT DESAK (Xi)	KUAT DESAK RERATA (X)	STANDAR DEVIASI (Sd)	Zi	F(z)	S(z)	F(z)- S(z)	Lo	Lkr	KET
0	19,2417	20,3735	0,8004	-1,41	0,0793	0,2500	0,1707	0,2389	0,381	NORMAL
	20,3735			0,00	0,5000	0,5000	0,0000			
	20,9395			0,71	0,7611	0,7500	0,0111			
	20,9395			0,71	0,7611	1,0000	0,2389			
0.3	19,2417	21,0809	1,3372	-1,38	0,0838	0,2500	0,1662	0,2296	0,381	NORMAL
	20,9394			-0,11	0,4562	0,5000	0,0438			
	22,0713			0,74	0,7704	0,7500	0,0204			
	22,0713			0,74	0,7704	1,0000	0,2296			
0.6	20,3735	21,6469	1,1667	-1,09	0,1379	0,2500	0,1121	0,2978	0,381	NORMAL
	21,5054			-0,12	0,4522	0,5000	0,0478			
	21,5054			-0,12	0,4522	0,7500	0,2978			
	23,2032			1,33	0,9082	1,0000	0,0918			
0.9	19,2417	21,3639	1,4883	-1,43	0,0764	0,2500	0,1736	0,1948	0,381	NORMAL
	21,5054			0,10	0,5396	0,5000	0,0396			
	22,0713			0,48	0,6844	0,7500	0,0656			
	22,6372			0,86	0,8052	1,0000	0,1948			
1.2	19,8076	21,0809	0,9665	-1,32	0,0934	0,2500	0,1566	0,1566	0,381	NORMAL
	20,9394			-0,15	0,4404	0,5000	0,0596			
	21,5054			0,44	0,6700	0,7500	0,0800			
	22,0713			1,02	0,8461	1,0000	0,1539			
1.5	19,2417	20,2321	0,9665	-1,02	0,1539	0,2500	0,0961	0,1904	0,381	NORMAL
	19,8076			-0,44	0,3300	0,5000	0,1700			
	20,3735			0,15	0,5596	0,7500	0,1904			
	21,5054			1,32	0,9066	1,0000	0,0934			
1.8	15,8461	17,6854	1,4148	-1,30	0,0968	0,2500	0,1532	0,1532	0,381	NORMAL
	17,5439			-0,10	0,4604	0,5000	0,0396			
	18,1098			0,30	0,6179	0,7500	0,1321			
	19,2417			1,10	0,8643	1,0000	0,1357			
2.1	11,3186	13,5823	1,6007	-1,41	0,0793	0,2500	0,1707	0,2389	0,381	NORMAL
	13,5823			0,00	0,5000	0,5000	0,0000			
	14,7142			0,71	0,7611	0,7500	0,0111			
	14,7142			0,71	0,7611	1,0000	0,2389			

Tabel C.2 Uji Normalitas Kuat Tarik Belah Beton

Vf (%)	KUAT TARIK BELAH (Xi)	KUAT TARIK BELAH RERATA (Xm)	STANDAR DEVIASI (Sd)	Zi	F(z)	S(z)	F(z)-S(z)	Lo	Lkr	KET
0	1,1318	1,6269	0,3787	-1,31	0,0951	0,2500	0,1549	0,1746	0,381	NORMAL
	1,6269			0,00	0,5000	0,5000	0,0000			
	1,6977			0,19	0,5754	0,7500	0,1746			
	2,0513			1,12	0,8686	1,0000	0,1314			
0,3	1,6977	1,9806	0,2001	-1,41	0,0793	0,2500	0,1707	0,2389	0,381	NORMAL
	1,9806			0,00	0,5000	0,5000	0,0000			
	2,1221			0,71	0,7611	0,7500	0,0111			
	2,1221			0,71	0,7611	1,0000	0,2389			
0,6	1,9806	2,1751	0,1768	-1,10	0,1357	0,2500	0,1143	0,2104	0,381	NORMAL
	2,1221			-0,30	0,3821	0,5000	0,1179			
	2,1928			0,10	0,5396	0,7500	0,2104			
	2,4050			1,30	0,9032	1,0000	0,0968			
0,9	1,6977	2,2637	0,4001	-1,41	0,0793	0,2500	0,1707	0,2389	0,381	NORMAL
	2,2635			0,00	0,5000	0,5000	0,0000			
	2,5465			0,71	0,7611	0,7500	0,0111			
	2,5464			0,71	0,7611	1,0000	0,2389			
1,2	1,8391	2,1222	0,2647	-1,07	0,1423	0,2500	0,1077	0,2500	0,381	NORMAL
	2,0513			-0,27	0,3936	0,5000	0,1064			
	2,1221			0,00	0,5000	0,7500	0,2500			
	2,4757			1,34	0,9099	1,0000	0,0901			
1,5	1,6977	2,0337	0,2909	-1,15	0,1251	0,2500	0,1249	0,2261	0,381	NORMAL
	1,9806			-0,18	0,4286	0,5000	0,0714			
	2,0513			0,06	0,5239	0,7500	0,2261			
	2,4050			1,28	0,8997	1,0000	0,1003			
1,8	1,5562	1,8390	0,2082	-1,36	0,0869	0,2500	0,1631	0,1631	0,381	NORMAL
	1,8391			0,00	0,5000	0,5000	0,0000			
	1,9099			0,34	0,6331	0,7500	0,1169			
	2,0513			1,02	0,8461	1,0000	0,1539			
2,1	1,4147	1,6092	0,1768	-1,10	0,1357	0,2500	0,1143	0,2104	0,381	NORMAL
	1,5562			-0,30	0,3821	0,5000	0,1179			
	1,6269			0,10	0,5396	0,7500	0,2104			
	1,8391			1,30	0,9032	1,0000	0,0968			



Gambar E.1 Oven Merek *Memmert West Germany*



Gambar E.2 Ayakan Baja Merek *Controls Italy*, Untuk Uji Gradasi Agregat



Gambar E.3 Neraca Merek *Murayama Seisakusho Ltd Japan* Kapasitas 5 Kg



Gambar E.4 Alat Uji Kuat Tarik Tali (*Digital Strength Meter Test*)
Merek *Nikitas* Buatan Eropa



Gambar E.5 Penimbangan Agregrat, Semen, dan Serat



Gambar E.6 Pengadukan Menggunakan Molen (*Concrete Mixer*)



Gambar E.7 Pengujian Nilai *Slump*



Gambar E.8 Pengujian Nilai *YB-Time* diatas Meja Getar



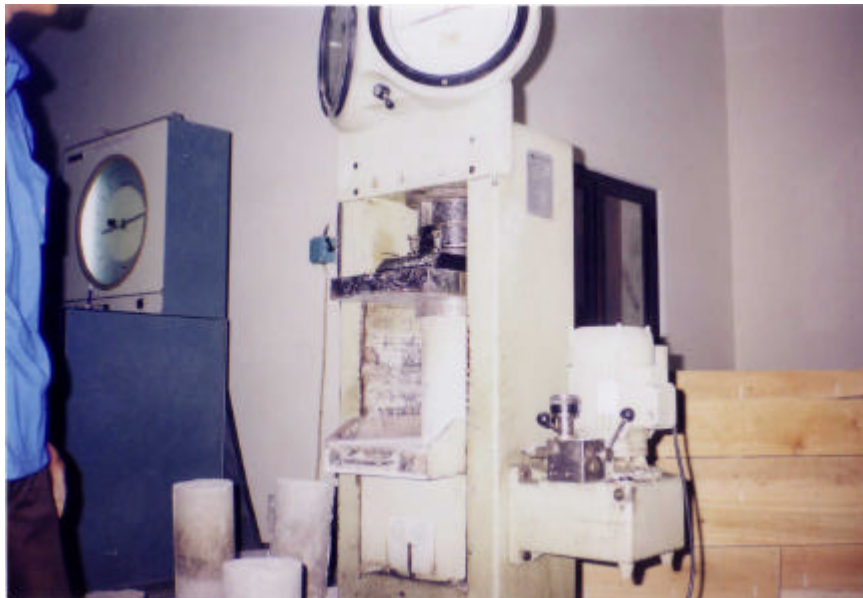
Gambar E.9 Pemadatan dengan Menggunakan *Vibrator*



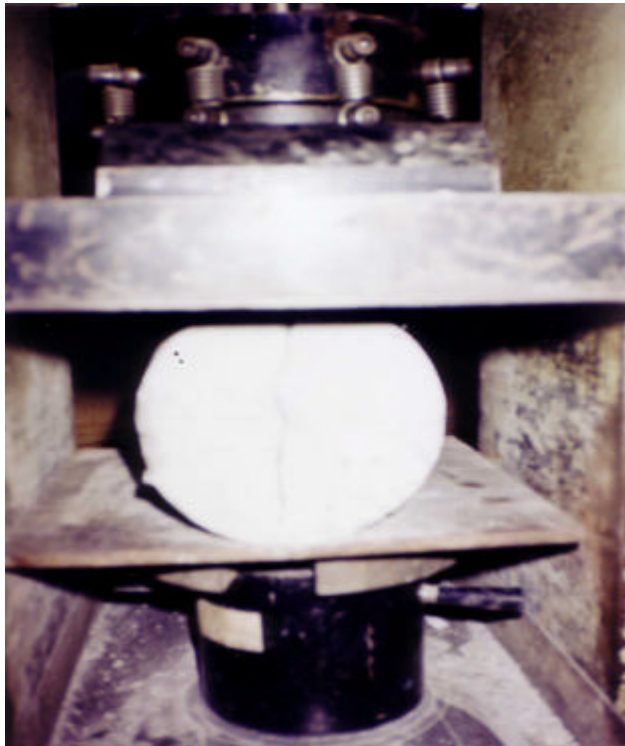
Gambar E.10 Benda Uji Silinder



Gambar E.11 Perendaman Benda Uji



Gambar E.12 Pengujian Kuat Desak Beton dengan *Compression Testing Machine*



Gambar E.13 Pengujian Kuat tarik Belah Beton dengan
Compression Testing Machine



Gambar E.14 Benda Uji Setelah Diuji Kuat Tarik Belah dengan
Compression Testing Machine

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1988, *Annual Book of American Society for Testing and Material Standard*, Philadelphia.
- Anonim, 1995, *Pedoman Penulisan Skripsi dan Kerja Praktek Fakultas Teknik*, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Anonim, 1977, *Pedoman Beton Bertulang Indonesia 1971 NI – 2*, Departemen Pekerjaan Umum dan tenaga Listrik, Bandung.
- Bambang Suhendro, 1992, *Beton Fiber Lokal Konsep Aplikasi dan Permasalahannya*, PAU Ilmu Teknik UGM, Yogyakarta.
- David Yanuar, 2003, *Kuat Desak dan Tarik Belah pada Beton dengan Variasi Penambahan Anyaman Serat Polypropylene Melt #300*, Skripsi, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Istimawan Dipohusodo, 1994, *Struktur Beton Bertulang*, Gramedia, Jakarta.
- Kardiyono Tjokrodinuljo, 1996, *Teknologi Beton*, Nafiri, Yogyakarta.
- Murdock, L. J. & Brook, K. M, (alih bahasa : Stepanus Hendarko), 1991, *Bahan dan Praktek Beton*, Erlangga, Jakarta.
- Neville. A. M. dan Brooks J.J., 1987, *Concrete Technology*, Longman Scientific & Technical, New York.
- Paulus Nugraha, 1989, *Teknologi Beton*, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Perumalsamy N, Balaguru, and Shah, Surendra P, 1992, *Fiber-Reinforced Cement Composites*, Mc Graw-Hill, Singapore.
- Rooseno, 1954, *Beton Bertulang*, Teragung, Jakarta.
- Soroushian P and Z. Bayasi, 1987, *Concept of Fiber Reinforced Concrete*, Dept Of Civil and Environmental Engineering, Michigan State University, Michigan.
- Sudarmoko, 1990, *Beton Serat Suatu Bentuk Beton Baru*, Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Sudjana, 1996, *Metode Statistik*, Edisi Keenam, Tarsito, Bandung.
- Wang C.K, Salmon C.G, 1990. *Desain Beton Bertulang*, Jilid I, Erlangga, Jakarta.