



**PENGARUH PEMAKAIAN SERAT KAWAT BERKAIT PADA
KEKUATAN BETON MUTU TINGGI BERDASARKAN
OPTIMASAI DIAMETER SERAT**

TESIS

**Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan
Program Magister Teknik Sipil**

Oleh

**Ananta Ariatama
NIM. L4A.002.044**

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2007**

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH PEMAKAIAN SERAT KAWAT BERKAIT PADA
KEKUATAN BETON MUTU TINGGI BERDASARKAN
OPTIMASI DIAMETER SERAT**

Disusun Oleh :

Ananta Ariatama

NIM : L4A.002.044

Dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal :

20 Juni 2007

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Magister Teknik Sipil

Tim penguji :

- | | | |
|---------------|---------------------------|-------|
| 1. Ketua | : Dr. Ir. Sri Tadjono, MS | |
| 2. Sekretaris | : Ir. Hari Warsianto, MS | |
| 3. Anggota 1 | : Ir. Himawan Indarto, MS | |
| 4. Anggota 2 | : Ir. Windu Partono, M.Sc | |

Semarang, Juli 2007

Universitas Diponegoro
Program Pascasarjana
Magister Teknik Sipil
Ketua,

Dr. Ir. Suripin, M.Eng
NIP. 131668511

ABSTRACT

Concrete has weakness in the lower tensile strength and it is brittle so that concrete is given steel enforcement to overcome it. In the research, the concrete mix is given additional material of galvanic fiber wire. The addition is meant to increase the strength of the concrete.

Wire fiber used is 0.6 mm in diameter and 36 mm, 45 mm and 54 mm in length. For the diameter of 0.9 mm, the lengths are 54 mm, 67.5 mm and 81 mm. For the diameter of 1.2 mm, the lengths are 72 mm, 90 mm and 108 mm so that it is gained the ratio aspect of every diameter as many as 60, 75 and 90. The test on the concrete includes compressive strength test, tensile strength test and flexural strength test. The compressive and tensile strength test were conducted on cylindrical testing materials with 300 mm in height and 150 mm in diameter. The test of flexural strength was conducted on a beam shaped material with size of 150 mm × 150 mm × 600 mm. Fiber used is hooked. The testing material consists of 54 cylinders and 27 fiber concrete cubes as well as 6 cylinders and 3 normal concrete cubes. The fiber concentration for each fiber concrete is 2 %.

From the slump test, it can be concluded that the adding and increasing of the fiber diameter will reduce workability of the concrete mix. From the test, it is gained that the compressive strength test, tensile strength test and flexural strength test of the concrete are higher than they are in normal concrete. From the test on compressive strength and tensile strength, it is gained optimum value on the diameter of 0.9 mm and the fiber length of 67.5 mm. The compressive strength test rises as many as 14.67 % compared with it is at normal concrete. The tensile strength test rises as many as 33.46 % from it is of normal concrete. From flexural strength test of the concrete, it is gained the optimal value at the diameter of 0.9 mm with the length of 54 mm. In the flexural strength test, it is gained a rise of 48.06 % compared with it is at normal concrete.

INTISARI

Beton mempunyai kelemahan yaitu mempunyai kuat tarik yang rendah dan bersifat getas (*brittle*) sehingga beton diberi tulangan baja untuk mengatasi tegangan tarik. Pada penelitian ini campuran beton diberi bahan tambah serat dari kawat galvanis. Dengan penambahan serat ini diharapkan diperoleh peningkatan kekuatan pada beton.

Serat kawat yang digunakan mempunyai diameter 0,6 mm dengan panjang 36 mm, 45 mm dan 54 mm. Untuk diameter 0,9 mm dengan panjang 54 mm, 67,5 mm dan 81 mm. Untuk diameter 1,2 mm dengan panjang 72 mm, 90 mm dan 108 mm sehingga diperoleh aspek rasio untuk tiap-tiap diameter 60, 75 dan 90. Pengujian beton meliputi kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur. Untuk pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah dilakukan terhadap benda uji berbentuk silinder dengan tinggi 300 mm dan diameter 150 mm. Untuk pengujian kuat lentur dilakukan terhadap benda uji berbentuk balok dengan ukuran 150 mm × 150 mm × 600 mm. Serat yang digunakan dalam bentuk berkait. Benda uji terdiri dari 54 silinder dan 27 balok beton serat serta 6 silinder dan 3 balok beton normal. Konsentrasi serat untuk masing-masing beton serat adalah 2 %.

Dari pengujian *slump test* dapat disimpulkan bahwa penambahan serta semakin besarnya diameter serat akan menurunkan *workability* dari campuran beton. Dan dari pengujian diperoleh kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur beton yang lebih tinggi dari beton normal. Sedangkan dari hasil pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah didapatkan nilai yang optimal pada diameter 0,9 mm dengan panjang serat 67,5 mm. Untuk kuat tekan mengalami peningkatan 14,67 % dibandingkan beton normal. Untuk kuat tarik belah mengalami peningkatan 33,46 % dari beton normal. Dari pengujian kuat lentur beton didapatkan nilai yang optimal pada diameter 0,9 mm dengan panjang 54 mm. Pada pengujian kuat lentur diperoleh peningkatan 48,06 % dibandingkan beton normal.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan berkat dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul **“Pengaruh Pemakaian Serat Kawat Berkait Pada Kekuatan Beton Mutu Tinggi Berdasarkan Optimasi Diameter Serat”**.

Laporan tesis ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan program studi S-2 pada Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang.

Dengan selesainya tesis ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Suripin, M.Eng selaku Ketua Program Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang
2. Dr. Ir. Sri Tadjono, MS selaku dosen pembimbing pertama
3. Ir. Hari Warsianto, MS selaku dosen pembimbing kedua
4. Ir. Han Ay Lie, M.Eng selaku Kepala Laboratorium Bahan Bangunan
5. Bapak dan ibu dosen di lingkungan Program Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang
6. Semua pihak yang telah membantu yang tidak mungkin disebutkan satu persatu

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini masih belum sempurna dan masih terdapat kekurangan. Hal ini dikarenakan keterbatasan waktu dan pengetahuan dari penulis, oleh karena itu saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan tesis ini.

Akhir kata semoga atas kesediaan semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan tesis ini, selalu mendapatkan berkat dan karunia dari Tuhan Yang Maha Esa. Penulis berharap agar hasil dari tulisan ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

Semarang, Juni 2007

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
ABSTRACT	iii
INTISARI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1.1 Latar Belakang.....	I-1
1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian	I-2
1.3 Batasan Masalah.....	I-3
1.4 Sistematika Penulisan.....	I-3
BAB II STUDI PUSTAKA	II-1
2.1 Beton Serat	II-1
2.2 Serat <i>Polypropylene</i>	II-2
2.3 Serat <i>Carbon</i>	II-2
2.4 Serat Baja.....	II-2
2.5 Serat Kawat	II-4
BAB III METODOLOGI	III-1
3.1 Alur Penelitian.....	III-1
3.2 Perhitungan Rencana Campuran Beton (<i>Mix Design</i>).....	III-2
3.3 Perencanaan Campuran Beton Mutu Tinggi	III-2
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	IV-1
4.1 Hasil Pengujian.....	IV-1
4.1.1 Hasil Pengujian <i>Workability</i>	IV-1
4.1.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	IV-1

	4.1.3 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	IV-2
	4.1.4 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton.....	IV-4
4.2	Pembahasan	IV-5
	4.2.1 Hasil Pegujian <i>Workability</i> (kelecakan)	IV-5
	4.2.2 Penelitian Awal	IV-6
	4.2.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	IV-7
	4.2.4 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	IV-10
	4.2.5 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton.....	IV-13
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	V-1
	5.1 Kesimpulan	V-1
	5.2 Saran.....	V-2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
3.1	Kebutuhan Bahan-bahan Susun Adukan (Untuk Setiap 1 m ³ Beton Fiber)	III-4
3.2	Perkiraan Kuat Tekan Beton Normal dengan Semen Tipe I dan II dengan fas = 0,5.....	III-10
3.3	Perkiraan Jumlah Air Bebas (Agregat dalam Keadaan SSD) untuk Mengaduk 1 m ³ Beton, untuk Berbagai Drajat Kelecakan, dalam Liter.....	III-11
3.3	Nilai Deviasi Standar.....	III-12
3.4	Jumlah Semen Minimum dan Jumlah Fas Maksimum untuk Berbagai Jenis Pekerjaan Beton	III-12
4.1	Hasil Pengujian <i>Workability</i> Beton Normal dan Beton Serat	IV-1
4.2	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari	IV-1
4.3	Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Umur 28 Hari.....	IV-3
4.4	Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Umur 28 Hari	IV-4
4.5	Hasil Optimasi Penelitian	IV-19

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
2.1.	Berbagai Tipe Bentuk Fiber Baja	II-3
2.2.	Grafik Kuat Tekan dengan Panjang Serat (Sudarmoko, 1993)	II-7
2.3.	Grafik Kuat Tarik dengan Panjang Serat (Sudarmoko, 1993)	II-7
2.4.	Bentuk Fiber yang Digunakan.....	II-8
3.1	Diagram Alur Kegiatan	III-1
3.2	Hubungan Antara Kuat Tekan Beton dan Fas	III-11
3.3	Hubungan Antara Berat Volume Beton Segar, Jumlah Air Pengaduk dan Berat Jenis SSD Agregat Gabungan	III-26
4.1	Hubungan Slump Dengan Diameter Serat Pada $l/d = 60, 75$ dan 90	IV-6
4.2	Hubungan Kuat Tekan Dengan Diameter Serat Pada $l/d = 60, 75$ dan 90	IV-7
4.3	Hubungan Kuat Tekan Dengan l/d Pada Diameter $0,6 ; 0,9$ dan $1,2$ mm	IV-9
4.4	Hubungan Kuat Tarik Belah Dengan Diameter Serat Pada $l/d = 60, 75$ dan 90	IV-11
4.5	Hubungan Kuat Tarik Belah Dengan l/d Pada Diameter $0,6 ; 0,9$ dan $1,2$ mm	IV-12
4.6	Hubungan Kuat Lentur Dengan Diameter Serat Pada $l/d = 60, 75$ dan 90	IV-13
4.7	Hubungan Kuat Lentur Dengan l/d Pada Diameter $0,6 ; 0,9$ dan $1,2$ mm.....	IV-14

DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang

d	Tinggi balok
f'_c	Kuat tekan yang disyaratkan
f'_{cr}	Kuat tekan rata-rata yang direncanakan
l	Panjang
P	Beban maksimum
R	Kuat lentur
V	Gaya lintang
V_{fb}	Volume fiber kawat
V_{hg}	Volume air raksa
γ_{hg}	Berat jenis air raksa
γ_{fb}	Berat jenis fiber

Singkatan

ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Strength Test Material
MPa	Mega Pascal
PUBI	Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia
PPC	Portland Pozzolan Cement

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Judul	Halaman
A.	Perhitungan Berat Jenis Fiber Kawat	L-1
B.	Kandungan Lumpur dan Kotoran Organik Pasir	L-2
C.	Analisa Saringan Pasir	L-3
D.	Analisa Pasir	L-4
E.	Analisa Saringan Kerikil	L-5
F.	Analisa Kerikil	L-6
G.	Pengujian Tingkat Keausan Agregat Kasar (Kerikil) dengan Mesin <i>Los Angeles</i>	L-7
H.	Modulus Halus Pasir dan Kerikil	L-8
I.	Perhitungan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	L-10
J.	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	L-13
K.	Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	L-15
L.	Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton	L-17
M.	Penampang Pecah Beton Serat	L-19
N.	Gambar Penampang Pecah Kuat Tekan Beton	L-20
O.	Gambar Penampang Retak Kuat Tarik Belah Beton	L-25
P.	Gambar Penampang Pecah dan Retak Kuat Lentur Beton	L-30
Q.	Hubungan <i>slump</i> dengan diameter serat pada $l/d = 60, 75$ dan 90	L-35
R.	Hubungan kuat tekan dengan diameter serat pada $l/d = 60, 75$ dan 90	L-36
S.	Hubungan kuat tekan dengan l/d pada diameter $0,6$ mm, $0,9$ mm dan $1,2$ mm	L-37
T.	Hubungan kuat tarik belah dengan diameter serat pada $l/d = 60, 75$ dan 90 ...	L-38
U.	Hubungan kuat tarik belah dengan l/d pada diameter $0,6$ mm, $0,9$ mm dan $1,2$ mm	L-39
V.	Hubungan kuat lentur dengan diameter serat pada $l/d = 60, 75$ dan 90	L-40
W.	Hubungan kuat lentur dengan l/d pada diameter $0,6$ mm, $0,9$ mm dan $1,2$ mm	L-41

X.	Hasil komparasi beton non serat dan beton serat dari segi ekonomis	L-42
Y.	Sifat galvanis beton	L-43
Z.	Bahan, Pelaksanaan dan Pengujian Penelitian	L-44

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton sangat 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 bilamana dituang dalam cetakan kemudian dibiarkan maka akan mengeras seperti batuan. Pengerasan itu terjadi oleh peristiwa reaksi kimia antara air dan semen, yang berlangsung selama waktu yang panjang dan akibatnya campuran itu selalu bertambah keras setara dengan umurnya. Beton yang sudah keras dapat dianggap sebagai batu tiruan dengan rongga-rongga antara butiran yang besar (agregat kasar, kerikil atau batu pecah) diisi oleh butiran yang lebih kecil (agregat halus, pasir) dan pori-pori antara agregat halus ini diisi oleh semen dan air (pasta semen).

Secara struktural beton mempunyai tegangan tekan cukup besar, sehingga sangat bermanfaat untuk struktur dengan gaya-gaya tekan dominan. Kelemahan struktur beton adalah kuat tariknya yang sangat rendah dan bersifat getas (*brittle*), sehingga untuk menahan gaya tarik beton diberi baja tulangan. Penambahan baja tulangan belum memberikan hasil yang benar-benar memuaskan. Retak-retak melintang halus masih sering timbul didekat baja yang mendukung gaya tarik.

Dalam perancangan struktur beton, tegangan tarik yang terjadi ditahan oleh baja tulangan, sedang beton tarik tidak diperhitungkan menahan tegangan-tegangan tarik yang terjadi karena beton akan segera retak jika mendapat tegangan tarik yang melampaui kuat tarik. Ditinjau dari segi keawetan struktur, retakan ini akan mengakibatkan korosi pada baja tulangan sehingga akan mengurangi luas tampang baja tulangan, meski dari tinjauan struktur retak ini belum membahayakan. Hal ini berarti merupakan suatu pemborosan, karena pada kenyataannya daerah beton tarik itu betul-betul ada dan juga harus dilaksanakan.

Dengan suatu perancangan khusus, kuat tarik beton ini dapat ditingkatkan sehingga mampu menahan tegangan tarik tanpa mengalami retakan. Salah satu cara adalah dengan penambahan serat-serat pada adukan beton sehingga retak-retak yang mungkin terjadi akibat

tegangan tarik pada daerah beton tarik akan ditahan oleh serat-serat tambahan ini, sehingga kuat tarik beton serat dapat lebih tinggi dibanding kuat tarik beton biasa.

Di negara-negara maju seperti Amerika dan Inggris, para peneliti telah berusaha memperbaiki sifat-sifat kurang baik dari beton tersebut dengan cara menambahkan serat atau fiber pada adukan beton. Pemikiran dasarnya adalah menulangi beton dengan fiber yang disebarkan merata ke dalam beton segar secara acak (*random*) dan merata, sehingga dapat mencegah terjadinya retakan-retakan beton yang terlalu dini, baik akibat panas hidrasi maupun pembebanan.

Berbagai jenis bahan fiber yang dapat dipakai untuk memperbaiki sifat beton adalah baja (*steel*), plastik (*polypropylene*), *polymers*, asbes dan *carbon*. Di Indonesia, konsep pemakaian fiber baja pada adukan beton untuk struktur bangunan teknik sipil belum banyak dikenal dan belum dipakai dalam praktek. Salah satu sebabnya adalah tidak tersedianya fiber baja di Indonesia dan harganya yang mahal.

Suhendro (1991), telah menemukan bahan lokal yang mudah didapat di Indonesia juga harganya lebih murah dibandingkan dengan fiber baja berupa potongan kawat bendrat diameter 1 mm, panjang 60 mm (aspek rasio $l/d = 60$). Hasilnya menunjukkan peningkatan kualitas beton yaitu beton menjadi sangat liat atau daktail (*ductile*), kuat desak, kuat tarik dan ketahanan terhadap kejut juga meningkat.

Hal ini menggugah untuk meneliti lebih luas mengenai penggunaan bahan lokal untuk beton fiber. Penelitian ini menggunakan bahan lokal yang mudah didapat di Indonesia dengan menggunakan kawat galvanis sebagai bahan fiber untuk campuran beton.

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Penelitian ini dimaksudkan 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. Nilai kuat tarik optimum dalam variabel diameter dan panjang fiber pada mutu beton tinggi.

Sedangkan tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh penambahan fiber kawat berdasarkan diameter kawat terhadap kuat tekan, kuat tarik dan kuat lentur beton sehingga beton diharapkan dapat menahan pembebanan, menahan retak akibat tegangan tarik

dan mengetahui kekuatan lentur balok yang diberi beban terpusat serta mengambil nilai optimal dari penambahan fiber kawat dengan mencari formulasi perbandingan panjang dan diameter.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini mengambil ruang lingkup permasalahan sebagai berikut :

1. Membandingkan penambahan fiber kawat dengan diameter 0,6 mm, 0,9 mm dan 1,2 mm dengan aspek ratio 60, 75 dan 90.
2. Kuat tekan beton (f_c') yang digunakan 50 Mpa
3. Konsentrasi fiber 2 % dari berat semen.
4. Pengujian beton terhadap kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur

1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tesis ini adalah :

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini dibahas mengenai latar belakang, pokok permasalahan, pembatasan masalah dan sistematika penulisan tesis.

BAB II STUDI PUSTAKA

Dalam bab ini akan dibahas mengenai teori-teori yang akan digunakan dalam penyelesaian masalah-masalah yang ada.

BAB III METODOLOGI

Dalam bab ini akan membahas kerangka pikir dan prosedur-prosedur dari penelitian.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dibahas hasil pengujian dan analisa data hasil pengujian kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur beton normal serta beton serat.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan diambil kesimpulan mengenai hasil pengolahan data dan analisa.

BAB II STUDI PUSTAKA

2.1 Beton Serat

Salah satu bahan tambah beton ialah serat (*fibre*). Beton yang diberi bahan tambah serat disebut beton serat (*fibre reinforced concrete*). Karena ditambah serat, maka menjadi suatu bahan komposit yaitu beton dan serat. Serat dapat berupa asbestos, gelas / kaca, plastik, baja atau serat tumbuh-tumbuhan seperti rami, ijuk.

Menurut Tjokrodimulyo maksud utama penambahan serat kedalam 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 lebih tahan retak. Perlu diperhatikan bahwa pemberian serat tidak banyak menambah kuat tekan beton, namun hanya menambah daktilitas.

Serat baja dapat berupa potongan-potongan kawat atau dibuat khusus dengan permukaan halus / rata atau *deform*, lurus atau bengkok untuk memperbesar lekatan dengan betonnya. Serat baja akan berkarat dipermukaan beton, namun akan sangat awet jika didalam beton.

Dalam pemakaiannya, hal yang menjadi pembatas adalah masalah harga, karena sampai saat ini harga serat masih mahal. Namun demikian karena kebutuhan, maka beton serat sudah sering dipakai pada :

- a. lapisan perkerasan jalan dan lapangan udara, untuk mengurangi retak dan mengurangi ketebalannya
- b. *spillway* pada dam untuk mengurangi kerusakan akibat adanya *cavitasi*

Penggunaan serat pada adukan beton pada intinya memberikan pengaruh yang baik yaitu dapat memperbaiki sifat beton antara lain dapat meningkatkan daktilitas dan kuat lentur beton. Retak-retak yang membawa keruntuhan pada struktur beton biasanya dimulai dari retak rambut (*micro crack*).

2.2 Serat Polypropylene

Pada penelitian Bayasi dan Zeng (1993) mengenai serat *polypropylene* dengan konsentrasi serat 0,1 %, 0,3 % dan 0,5 % menyimpulkan bahwa dengan menambahkan serat *polypropylene* sebesar 0,3 % kedalam beton segar tidak mempengaruhi *workability* dan kandungan udara. Dengan penambahan serat *polypropylene* sebesar 0,5 % akan mengurangi *workability* dan meningkatkan kandungan udara pada beton.

2.3 Serat Carbon

Penelitian Briggs, Bowen dan Kollek (1974) tentang beton serat yang menggunakan serat carbon didapatkan bahwa penyebaran fiber tidak akan merata jika *aspect ratio* fiber terlalu besar ($l/d > 100$) karena fiber akan menggumpal. Untuk fiber yang mempunyai *aspect ratio* terlalu kecil ($l/d < 50$) maka ikatan fiber dengan adukan beton akan jelek.

2.4 Serat Baja

Naaman dan Najm (1991) meneliti beton serat yang menggunakan baja. Penelitian ini mengenai pengujian *pull out* serat baja dengan mortar semen. Dengan menggunakan 3 bentuk serat yang berbeda (lurus, *deform* dan berkait), penambahan additive seperti *latex*, *fly ash* dan *microsilica*. Serat-serat berkait dan *deformed fibers* memiliki *pullout resistance* lebih tinggi dibandingkan dengan serat yang rata atau lurus. Ini karena sumbangan mekanis dari serat berkait dan *deformed fibers* dalam hal *pullout resistance* bisa mencapai hingga seratus kali dari serat yang rata atau lurus.

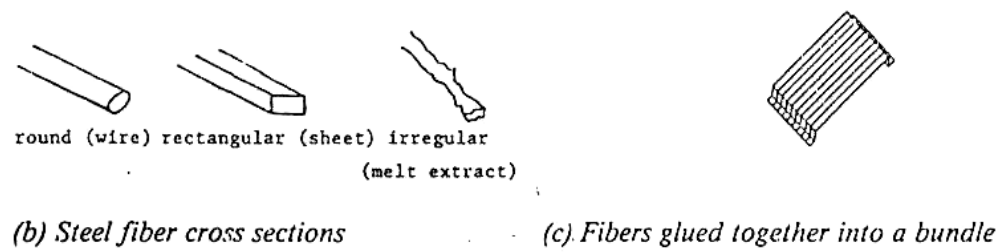
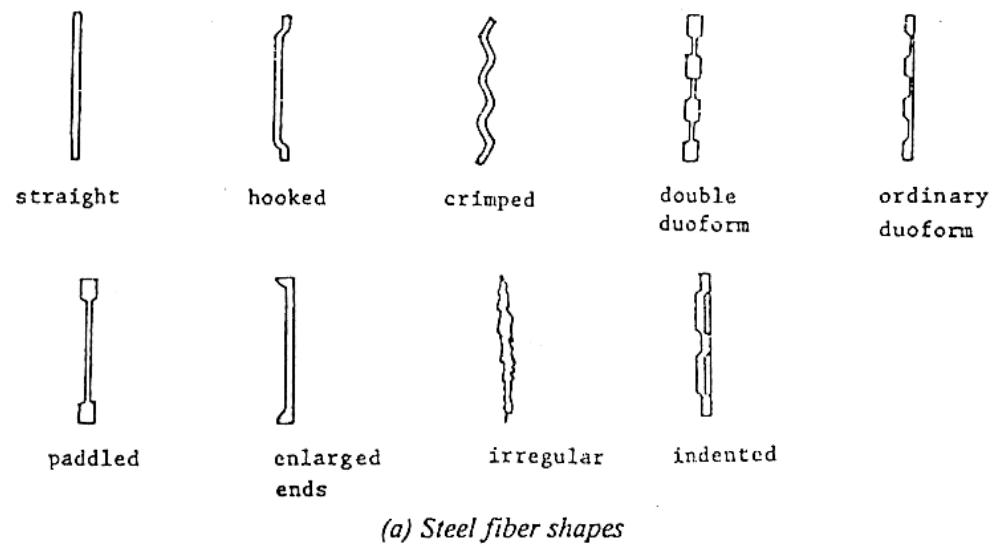
Dari penelitian Soroushian dan Bayasi mengenai pengaruh perbedaan bentuk serat baja didalam beton yaitu lurus, bergelombang dan berkait dengan aspek rasio 60. Volume fiber yang digunakan 2 %.

Dalam penelitian ini dapat disimpulkan serat baja bergelombang menghasilkan nilai *slump* yang lebih tinggi dibandingkan dengan serat baja yang lurus atau berkait. Pada aspek rasio 60, serat berkait menghasilkan kekuatan lentur yang paling baik. Serat berkait lebih efektif daripada serat lurus dan bergelombang pada kekuatan tekan. Efek dari beton serat pada kekuatan tekan adalah relatif kecil dan jenis serat yang berbeda juga berlaku didalam hal ini. Menurut Soroushian dan Bayasi (1991) ada beberapa jenis fiber baja yang biasa digunakan :

1. Bentuk fiber baja (*Steel Fiber Shapes*)
 - a. Lurus (*straight*)

- b. Berkait (*hooked*)
 - c. Bergelombang (*crimped*)
 - d. *Double duo form*
 - e. *Ordinary duo form*
 - f. Bundel (*paddled*)
 - g. Kedua ujung ditekuk (*enlarged ends*)
 - h. Tidak teratur (*irregular*)
 - i. Bergerigi (*indented*)
2. Penampang fiber baja (*Steel fiber cross section*)
 - a. Lingkaran/kawat (*round/wire*)
 - b. Persegi / lembaran (*rectangular / sheet*)
 - c. Tidak teratur / bentuk dilelehkan (*irregular / melt extract*)
 3. Fiber dilekatkan bersama dalam satu ikatan (*fibers glued together into a bundle*)

Jenis dari fiber baja dapat dilihat pada gambar :



Gambar 2.1 Berbagai tipe bentuk fiber baja

Menurut Surendra P Shah (1983) dengan konsentrasi serat sebanyak 2 % dari berat semen menghasilkan kekutan beton yang baik untuk beton mutu tinggi.

Pada penelitian Balaguru dan Ramakrishnan (1988) menyelidiki perilaku serat baja pada beton. Serat baja yang memiliki panjang 50 mm dengan ujung–ujungnya yang ditekuk seperti kait. Sifat yang diselidiki adalah *slump* dan kandungan udara yang akan dibandingkan dengan beton normal. Dengan dua campuran semen yang akan digunakan 611 lb/yd³ dan 799 lb/yd³ (363 kg/m³ dan 474 kg/m³) yang akan diselidiki. Kandungan semen yang lebih sedikit menggunakan air semen 0,4 menghasilkan beton yang mudah pengerjaannya. Kuat tekannya mencapai 6000 psi (41 MPa). Kandungan semen yang banyak menggunakan air semen 0,3 dan menghasilkan beton yang mempunyai kuat tekan 7000 Psi (48 MPa). Dari penelitian disimpulkan bahwa penambahan serat dapat mengurangi nilai *slump* dan kandungan udara. Kecepatan runtuhnya *slump* lebih lambat dan hilangnya kandungan udara lebih cepat untuk beton serat.

Dalam ACI Committee 544 (1993) telah dilaporkan bahwa untuk beton serat mutu tinggi mempunyai nilai *slump* yang sudah ditentukan yaitu antara 25 mm sampai 100 mm.

Balaguru, Narahari dan Patel (1992) meneliti tipe serat, panjang serat dan mutu beton. Macam serat yaitu berkait, bergelombang dan lurus. Panjang fiber 30, 50 dan 60 mm. Mutu beton yang digunakan adalah mutu normal dan mutu mutu tinggi (27 MPa dan 81 MPa). Disimpulkan bahwa serat berkait adalah sangat efektif didalam meningkatkan *toughness*. Adanya kandungan serat didalam beton menyebabkan beton dapat berperilaku *ductile*. Pada beton mutu tinggi menggunakan serat berkait dengan penambahan 0 – 30 kg/m³ memberikan

hasil yang optimal. Untuk serat berkait, panjang dari serat-serat tersebut tidak mempengaruhi *toughness* yang berarti.

2.5 Serat Kawat

Pada penelitian Suhendro, dipelajari pengaruh penambahan fiber lokal (yang berupa potongan kawat yang murah harganya dan banyak tersedia di Indonesia) kedalam adukan beton mengenai daktilitas, kuat desak dan *impact resistance* beton fiber yang dihasilkan. Fiber lokal tersebut dimaksudkan untuk menggantikan *steel fiber* yang telah dipakai diluar negeri. Tiga jenis kawat lokal yaitu kawat baja, kawat bendrat dan kawat biasa yang berdiameter ± 1 mm dipotong-potong dengan panjang ± 6 cm dan dijadikan sebagai fiber. Konsentrasi fiber yang diteliti adalah 0,5 dan 1 %. Diameter kerikil maksimal yang dipakai adalah 2 cm karena akan mempermudah penyebaran fiber kawat bendrat secara merata kedalam adukan beton. Faktor air semen 0,55. Dari hasil pengujian terhadap benda-benda uji disimpulkan dengan adanya serat pada beton dapat mencegah retak-retak rambut menjadi retakan yang lebih besar. Dengan penambahan serat pada adukan beton ternyata dapat meningkatkan ketahanan terhadap daktilitas, beban kejut (*impact resistance*) dan kuat desak. Tingkat perbaikannya tidak kalah dengan hasil-hasil yang dilaporkan diluar negeri dengan menambahkan *steel fiber* yang asli.

Beberapa hal yang perlu mendapat perhatian khusus pada beton fiber ini adalah masalah *fiber dispersion* atau teknik pencampuran adukan agar fiber yang ditambahkan dapat tersebar merata dengan orientasi yang *random* dalam beton dan masalah kelecakan (*workability*) adukan. Secara umum dapat dijelaskan bahwa dengan memodifikasikan proporsi adukan (misalnya dengan menambah *superplasticizer* ataupun memperkecil diameter maksimum agregat). Dan memodifikasi teknik pencampuran adukan (*mixing technique*) maka masalah *fiber dispersion* dapat diatasi. Untuk masalah *workability*, secara umum dapat pula dikatakan bahwa *workability* akan menurun seiring dengan makin banyaknya prosentase fiber yang ditambahkan dan makin besarnya rasio kelangsingan fiber (Suhendro, 1991). Pedoman untuk mengatasi kedua masalah tersebut yang menyangkut pedoman perincian, perbandingan, campuran, pengecoran dan penyelesaian beton fiber baja, telah dilaporkan oleh ACI Committee 544 (1993).

Penelitian Leksono, Suhendro dan Sulistyio (1995) tentang beton serat yang menggunakan kawat bendrat berbentuk lurus dan berkait kedalam campuran beton. Kemudian beton diuji kuat desak, kuat lentur, kuat tarik dan pengujian balok beton. Sebagai bahan susun

beton dipakai batu pecah dengan ukuran agregat maksimal 20 mm, kawat bendrat diameter ± 1 mm dipotong dengan ujungnya berkait (*hooked fiber*) dan panjang 60 mm, faktor air semen 0,55 dan volume fiber kawat (*vf*) 0,7 % volume adukan. Dengan berat jenis kawat bendrat 6,68 gr/cm³, maka berat yang harus ditambahkan ke dalam 1 m³ adukan beton (dibulatkan) 50 kg. Untuk balok beton bertulang dengan ukuran 15 × 25 × 180 cm dengan kandungan fiber 0,25 ; 0,5 ; 0,75 dan 1,00 % Dari penelitian yang telah dilakukan dengan menambahkan fiber sebanyak 0,75 sampai dengan 1 % dari volume beton dan dengan menggunakan *aspect ratio* sekitar 60 - 70 akan memberikan hasil yang optimal. Penambahan *hooked fiber* kedalam adukan beton dapat menurunkan kelecakan adukan beton sehingga beton menjadi sulit dikerjakan. Kuat tarik, kuat desak kuat lentur meningkat setelah diberi *hooked fiber* Untuk kandungan fiber yang optimal 0,75.

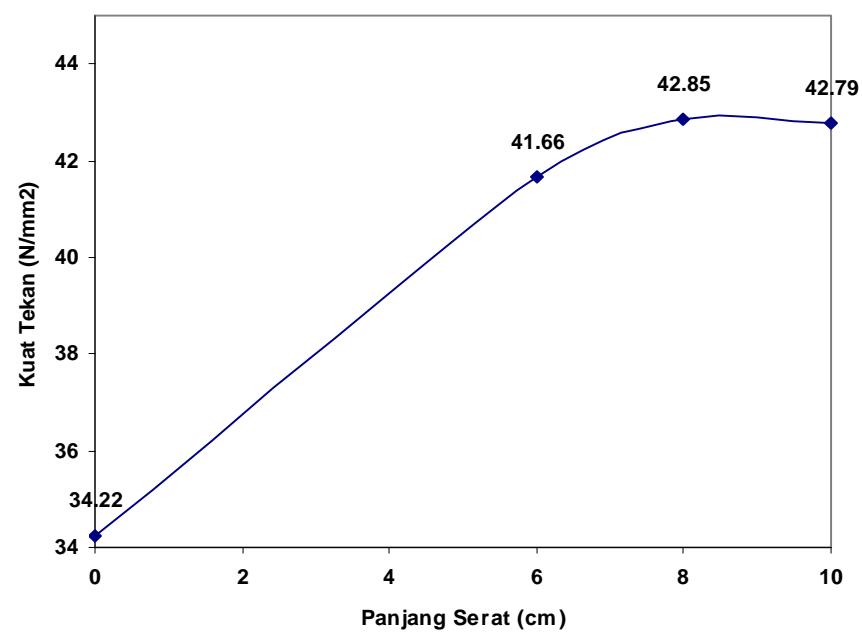
Untuk penelitian Hartanto (1994) penambahan fiber lokal kedalam adukan beton, kuat tekan beton (umur 28 hari) bertambah 7 %. Ini menunjukkan bahwa penambahan fiber lokal kedalam adukan beton tidak berpengaruh banyak pada kuat tekan beton, namun bahan lebih bersifat daktail. Hartanto juga menyimpulkan bahwa dengan menambahkan fiber lokal kedalam adukan beton, kuat tarik beton (umur 28 hari) meningkat sebesar 20,45 % untuk beton fiber *vf* = 0,7 %. Selain itu beton fiber masih memiliki kemampuan menahan tarik meskipun sudah terjadi retakan-retakan yang cukup besar (5 - 10 mm). Ini menunjukkan bahwa penambahan fiber lokal kedalam adukan beton meningkatkan kuat tarik.

Penelitian Sudarmoko (1991) akan mencari pengaruh penambahan serat bendrat terhadap kuat tarik. Untuk bahan digunakan kerikil dengan diameter maksimal 10 mm dengan maksud agar masih tersedia ruang yang cukup diantara kerikil untuk diisi dengan serat sehingga masih didapat kelecakan yang memungkinkan pengadukan dilakukan dengan mudah. Bahan serat digunakan serat bendrat yang dibuat dengan jalan memotong kawat bendrat dengan panjang 2,5 - 3 cm agar batas aspek rasio tidak terlampaui. Faktor air semen 0,56. Berat semen yang dipakai dalam setiap jenis adukan bervariasi sesuai dengan konsentrasi serat yang ditambahkan pada adukan dengan pedoman bahwa jumlah air yang ada masih mampu menghasilkan kelecakan adukan yang masih memungkinkan pencampuran adukan dapat dilakukan dengan mudah dan homogenitas adukan masih dapat dicapai. Adukan beton serat dibuat dengan konsentrasi serat bendrat ditambahkan sebesar 0,25 %, 0,5 %, 0,75 %, 1,00 % dan 1,25 % dari volume adukan agar masih didapat penyebaran serat yang merata pada adukan. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penambahan serat bendrat kedalam adukan beton akan mempertinggi kuat tariknya. Tetapi makin tinggi konsentrasi serat, makin

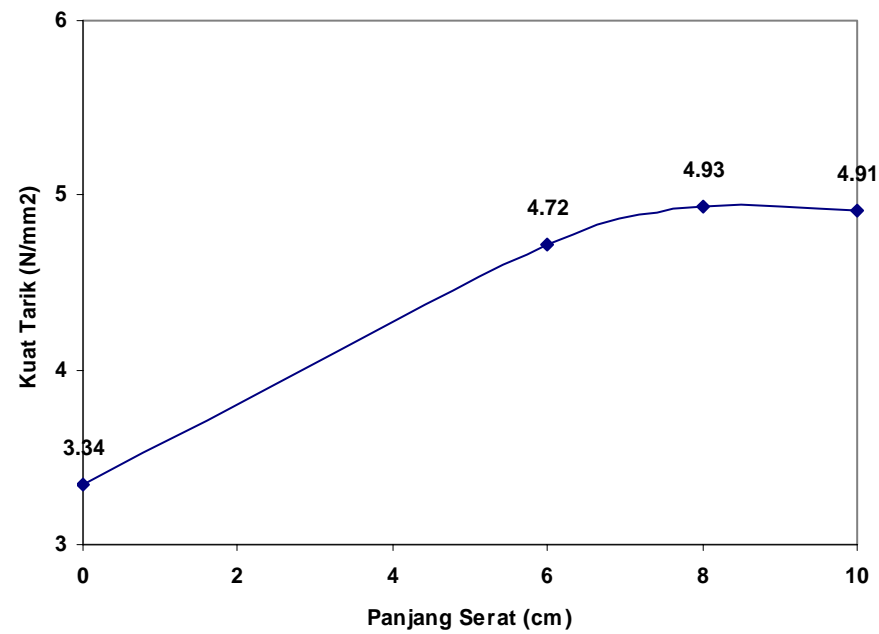
kecil nilai slump yang didapat, sehingga untuk mendapat nilai slump yang tetap makin banyak dibutuhkan penambahan air dan semen.

Hal ini juga sesuai dengan penelitian Leksono (1995), pemakaian *hooked fiber* dari kawat bendrat kedalam adukan beton dapat menurunkan kelecakan adukan sehingga beton sulit dikerjakan, namun dengan nilai VB time antara 5 – 25 detik dapat dipakai sebagai pedoman untuk menyatakan suatu adukan beton fiber mempunyai kelecakan yang baik.

Sudarmoko meneliti pengaruh aspek rasio serat (nilai banding panjang dan diameter serat) yang dinyatakan panjang serat, terhadap sifat-sifat struktural adukan beton yang mengandung serat yang meliputi kuat tekan, kuat tarik dan modulus elastik. Dengan panjang serat kawat bendrat 60, 80 dan 100 mm dengan konsentrasi serat 1 % dari volume adukan disimpulkan hasil terbaik ditunjukkan oleh beton serat dengan panjang serat 80 mm merupakan nilai yang optimal untuk ditambahkan pada adukan beton ditinjau dari sudut peningkatan kuat tarik dan kuat tekan sedang pada pengujian modulus elastik panjang serat 100 mm memberi hasil yang terkesan tetap dengan nilai yang tidak terlalu menyimpang dari benda uji dengan panjang serat 80 mm sehingga dapat disimpulkan bahwa panjang 80 mm adalah panjang serat yang optimal.



Gambar 2.2 Grafik Kuat Tekan dengan Panjang Serat (Sudarmoko, 1993)

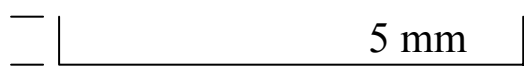


Gambar 2.3 Grafik Kuat Tarik Dengan Panjang Serat (Sudarmoko, 1993)

Pada penelitian Handiyono (1994) mengenai bentuk geometri serat kawat bendrat membuktikan bahwa *thoughness index* beton dengan serat *hooked* dapat ditingkatkan lebih besar bila dibandingkan dengan beton dengan serat lurus maupun dengan beton biasa. Hal ini membuktikan bahwa penambahan serat *hooked* pada beton dapat meningkatkan daktilitas. Tegangan tarik beton meningkat bila dibandingkan dengan beton serat lurus dan beton biasa. Pola retak balok beton dengan serat lurus adalah retak-retak tunggal dengan sedikit retak halus, sedangkan balok dengan serat *hooked* lebih mampu menahan retak dibanding serat lurus. Pada beton normal, pola retak tidak beraturan.

Pada penelitian ini fiber yang akan digunakan adalah fiber kawat galvanis dengan diameter 0,6 mm, 0,9 mm dan 1,2 mm. Untuk diameter 0,6 mm panjang kawat 36 mm, 45 mm dan 54 mm. Untuk diameter 0,9 mm panjang kawat 54 mm, 67,5 mm dan 81 mm. Untuk diameter 1,2 mm panjang kawat 72 mm, 90 mm dan 108 mm. Dengan demikian secara berturut-turut aspek rasio menjadi 60, 75 dan 90. Perbandingan volume fiber diambil 2 % berat semen. Fiber kawat ujungnya dibuat berkait dengan cara ditekuk Gambar 2.4. Dengan bentuk berkait diharapkan mampu meningkatkan ikatan antara fiber kawat dan mortar.

|

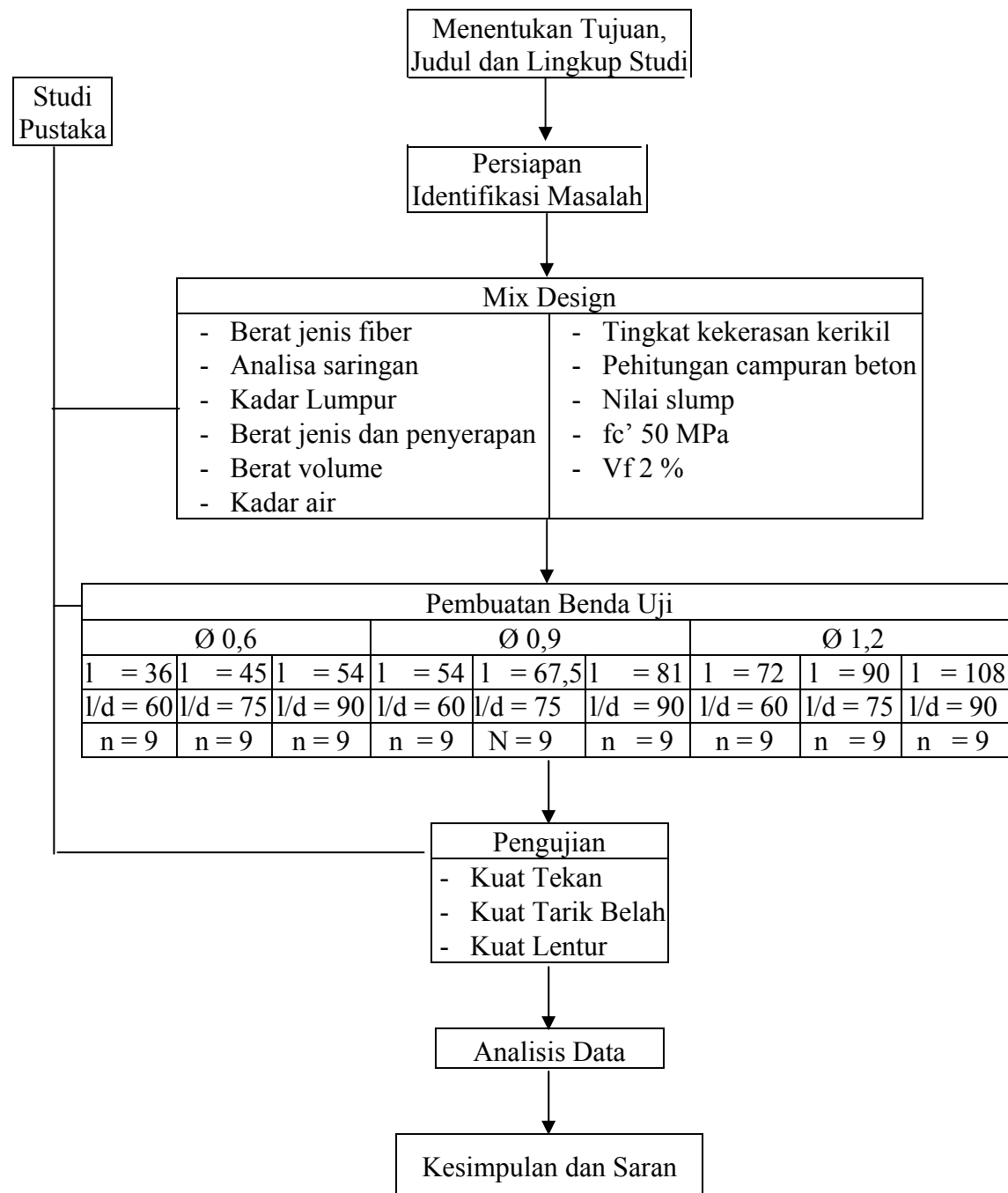


Gambar 2.4 Bentuk fiber yang digunakan

BAB III METODOLOGI

3.1 Alur Penelitian

Penelitian ini memiliki alur seperti tercantum dalam gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alur Kegiatan

3.2 Perhitungan Rencana Campuran Beton (*Mix Design*)

Pada penelitian ini, perhitungan rencana campuran beton (*mix design*) menggunakan pedoman DOE (*Department of Environment*). Perancangan adukan ini berasal dari Inggris (*The British Mix Design Methode*), ini tercantum dalam *Design of Normal Concrete Mixes* telah menggantikan *Road Note No. 4* sejak tahun 1975. Di Indonesia cara ini dikenal dengan DOE. Perencanaan dengan cara DOE ini dipakai sebagai standar perencanaan oleh Departemen Pekerjaan Umum di Indonesia dan dimuat dalam buku standar SK SNI T – 15 – 1990 – 03 dengan judul bukunya Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal.

Perhitungan rencana campuran beton dapat dilihat pada lampiran J. Kebutuhan bahan-bahan susun adukan beton dapat dilihat dalam tabel 3.1

Tabel 3.1 Kebutuhan Bahan-bahan Susun Adukan (Untuk Setiap 1 m³ Beton Fiber)

Vf (%)	Air (kg)	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Fiber (kg)
0	188,15	621,21	706,91	893,73	0
2	188,15	621,21	706,91	893,73	12,42

3.3 Perencanaan Campuran Beton Mutu Tinggi

Yang disebut beton mutu tinggi menurut ACI 211.4R-93 adalah yang mempunyai kuat tekan silinder melebihi 40,8 MPA (6000 psi) sampai dengan 81,6 MPa (12000 psi) atau berkisar antara 41 – 82 MPa. Langkah-langkah perencanaan campuran beton mutu tinggi sebagai berikut :

1. Penetapan kuat tekan beton yang disyaratkan (f_c') pada umur tertentu

Kuat tekan beton yang disyaratkan ditetapkan sesuai dengan persyaratan perencanaan strukturnya dan kondisi setempat.

$$\text{Tegangan tekan beton rata-rata } (\sigma_{bm}) = \sigma_{bk} + 1,645 \times s$$

2. Mencari faktor air semen (fas)

Faktor air semen dapat dicari dari tabel 3.2 dan gambar 3.2

3. Menghitung kadar semen

Untuk memperkirakan jumlah air pengaduk dipakai tabel 3.3

4. Penggabungan agregat halus dan kasar
Penggabungan agregat halus dan kasar dapat dilihat pada lampiran H
5. Mencari berat beton segar

Besarnya berat beton segar dapat diperkirakan dengan menggunakan gambar 3.3 sehingga masing-masing agregat dapat dihitung

6. Koreksi berat terhadap kadar air dan penyerapan
7. Kebutuhan bahan untuk 1 m³ beton (berat)

Untuk perhitungan campuran beton (mix design) dapat dilihat lampiran I

Tabel 3.2 Perkiraan kuat tekan beton normal dengan semen tipe I dan II dengan fas = 0,50

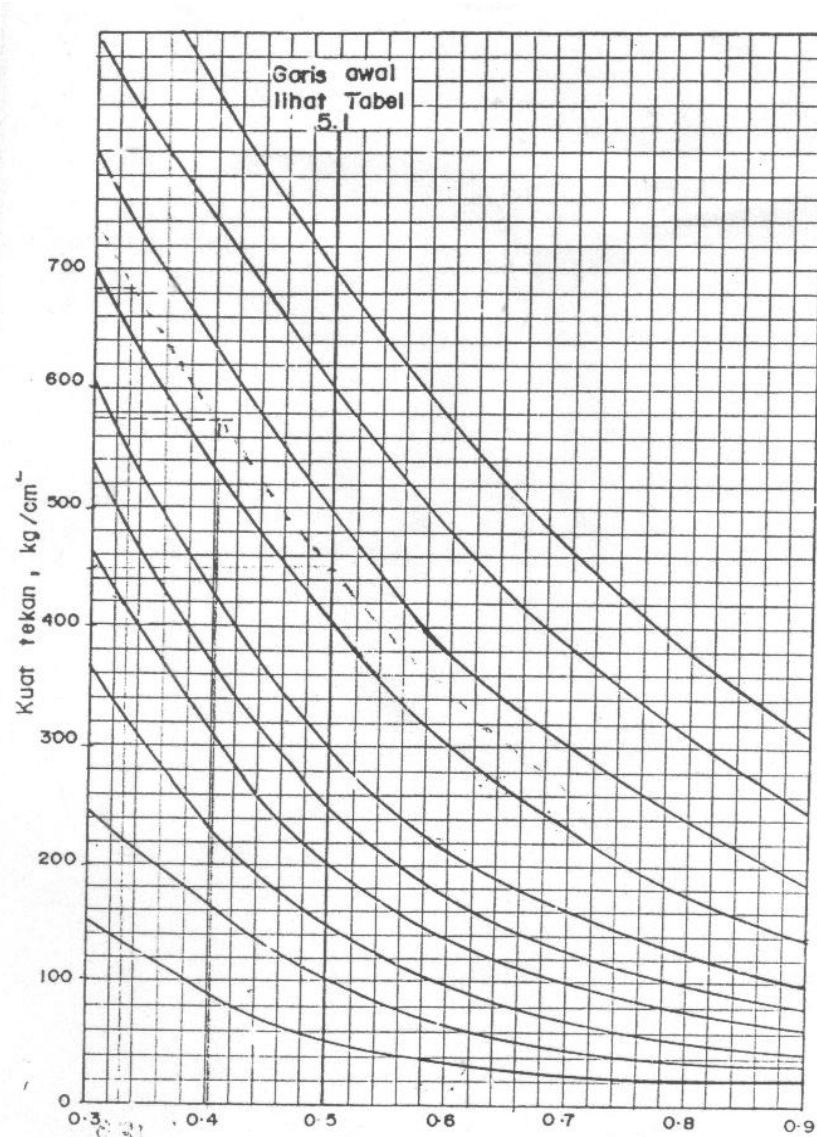
Tipe Semen	Bentuk Agregat	Kuat tekan beton, kg/cm ² , pada umur, hari			
		3	7	28	91
Tipe I Biasa	Alami	200	280	400	460
	Bt. Pecah	230	320	450	530
Tipe II, setengah tahan sulfat	Alami atau batu pecah	130	190	310	420

Sumber : PBI-1971

Tabel 3.3 Perkiraan Jumlah Air Bebas (Agregat dalam Keadaan SSD) untuk Mengaduk 1 m³ Beton, untuk Berbagai Drajat Keleccakan, dalam Liter

Keleccakan dengan : Slump dalam mm Ve-Be dalam detik		0 – 10 Lebih 12	10 – 30 6 – 12	30 – 60 3 – 6	60 – 180 0 – 3
Besar Butir Agregat Kasar Maksimum (mm)	Bentuk Agregat				
10	Alami	150	180	205	225
	Bt. Pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	195
	Bt. Pecah	170	190	210	225
40	Alami	115	140	160	175
	Bt. Pecah	155	175	190	205

Sumber : PBI-1971



Gambar 3.2 Hubungan Antara Kuat Tekan Beton dengan Fas

Tabel 3.4 Nilai Deviasi Standar (kg/cm²)

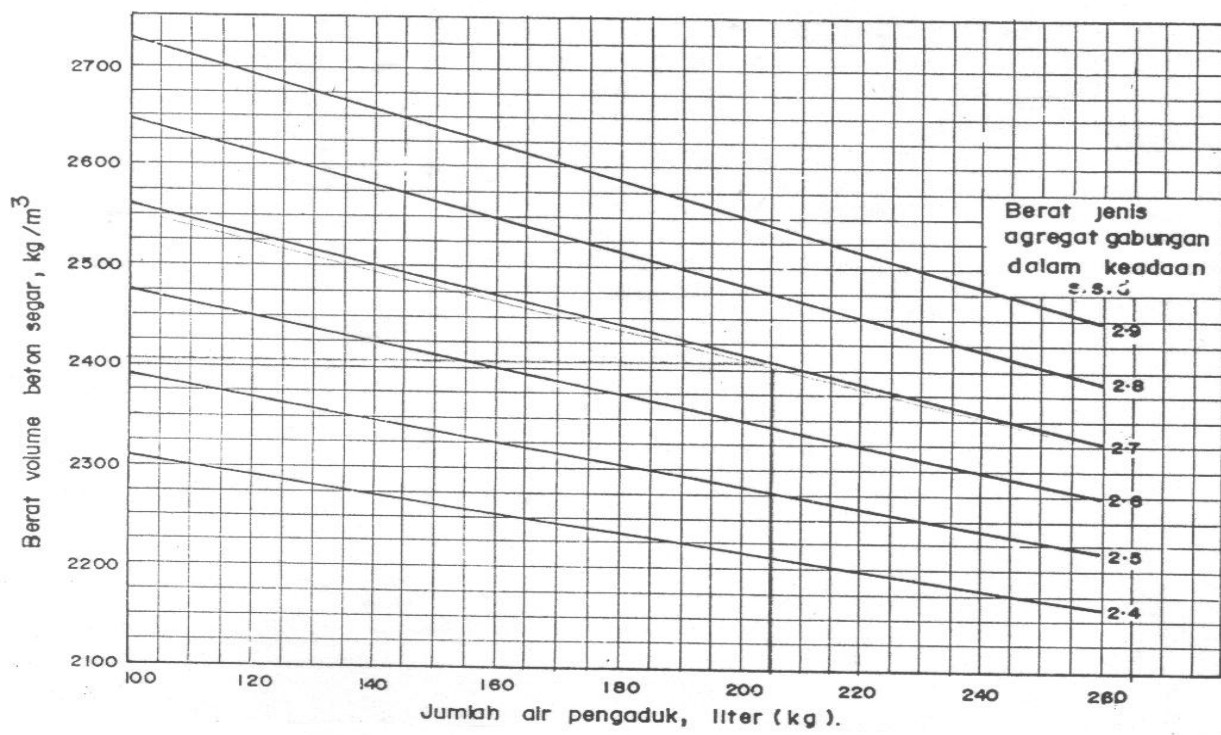
Volume Pekerjaan		Mutu Pelaksanaan		
	M ³	Baik Sekali	Baik	Cukup
Kecil	< 1000	45 < s ≤ 55	55 < s ≤ 65	65 < s ≤ 85
Sedang	1000 - 3000	35 < s ≤ 45	45 < s ≤ 55	55 < s ≤ 75
Besar	> 3000	25 < s ≤ 35	35 < s ≤ 45	45 < s ≤ 65

Sumber : Teknologi Beton

Tabel 3.5 Jumlah Semen Minimum dan Jumlah Fas Maksimum untuk Berbagai Jenis Pekerjaan Beton

Jenis Pekerja Beton	Jumlah semen minimum, 1m ³ beton, kg	Nilai Fas Maksimum
BETON DALAM RUANG BANGUNAN (TERLINDUNG)		
a. Keadaan keliling non korosip.	275	0,60
b. Keadaan keliling korosip disebabkan oleh pengembunan atau uap korosip	325	0,52
BETON DILUAR RUANG BANGUNAN (TERBUKA)		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari secara langsung	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari secara langsung	275	0,60
BETON YANG MASUK KE DALAM TANAH		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat, alkali dari tanah atau air tanah	375	0,52
BETON YANG TERUS MENERUS BERHUBUNGAN AIR		
a. Air tawar	275	0,57
b. Air laut, air bergaram	375	0,52

Sumber PBI-1971



Gambar 3.3 Hubungan antara berat volume beton segar, jumlah air penaduk dan berat jenis SSD agregat gabungan

BAB IV
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian

4.1.1 Hasil Pengujian *Workability*

Dari pemeriksaan *workability* (keleccakan) beton normal dan beton serat dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian *Workability* Beton Normal dan Beton Serat

Beton Normal	l / d	Ø 0,6 mm		Ø 0,9 mm		Ø 1,2 mm	
		ℓ (mm)	Slump (mm)	ℓ (mm)	Slump (mm)	ℓ (mm)	Slump (mm)
62	60	36	53	54	43	72	37
	75	45	50	67,5	40	90	35
	90	54	45	81	38	108	30

4.1.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut ini :

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

Kode Silinder Beton	Berat Silinter Beton (kg)	P. Maks (N)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
L ₀	13,10	750.000	51,13	51,13
	12,99	740.000	50,45	
	13,12	760.000	51,82	
L ₁	13,34	820.000	55,91	54,77
	13,26	780.000	53,18	
	13,29	810.000	55,23	
L ₂	13,30	810.000	55,23	55,46
	13,32	820.000	55,91	
	13,27	810.000	55,23	
L ₃	13,29	800.000	54,54	55,22
	13,34	830.000	56,59	
	13,33	800.000	54,54	
L ₄	13,36	840.000	57,27	57,95
	13,38	850.000	57,95	
	13,40	860.000	58,63	

Kode Silinder Beton	Berat Silinder Beton (kg)	P. Maks (N)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
L ₅	13,51	880.000	59,99	58,63
	13,39	860.000	58,63	
	13,47	840.000	57,27	
L ₆	13,39	850.000	57,95	58,18
	13,34	850.000	57,95	
	13,41	860.000	58,63	
L ₇	13,31	840.000	57,27	56,14
	13,28	810.000	55,23	
	13,33	820.000	55,91	
L ₈	13,30	840.000	57,27	57,27
	13,39	850.000	57,95	
	13,37	830.000	56,59	
L ₉	13,29	820.000	55,91	56,36
	13,30	830.000	56,59	
	13,36	830.000	56,59	

Keterangan :

- L₀ = Beton normal
- L₁ = Beton serat Ø 0,6 mm dengan panjang 36 mm ($\ell/d = 60$)
- L₂ = Beton serat Ø 0,6 mm dengan panjang 45 mm ($\ell/d = 75$)
- L₃ = Beton serat Ø 0,6 mm dengan panjang 54 mm ($\ell/d = 90$)
- L₄ = Beton serat Ø 0,9 mm dengan panjang 54 mm ($\ell/d = 60$)
- L₅ = Beton serat Ø 0,9 mm dengan panjang 67,5 mm ($\ell/d = 75$)
- L₆ = Beton serat Ø 0,9 mm dengan panjang 81 mm ($\ell/d = 90$)
- L₇ = Beton serat Ø 1,2 mm dengan panjang 72 mm ($\ell/d = 60$)
- L₈ = Beton serat Ø 1,2 mm dengan panjang 90 mm ($\ell/d = 75$)
- L₉ = Beton serat Ø 1,2 mm dengan panjang 108 mm ($\ell/d = 90$)

4.1.3 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Hasil pengujian kuat tarik belah beton dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut ini :

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Umur 28 Hari

Kode	Berat			Kuat Tarik Belah
------	-------	--	--	------------------

Silinder Beton	Silinter Beton (kg)	P. Maks (N)	Kuat Tarik Belah (Mpa)	Rata-rata (MPa)
L ₀	13,19	365.000	5,16	5,14
	13,00	360.000	5,09	
	13,15	365.000	5,16	
L ₁	13,22	430.000	6,08	6,18
	13,29	445.000	6,30	
	13,25	435.000	6,15	
L ₂	13,25	440.000	6,22	6,34
	13,39	460.000	6,51	
	13,28	445.000	6,30	
L ₃	13,34	455.000	6,44	6,27
	13,24	435.000	6,15	
	13,27	440.000	6,22	
L ₄	13,37	470.000	6,65	6,70
	13,41	475.000	6,72	
	13,40	475.000	6,72	
L ₅	13,53	490.000	6,93	6,86
	13,42	485.000	6,86	
	13,40	480.000	6,79	
L ₆	13,35	475.000	6,72	6,79
	13,42	485.000	6,86	
	13,41	480.000	6,79	
L ₇	13,32	455.000	6,44	6,42
	13,29	450.000	6,37	
	13,35	455.000	6,44	
L ₈	13,36	460.000	6,51	6,53
	13,40	470.000	6,65	
	13,31	455.000	6,44	
L ₉	13,29	460.000	6,51	6,49
	13,28	450.000	6,37	
	13,35	465.000	6,58	

Keterangan :

- L₀ = Beton normal
- L₁ = Beton serat Ø 0,6 mm dengan panjang 36 mm ($\ell/d = 60$)
- L₂ = Beton serat Ø 0,6 mm dengan panjang 45 mm ($\ell/d = 75$)
- L₃ = Beton serat Ø 0,6 mm dengan panjang 54 mm ($\ell/d = 90$)
- L₄ = Beton serat Ø 0,9 mm dengan panjang 54 mm ($\ell/d = 60$)
- L₅ = Beton serat Ø 0,9 mm dengan panjang 67,5 mm ($\ell/d = 75$)
- L₆ = Beton serat Ø 0,9 mm dengan panjang 81 mm ($\ell/d = 90$)
- L₇ = Beton serat Ø 1,2 mm dengan panjang 72 mm ($\ell/d = 60$)
- L₈ = Beton serat Ø 1,2 mm dengan panjang 90 mm ($\ell/d = 75$)
- L₉ = Beton serat Ø 1,2 mm dengan panjang 108 mm ($\ell/d = 90$)

4.1.4 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

Hasil pengujian kuat lentur beton dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut ini :

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Umur 28 Hari

Kode Silinder Beton	P. Maks (N)	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur Rata-rata (MPa)
L ₀	29.000	5,16	5,16
	27.000	4,80	
	31.000	5,51	
L ₁	40.000	7,11	7,29
	42.000	7,47	
	41.000	7,29	
L ₂	41.000	7,29	7,23
	42.000	7,47	
	39.000	6,93	
L ₃	40.000	7,11	7,11
	39.000	6,93	
	41.000	7,29	
L ₄	45.000	8,00	7,64
	43.000	7,64	
	41.000	7,29	
L ₅	42.000	7,47	7,59
	44.000	7,82	
	42.000	7,47	
L ₆	44.000	7,82	7,53
	41.000	7,29	
	42.000	7,47	
L ₇	42.000	7,47	7,47
	41.000	7,29	
	43.000	7,64	
L ₈	44.000	7,82	7,41
	40.000	7,11	
	41.000	7,29	
L ₉	40.000	7,11	7,35
	43.000	7,64	
	41.000	7,29	

Keterangan :

- L₀ = Beton normal
- L₁ = Beton serat Ø 0,6 mm dengan panjang 36 mm ($\ell/d = 60$)
- L₂ = Beton serat Ø 0,6 mm dengan panjang 45 mm ($\ell/d = 75$)
- L₃ = Beton serat Ø 0,6 mm dengan panjang 54 mm ($\ell/d = 90$)
- L₄ = Beton serat Ø 0,9 mm dengan panjang 54 mm ($\ell/d = 60$)
- L₅ = Beton serat Ø 0,9 mm dengan panjang 67,5 mm ($\ell/d = 75$)

- L₆ = Beton serat Ø 0,9 mm dengan panjang 81 mm ($l/d = 90$)
- L₇ = Beton serat Ø 1,2 mm dengan panjang 72 mm ($l/d = 60$)
- L₈ = Beton serat Ø 1,2 mm dengan panjang 90 mm ($l/d = 75$)
- L₉ = Beton serat Ø 1,2 mm dengan panjang 108 mm ($l/d = 90$)

4.2 Pembahasan

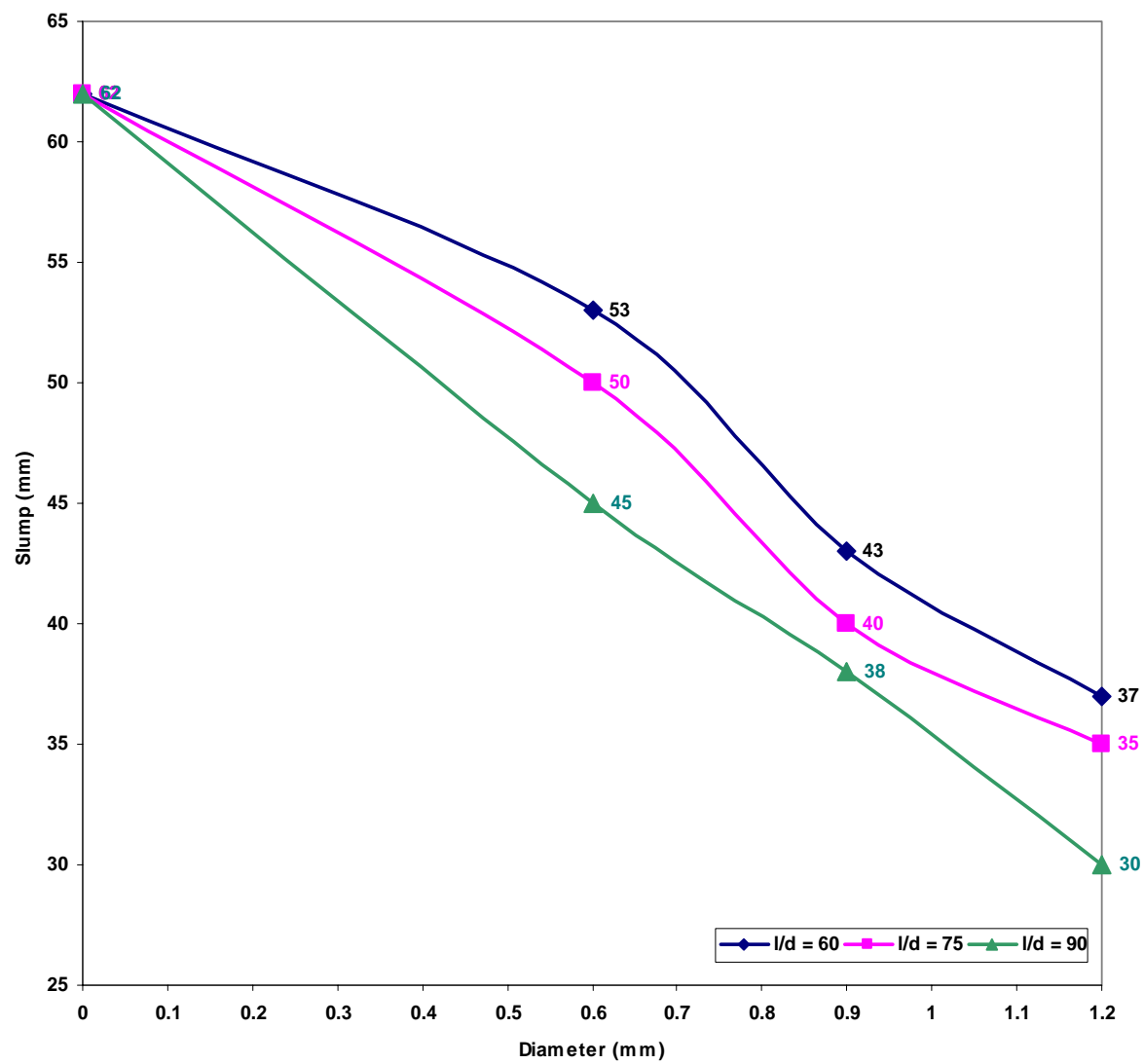
4.2.1 Hasil Pengujian *Workability* (Keleccakan)

Hasil *slump* dilakukan untuk mengukur *workability* (keleccakan) adukan beton pada penelitian beton dengan diameter 0,6 mm diperoleh nilai *slump* antara 45 - 53 mm, untuk diameter serat 0,9 mm diperoleh nilai *slump* antara 38 - 43 mm dan untuk diameter serat 1,2 mm diperoleh nilai *slump* antara 30 - 37 mm dengan faktor air semen 0,33. Nilai *slump* ini cenderung kecil hal ini disebabkan mutu beton yang digunakan mempunyai mutu beton yang tinggi sehingga jumlah semen yang digunakan lebih banyak serta fas dan wcr yang lebih kecil dibandingkan dengan beton mutu normal. Hasil ini masih memenuhi batas nilai *slump* untuk beton serat yaitu 25 - 100 mm. Hasil pengujian *workability* beton normal dan beton serat dapat dilihat pada tabel 4.1

Pada beton serat terlihat bahwa *slump* lebih rendah dibandingkan dengan beton normal. Dari tabel 4.1 dan gambar 4.1 dapat disimpulkan semakin besar l/d makin kecil *workability* yang terjadi. Semakin besar diameter serat ke dalam adukan beton akan mengakibatkan menurunnya keleccakan (*workability*) adukan beton. Hal ini disebabkan semakin besar l/d dan diameter serat maka akan semakin sulit pengerjaannya sehingga menyebabkan keleccakan (*workability*) menjadi menurun.

Hasil *workability* ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Sudarmoko (1993) pada beton serat dengan kawat bendrat bahwa l/d serat berpengaruh pada keleccakan adukan. Makin besar l/d serat, makin besar penurunan keleccakan adukan yang terjadi ditunjukkan dengan makin banyaknya pasta semen yang harus ditambahkan.

Pada penelitian Suhendro (1991) dengan memodifikasi proporsi adukan (dengan menambahkan *superplasticizer* ataupun memperkecil diameter maksimum agregat) dapat meningkatkan *workability* beton fiber serta dapat mengatasi *fiber dispersion* yang berakibat terjadinya *balling effect*.



Gambar 4.1 Hubungan *Slump* dengan Diameter Serat pada $l/d = 60, 75$ dan 90

4.2.2 Penelitian Awal

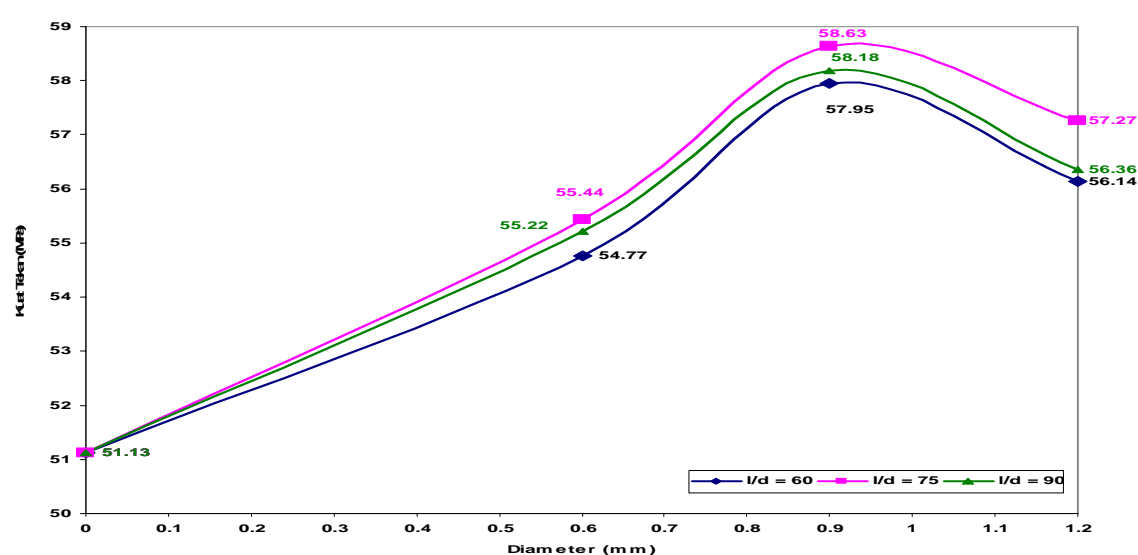
Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui penyebaran serat didalam beton sehingga diharapkan serat tidak menggumpal pada beton. Dengan menggunakan benda uji berbentuk kubus kemudian dilakukan uji tekan sampai benda uji terbelah. Setelah itu diamati penyebaran serat di dalam beton.

Pada proses pembuatan benda uji setelah pasir, kerikil, semen dan serat masuk ke dalam *concrete mixer* kemudian ditambahkan air. Pada saat menaburkan serat dilakukan dengan tangan dan secara hati-hati sehingga setiap serat dapat masuk kedalam adukan secara sendiri-sendiri. Dengan demikian diharapkan tidak terjadi *balling effect*.

Pada penelitian ini, pada saat proses pengadukan secara visual tidak terjadi *balling effect*. Hal ini dapat dilihat pada lampiran M. Untuk itu tidak perlu ditambahkan pasta semen dan *superplasticizer* pada adukan beton.

4.2.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton dipengaruhi beberapa faktor antara lain lekatan pasta semen pada agregat, komposisi bahan susun dan kekuatan masing-masing bahan susun. Kuat tekan beton lebih besar daripada kuat tarik beton. Sifat inilah yang sering dimanfaatkan sebagai bahan struktur.



Gambar 4.2 Hubungan Kuat Tekan dengan Diameter Serat pada $l/d = 60, 75$ dan 90

Dari gambar 4.2 dapat dilihat hasil yang paling optimal pada diameter 0,9 mm setelah itu grafiknya menurun. Hal ini disebabkan semakin bertambahnya diameter maka akan semakin besar pori-pori yang dihasilkan serat di dalam adukan semakin besar sehingga didapatkan beton yang kurang padat dan kuat tekan yang dihasilkan lebih kecil.

Hasil pengujian kuat tekan beton tertinggi pada \varnothing 0,9 mm dengan panjang 67,5 mm sehingga l/d diperoleh 75 yaitu sebesar 58,63 MPa. Hasil ini lebih tinggi 14,67 % dibandingkan dengan beton normal yang mempunyai kuat tekan 51,13 Mpa. Dari tabel 4.2 dan gambar 4.2 dapat diketahui bahwa penambahan serat kawat ke dalam adukan beton tidak berpengaruh banyak pada kuat tekan.

Dengan grafik *trendline* pada lampiran R dapat diketahui diameter yang paling optimal 0,96 mm tetapi karena \varnothing 0,96 tidak ada maka diameter yang paling optimal 1 mm dengan kuat tekan 58,68 MPa.

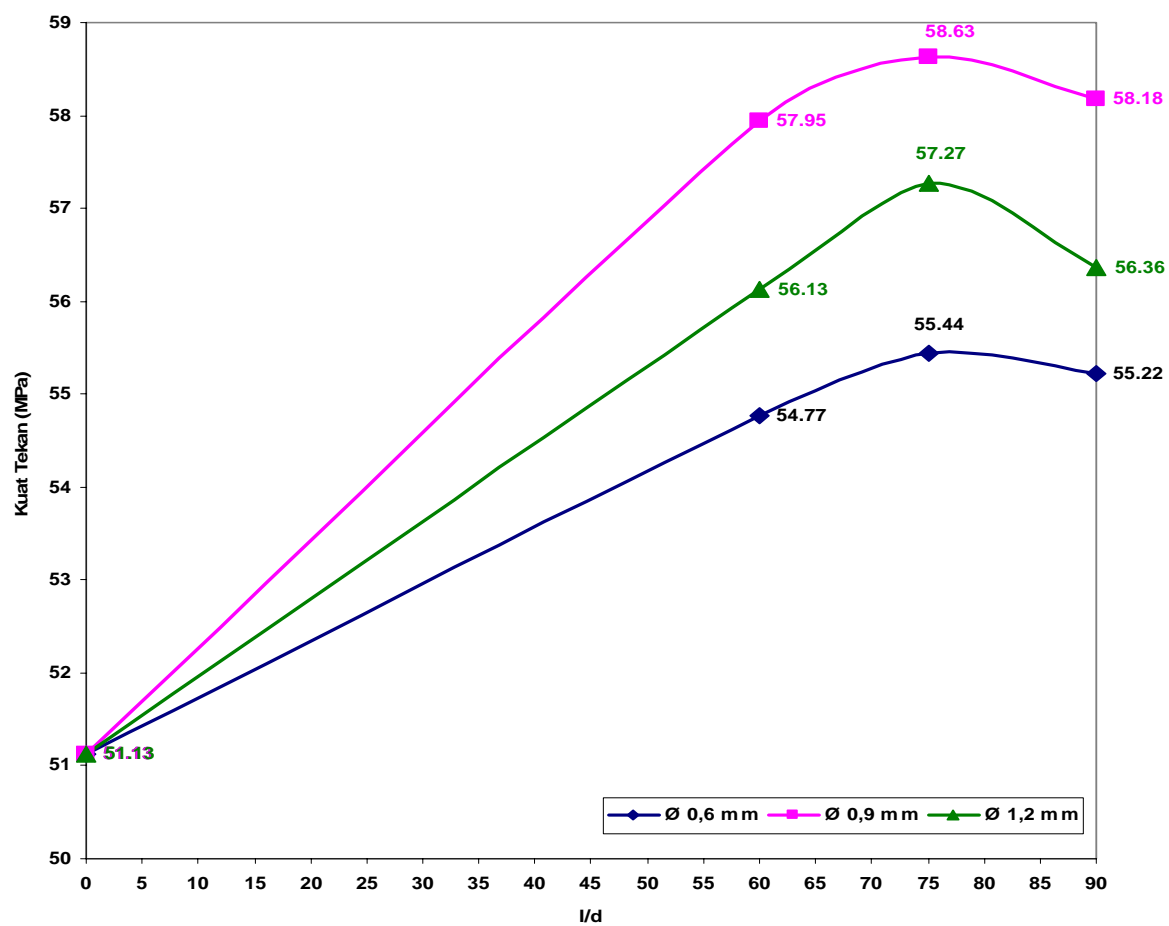
Hasil pengujian kuat tekan beton serat dengan \varnothing 0,6 mm dan panjang 36 mm menghasilkan kuat tekan 54,77 MPa. Untuk panjang 45 mm dan 54 mm adalah 55,46 MPa dan 55,22 MPa.

Hasil pengujian kuat tekan beton serat dengan \varnothing 0,9 mm dan panjang 54 mm menghasilkan kuat tekan 57,95 MPa. Untuk panjang 67,5 mm dan 81 mm adalah 58,63 MPa dan 58,18 MPa.

Hasil pengujian kuat tekan beton serat dengan \varnothing 1,2 mm dan panjang 72 mm menghasilkan kuat tekan 56,14 MPa. Untuk panjang 90 mm dan 108 mm adalah 57,27 MPa dan 56,36 MPa.

Dengan adanya serat pada beton setelah pengujian beton serat tidak terbagi menjadi beberapa bagian tetapi masih terikat sedangkan pada beton non serat setelah pengujian beton terbagi menjadi beberapa bagian, hal ini karena dengan adanya serat dapat mengikat beton sehingga tidak terbagi menjadi beberapa bagian.

Pada pemeriksaan tampang pecah, terlihat beberapa batuan pecah tetapi ada juga yang utuh. Hal ini menunjukkan bahwa agregat mempunyai kekerasan yang tinggi dan kuat tekan terutama dipengaruhi oleh lekatan pasta semen pada agregat. Tampang pecah hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada lampiran N.



Gambar 4.3 Hubungan Kuat Tekan Dengan l/d Pada Diameter 0,6 ; 0,9 dan 1,2 mm

Hasil pengujian kuat tekan ini hampir sama dengan hasil pengujian kuat tekan Sudarmoko (1993), pada penelitian Sudarmoko diperoleh panjang serat kawat yang paling optimal adalah 80 mm dengan diameter 1 mm sehingga l/d diperoleh 80 sedangkan pada penelitian ini l/d yang paling optimal adalah 75. Perbedaan ini disebabkan karena diameter dan panjang serat yang berbeda. Bentuk geometri serat serta beton yang di hasilkan juga berbeda sehingga membedakan hasil yang diperoleh. Pada penelitian ini menggunakan beton mutu tinggi sedang pada penelitian Sudarmoko (1993) menggunakan beton mutu normal. Diameter yang besar akan membentuk pori-pori yang besar sehingga kuat tekan tidak menghasilkan kekuatan yang maksimal. Hal ini sesuai dengan penelitian Sudarmoko (1993) bahwa penambahan serat tidak banyak pengaruhnya terhadap pertambahan kuat tekannya.

Hasil penelitian hubungan antara kuat tekan dengan l/d dapat dilihat pada gambar 4.3. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa l/d yang optimal adalah 75 kemudian grafiknya turun. Hasil yang optimal pada diameter 0,9 mm dengan kuat tekan 58,63 MPa. Pada lampiran S

dengan grafik *trendline* didapatkan diperoleh nilai yang optimal untuk l/d adalah 77 dengan kuat tekan 58,69 MPa.

Pada penelitian ini nilai deviasi yang digunakan harus kecil karena nilai deviasi yang besar menyebabkan kekuatan rata-rata tidak tercapai. Hal ini disebabkan pada saat pemadatan beton kurang padat.

4.2.4 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

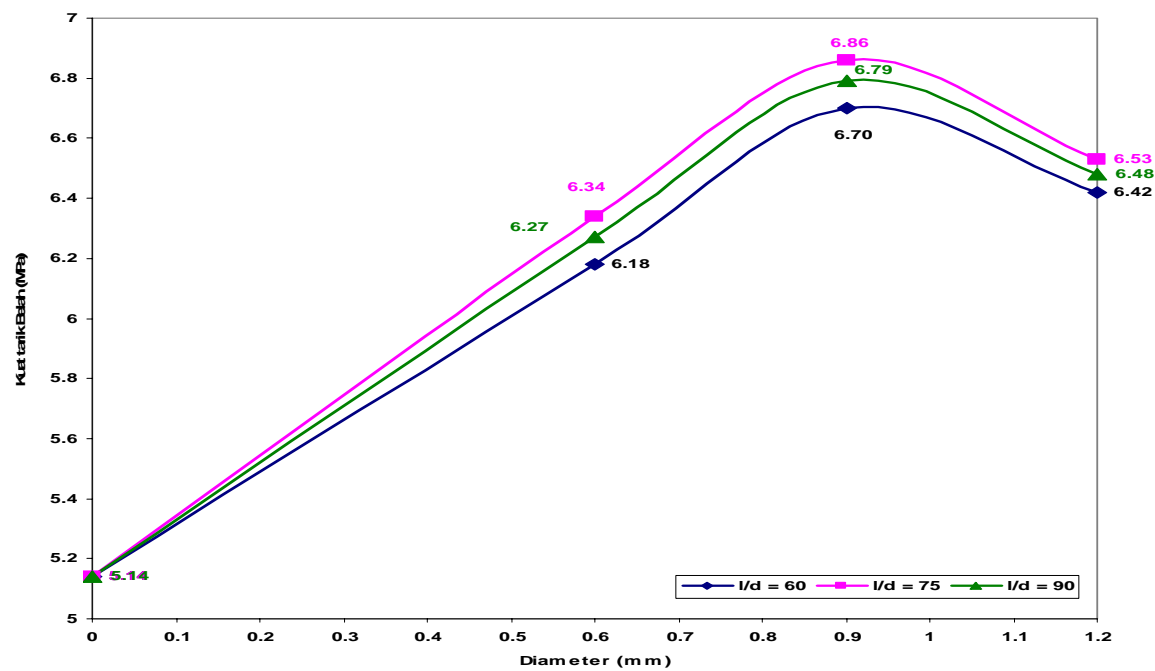
Sifat beton yang *brittle* dapat diatasi dengan memberi adukan beton dengan serat. Karena serat dapat menahan retak-retak yang terjadi pada beton. Serat akan menahan retak dengan tiga cara yaitu dengan kekuatan serat sendiri, bentuk dari serat dan lekatan antara serat dengan pasta semen.

Pada beton non serat pada saat pengujian terdengar suara ledakan yang sangat keras dan beton terbelah menjadi dua bagian. Sedangkan untuk beton serat, terdengar suara retakan yang perlahan beberapa saat sebelum terjadi keruntuhan dan beton serat tersebut tidak terbelah menjadi 2 bagian karena serat kawat menahan agar tidak terbelah. Pada saat terjadi keruntuhan, suara ledakan beton serat lebih perlahan dibanding dengan beton non serat yang mengeluarkan suara ledakan yang sangat keras. Hal ini membuktikan bahwa beton serat dapat memperbaiki sifat getas (*brittle*) beton.

Tampang retak hasil pengujian kuat tarik belah beton pada beton normal dan beton serat dapat dilihat pada lampiran O.

Dari tabel 4.4 dapat dilihat bahwa nilai kuat tarik belah beton yang dihasilkan lebih besar dari beton normal. Hal ini sesuai dengan penelitian Suhendro (1991) dan Sudarmoko (1993) bahwa penambahan serat kawat dapat meningkatkan kuat tarik belah beton. Pada beton serat dengan \varnothing 0,9 mm dan panjang 67,5 mm sehingga l/d diperoleh 75 mempunyai nilai kuat tarik beton yang paling optimal. Pada lampiran T dengan grafik *trendline* didapatkan diameter yang optimal 0,9 mm dan 0,94 mm tetapi karena \varnothing 0,94 mm tidak ada maka diameter yang paling optimal 0,9 mm.

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa penambahan serat kawat kedalam adukan beton akan meningkatkan kuat tarik belah beton. Disamping itu mekanisme kegagalannya bersifat *ductile*. Ini dibuktikan dari benda uji setelah pengujian, untuk beton normal benda uji terbelah menjadi 2 bagian sedangkan untuk beton serat benda uji tidak terbelah menjadi beberapa bagian hanya retak memanjang pada bagian tengahnya.



Gambar 4.4 Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Diameter Serat pada $l/d = 60, 75$ dan 90

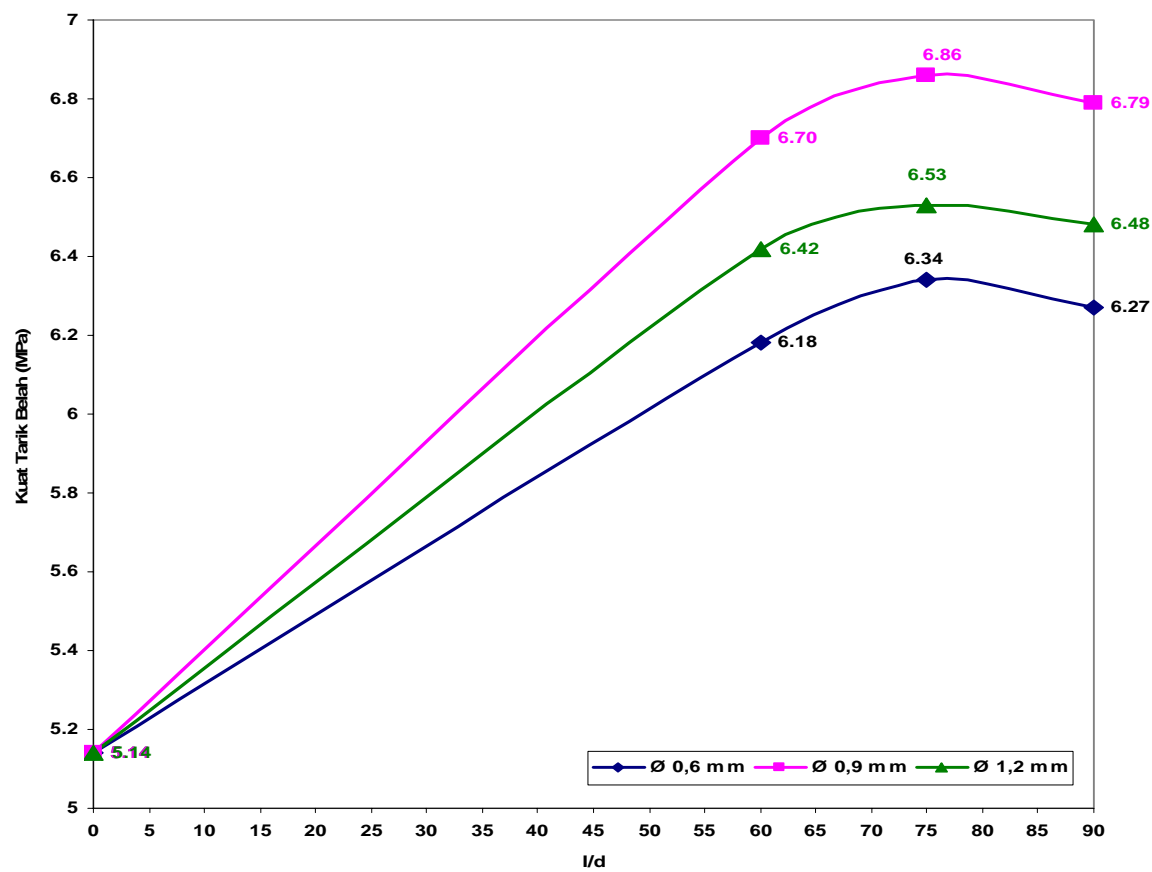
Dari tabel 4.3 dan gambar 4.4 bahwa kuat tarik belah meningkat seiring bertambahnya diameter serat kawat hingga $\varnothing 0,9$ mm. Setelah itu grafiknya menurun. Hal ini disebabkan diameter yang besar akan mempersulit penyebaran serat dan kuat tarik tidak menghasilkan kekuatan yang maksimal.

Kuat tarik tertinggi didapatkan pada serat $\varnothing 0,9$ mm dengan panjang 67,5 mm sehingga l/d diperoleh 75 sebesar 6,86 Mpa, hal ini berarti terjadi peningkatan sebesar 33,46 % dari beton normal sebesar 5,14 MPa. Penelitian ini juga sesuai dengan hasil penelitian Sudarmoko (1993) dan Suhendro (1991) bahwa penambahan serat kawat kedalam adukan beton dapat meningkatkan kuat tarik belah beton. Dari tabel 4.3 dapat dilihat kuat tarik belah beton normal sebesar 5,14 MPa pada umur 28 hari. Dilihat dari kuat tekannya 51,13 MPa, kuat tarik belah beton normal sebesar 10,06 % dari kuat tekannya. Hal ini sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03 Departemen Pekerjaan Umum, kuat tarik adalah 9 - 15 % dari kuat tekannya.

Hasil pengujian kuat tarik belah beton serat dengan $\varnothing 0,6$ mm dan panjang 36 mm menghasilkan kuat tarik belah 6,18 MPa. Untuk panjang 45 mm dan 54 mm adalah 6,34 MPa dan 6,27 MPa.

Hasil pengujian kuat tarik belah beton dengan \varnothing 0,9 mm dan panjang 54 mm menghasilkan kuat tarik belah 6,70 MPa. Untuk panjang 67,5 mm dan 81 mm adalah 6,86 MPa dan 6,79 MPa.

Hasil pengujian kuat tarik belah beton serat dengan \varnothing 1,2 mm dan panjang 72 mm menghasilkan kuat tarik belah 6,42 MPa. Untuk panjang 90 mm dan 108 mm adalah 6,53 MPa dan 6,49 MPa.



Gambar 4.5 Hubungan Kuat Tarik Belah Dengan l/d Pada diameter 0,6 ; 0,9 dan 1,2 mm

Penelitian ini hampir sama dengan penelitian Sudarmoko (1993). Pada penelitian Sudarmoko (1993) diperoleh panjang serat kawat yang paling optimal adalah 80 mm dengan diameter 1 mm sehingga l/d diperoleh 80 merupakan nilai yang optimal. Perbedaan ini disebabkan karena panjang dan diameter berbeda. Bentuk geometri serat serta beton yang dihasilkan juga berbeda sehingga membedakan hasil yang diperoleh. Pada penelitian Sudarmoko (1993) menggunakan beton mutu normal sedangkan pada penelitian ini menggunakan beton mutu tinggi.

Pada penelitian ini panjang serat adalah 67,5 mm dan diameter 0,9 mm sehingga l/d diperoleh 75. Hasil penelitian hubungan antara kuat tarik belah dengan l/d dapat dilihat pada gambar 4.5. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa l/d yang optimal adalah 75 setelah itu grafiknya turun. Hasil yang optimal pada diameter 0,9 mm dengan kuat tarik belah 6,86 MPa. Pada lampiran U dengan grafik *trendline* diperoleh nilai yang optimum untuk l/d adalah 80 dengan kuat tarik belah 6,93 MPa.

4.2.5 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

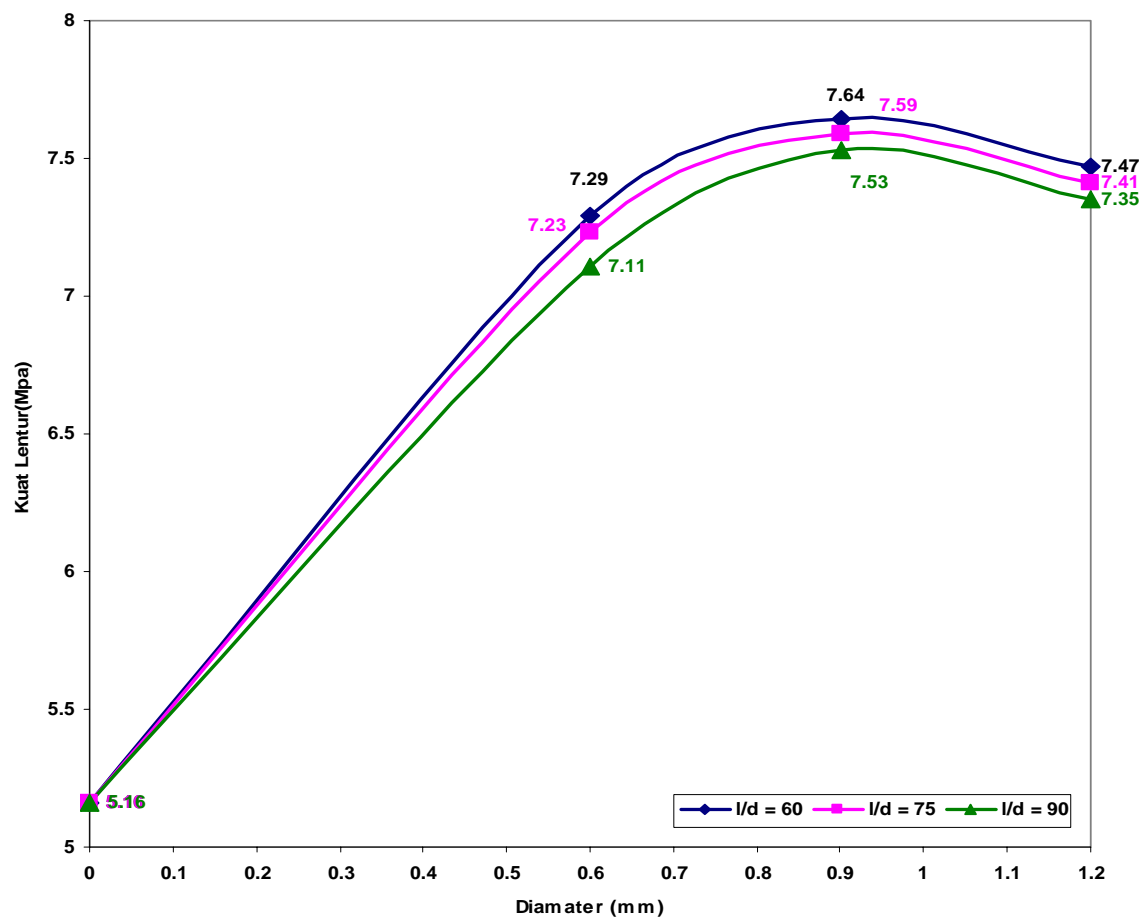
Dari hasil penelitian kuat lentur dapat diketahui bahwa penambahan serat dapat meningkatkan kuat lentur beton.

Pada tabel 4.4 dapat dilihat kuat lentur beton normal adalah 5,16 MPa. Hasil pengujian kuat lentur beton serat dengan \varnothing 0,6 mm dan panjang 36 mm menghasilkan kuat letur 7,29 MPa. Untuk panjang 45 mm dan 54 mm adalah 7,23 MPa dan 7,11 MPa.

Hasil pengujian kuat lentur beton serat dengan \varnothing 0,9 mm dan panjang 54 mm menghasilkan kuat lentur 7,64 MPa. Untuk panjang 67,5 mm dan 81 mm adalah 7,59 MPa dan 7,53 MPa.

Hasil pengujian kuat lentur beton serat dengan \varnothing 1,2 mm dan panjang 72 mm menghasilkan kuat lentur 7,47 MPa. Untuk panjang 90 mm dan 108 mm adalah 7,41 MPa dan 7,35 MPa.

Pada pengujian kuat lentur beton non serat, pada saat pengujian terdengar suara ledakan yang sangat keras. Pada beton serat suara ledakan tidak terdengar keras. Hasil pengujian kuat lentur dapat dilihat pada lampiran P.

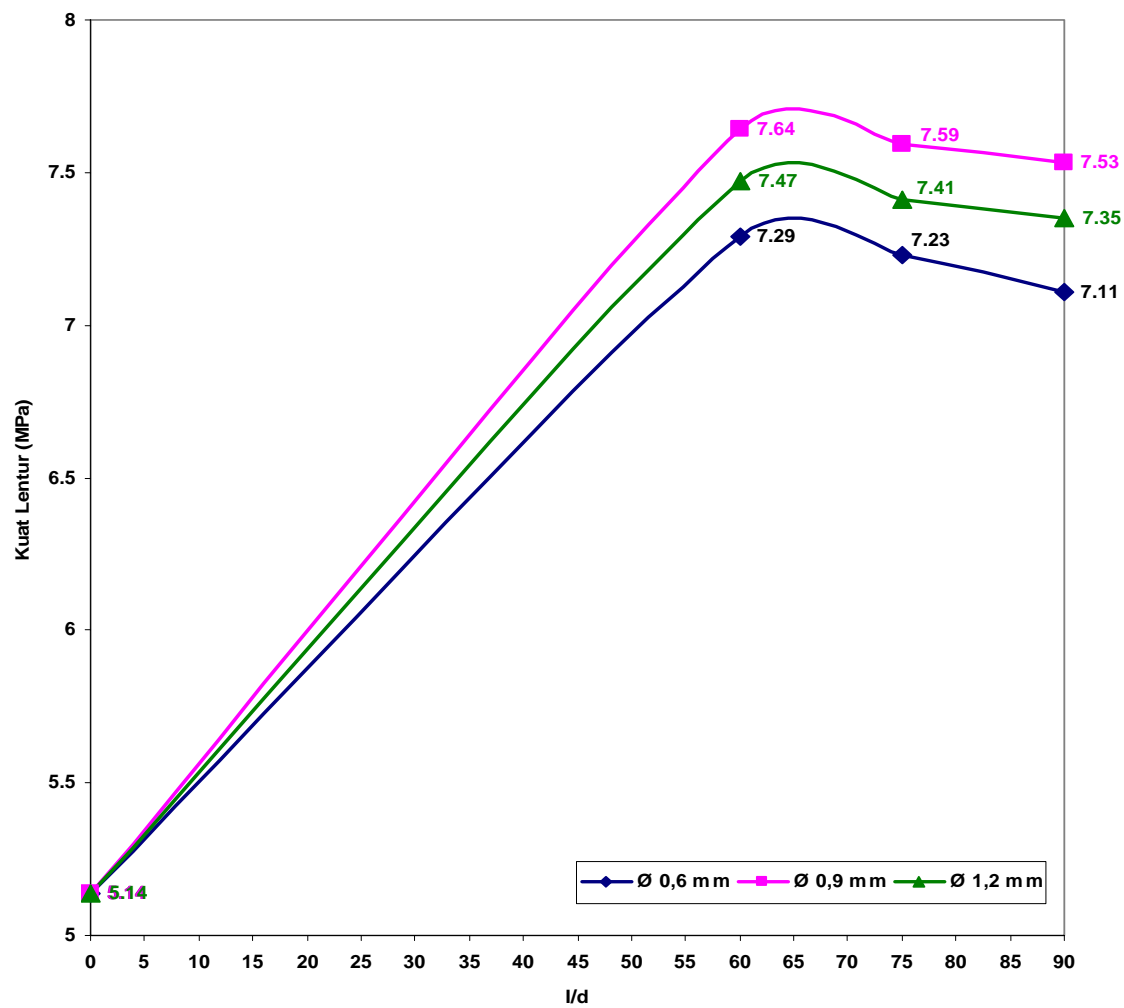


Gambar 4.6 Hubungan Kuat Lentur dengan Diameter Serat pada $l/d = 60, 75$ dan 90

Pada gambar 4.6 dapat diamati bahwa kuat lentur beton meningkat dengan bertambahnya diameter hingga mencapai $\varnothing 0,9$ mm. Kemudian grafik menurun. Hal ini disebabkan semakin bertambahnya diameter serat maka akan semakin sulit pengerjaan beton (*workability* adukan semakin rendah) sehingga semakin sulit didapat campuran yang homogen dan menyebabkan kuat lentur beton serat menurun.

Untuk beton non serat setelah pengujian balok beton terbelah menjadi 2 bagian sedangkan untuk beton serat balok beton tidak terbelah menjadi 2 bagian. Hal ini dikarenakan dengan adanya serat pada beton dapat menahan balok beton sehingga tidak terbelah menjadi 2 bagian tetapi hanya retak pada bagian tengahnya.

Kuat lentur beton serat tertinggi dapat didapatkan pada serat dengan $\varnothing 0,9$ mm dan panjang 54 mm sebesar 7,64 MPa. Hal ini berarti terjadi peningkatan sebesar 48,06 % dari beton normal sebesar 5,16 MPa.



Gambar 4.7 Hubungan Kuat Lentur Dengan l/d Pada Diameter 0,6 ; 0,9 dan 1,2 mm

Dari hasil pengujian kuat lentur beton serat dapat dilihat bahwa nilai kuat lentur yang dihasilkan lebih besar dari kuat lentur normal. Pada beton serat dengan \varnothing 0,9 mm dan panjang 54 mm sehingga l/d diperoleh 60 mempunyai nilai yang optimal. Hal ini sesuai dengan penelitian Suhendro (1992) bahwa penambahan serat kawat dapat meningkatkan kuat lentur beton. Pada penelitian Suhendro (1992) l/d diperoleh 60. Pada penelitian ini dengan Suhendro (1992) diperoleh l/d sama tetapi panjang dan diameter serat serta bentuk geometri dan beton yang dihasilkan berbeda. Penelitian ini, mutu beton yang digunakan beton mutu tinggi sedang pada penelitian Suhendro (1992) menggunakan mutu normal. Pada lampiran V dengan grafik *trendline* diameter yang optimal 0,9 mm, 0,94 mm dan 1 mm tetapi karena \varnothing 0,94 tidak ada maka diameter yang paling optimal 0,9 mm atau 1 mm.

Hasil penelitian hubungan antara kuat lentur dengan l/d dapat dilihat pada gambar 4.7. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa l/d yang optimal adalah 60. Kuat lentur optimal pada Ø 0,9 mm, dalam variabel l/d makin besar cenderung makin turun tetapi penurunannya tidak signifikan. Hasil yang optimal pada Ø 0,9 mm dengan kuat lentur 7,64 MPa.

Tabel 4.5 Hasil Optimasi Penelitian

NO	KETERANGAN	OPTIMASI
1	Jenis kawat	Galvanis
2	Mutu beton	Tinggi
3	l/d optimal	75
4	Ø	0,9 mm
5	Y st	153,6 N
6	f'c	50 Mpa
7	V serat (%)	2,0
8	Peningkatan kuat tekan	14,67 %
9	Peningkatan kuat tarik belah	33,46 %
10	Peningkatan kuat lentur	48,06 %
11	Workability (%)	35,5
12	Bentuk serat	Berkait
13	Gambar	

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pengamatan yang telah dilakukan pada beton $f_c' = 50$ Mpa dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan serat akan mengurangi *workability*. Hal ini ditunjukkan dengan menurunnya nilai *slump* pada beton. Pada beton mutu tinggi nilai *slump* cenderung kecil dibandingkan dengan beton mutu normal, ini dikarenakan pada beton mutu tinggi jumlah semen lebih banyak dibanding dengan beton mutu normal disamping itu *fas* dan *wcr* beton mutu tinggi lebih kecil menyebabkan nilai *slump* menjadi kecil. Pada beton mutu normal prosentase penurunan lebih besar dibandingkan dengan beton mutu tinggi.
2. Penambahan serat kawat pada adukan dapat meningkatkan kuat tekan beton tetapi tidak signifikan dibandingkan dengan kuat tarik dan kuat lentur beton. Kuat tekan beton yang optimal pada beton serat dengan $\varnothing 0,9$ mm dan panjang 67,5 ($l/d = 75$) mm pada umur 28 hari sebesar 58,63 MPa atau mengalami peningkatan 14,67 % dari beton normal. Dengan menggunakan grafik *trendline* dapat diketahui diameter yang paling optimal 0,96 mm tetapi karena $\varnothing 0,96$ mm tidak ada maka diameter yang optimal 1 mm dengan kuat tekan 58,68 MPa.
3. Penambahan serat kawat pada adukan beton dapat meningkatkan kuat tarik belah beton. Kuat tarik belah beton yang optimal didapatkan pada beton dengan $\varnothing 0,9$ mm dan panjang 67,5 mm ($l/d = 75$) pada umur 28 hari sebesar 6,86 MPa atau mengalami peningkatan 33,46 % dari beton normal. Dengan menggunakan grafik *trendline* diperoleh diameter yang paling optimal 0,94 mm tetapi karena $\varnothing 0,94$ mm tidak ada maka diameter yang paling optimal 0,9 mm.
4. Penambahan serat kawat pada adukan beton dapat meningkatkan kuat lentur beton. Kuat lentur beton yang optimal didapatkan pada beton fiber dengan $\varnothing 0,9$ mm dan panjang 54 mm ($l/d = 60$) pada umur 28 hari sebesar 7,64 MPa atau mengalami peningkatan 48,06 % dari beton normal. Dengan menggunakan grafik *trendline* diperoleh diameter yang paling optimal 0,95 mm dan 1 mm tetapi karena $\varnothing 0,95$ mm tidak ada maka diameter yang paling optimal 0,9 mm.

5. Pada beton non serat, pada saat pengujian terdengar suara ledakan yang sangat keras sekali sedangkan pada beton serat suara ledakan terdengar lebih halus. Hal ini membuktikan bahwa dengan penambahan serat dapat mengurangi sifat getas beton.
6. Pada penelitian ini nilai deviasi yang digunakan harus kecil karena nilai deviasi yang besar menyebabkan kekuatan rata-rata tidak tercapai.
7. Dari segi harga lebih ekonomis beton non serat dibanding beton serat, hal ini dikarenakan ada bahan tambah serat.

5.2 Saran

1. Pada saat pembuatan beton serat, agar diperhatikan masalah pengerjaan sehingga didapatkan serat yang tidak menggumpal dan beton serat yang padat dan tidak keropos. Pada penelitian ini proses pengadukan campuran pasir, kerikil, semen dan serat kedalam *concrete mixer* kemudian air. Pada saat menaburkan serat dilakukan dengan tangan dan secara hati-hati sehingga setiap serat dapat masuk kedalam adukan secara sendiri-sendiri. Pada saat proses pemadatan, adukan beton ditusuk-tusuk agar diperoleh beton yang tidak keropos.
2. Hasil penelitian dapat diaplikasikan pada lapisan perkerasan jalan / *rigid pavement*. Pada campuran beton dengan diameter maksimal kerikil 20 mm agar mempermudah penyebaran serat secara merata kedalam adukan beton disamping itu untuk panjang serat 75 mm dengan posisi tegak lurus tulangan utama yang jaraknya kurang dari 75 mm akan menahan split sehingga dimungkinkan keropos.
3. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai bentuk serat kawat yang optimal. Bentuk serat kawat yang optimal akan memberikan hasil yang lebih optimal.
4. Perlu adanya penelitian dengan mutu beton normal. Dengan mutu beton normal akan diketahui berapa besar pengaruhnya dibanding dengan mutu beton tinggi
5. Selain penelitian kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur beton serat juga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut seperti uji impact untuk mengetahui beban kejut dan modulus elastik untuk mengetahui kemampuan menahan tegangan.
6. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan l/d lebih variatif.
7. Untuk penelitian lebih lanjut dapat menggunakan \emptyset 1 mm dengan panjang yang sama dengan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 544, 1988, *Design Consideration For Steel Fiber Reinforced Concrete*, Report : ACI 544.4R – 88
- ACI Committee 211, 1993, *Guide for Selecting Proportions for High – Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash*, Report : ACI 211.4R – 93
- ACI Committee 544, 1993, *Guide for Specifying, Proportioning, Mixing, Placing and Finishing Steel Fiber Reinforced Concrete*, Report : ACI 544.3R - 93
- Anonim, 1985, Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (PUBI – 1982), Departemen Pekerjaan Umum, Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman, Bandung
- Anonim, 1989, Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar, SK SNI M – 08 – 1989 – F, Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta
- Anonim, 1989, Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar, SK SNI M – 09 – 1989 – F, Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta
- Anonim, 1989, Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus, SK SNI M – 10 – 1989 – F, Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta
- Anonim, 1989, Metode Pengujian Kadar Air Agregat, SK SNI M – 11 – 1989 – F, Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta
- Anonim, 1989, Metode Pengujian Slump Beton, SK SNI M – 12 – 1989 – F, Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta
- Anonim, 1989, Metode Pengujian Kuat Tekan Beton, SK SNI M – 14 – 1989 – F, Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta
- Anonim, 1990, Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles, SK SNI M – 02 – 1990 – F, Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta
- Anonim, 1990, Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton, SK SNI M – 60 – 1990 – 03, Yayasan LPMB, Bandung
- Anonim, 1990, Metoda Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium, SK SNI M – 62 – 1990 – 03, Yayasan LPMB, Bandung
- Anonim, 2003, Panduan Praktikum Teknologi Bahan Konstruksi, Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang

- ASTM, 2002, *Concrete and Aggregate*, Annual Book of ASTM Standards 2002, Vol. 04.02, American Society for Testing and Materials, Philadelphia
- Bayasi, Z., Zeng, J., 1993, *Properties Of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete*, ACI Material Journal, Volume 90, No. 6, November – December 1993
- Balaguru, P., Ramakrishnan, V., 1988, *Properties Of Fiber Reinforced Concrete : Workability, Behavior Under Long - Term Loading, And Air-Void Characteristics*, ACI Materials Journal, May - June 1988
- Balaguru, P., Narahari, R., Patel, M., 1992, *Flexural Toughness Of Steel Fiber Reinforced Concrete*, ACI Material Journal, V. 89, No. 6, November – December 1992
- Briggs, A., Bowen, D. H and Kollek, J., 1974, *Mechanical Properties and Durability of Carbon Fibre Reinforced Cement Composites*, Proceeding of International Conference Carbon Fibres, The Plastic Institute, London
- Gere, J.M., Timoshenko, S.P., 1996, *Mekanika Bahan*, Edisi Keempat Versi SI, Erlangga, Jakarta
- Handiyono, 1994, *Pengaruh Bentuk Geometri Serat Bendrat Terhadap Kapasitas Balok Beton Bertulang Model Skala Penuh*, Tesis Program Magister Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
- Hartanto, S., 1994, *Pengaruh Fiber Lokal Pada Perilaku Dan Kapasitas Balok Tinggi Beton Bertulang*, Tesis Program Magister Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
- Kusuma, G.H., 1994, *Pedoman Pengerjaan Beton, Berdasarkan SK SNI T – 15 – 1991 – 03*, Erlangga, Jakarta
- Leksono, B.T., 1995, *Pengaruh Pemakaian Fiber Bendrat Berkait Secara Parsial Pada Perilaku Dan Kapasitas Balok Beton Bertulang Dengan Model Skala Penuh*, Tesis Program Magister Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
- Leksono, B.T., Suhendro, B., Sulistyono, P., 1995, *Pengaruh Fiber Bendrat Berkait Secara Parsial Pada Perilaku Dan Kapasitas Balok Beton Bertulang Dengan Model Skala Penuh*, BPPS – UGM, 8(3B), Agustus 1995
- Murdock, L.J dan Brook, K.M., (diterjemahkan oleh Stephanus Hendarko), 1986, *Bahan Dan Praktek Beton*, Edisi Keempat, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Naaman, A.E., Najm, H., 1991, *Bond – Slip Mechanisms Of Steel Fibers In Concrete*, ACI Materials Journal, V. 88, No. 2, March – April 1991
- Soroushian, P., Bayasi, Z., 1987, *Concept of Fibre Reinforced Concrete*, Proceeding of The International Seminar on Fibre Reinforced Concrete, Michigan State University
- Soroushian, P., Bayasi, Z., 1991, *Fiber - Type Effects On The Performance Of Steel Fiber Reinforced Concrete*, ACI Materials Journal, V. 88, No. 2, March - April 1991

- Sudarmoko, 1991, Kuat Tarik Beton – Serat, Seminar Mekanika Bahan Dalam Berbagai Aspek, Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Sudarmoko, 1993, Pengaruh Panjang Serat Pada Sifat Struktural Beton Serat, Media Teknik No. 1 Tahun XV, Yogyakarta
- Sudarmoko, 1995, Kuat Lentur Balok Beton Serat Skala Penuh, Media Teknik No. 2 Tahun XVII, Yogyakarta
- Suhendro, B., 1991, Pengaruh Fiber Kawat Pada Sifat-Sifat Beton, Seminar Mekanika Bahan Dalam Berbagai Aspek, Yogyakarta
- Suhendro, B., 1992, Ketahanan Kejut (*Impact Resistance*) Beton Fiber Lokal Dan Kemungkinan Aplikasinya Pada Struktur – Struktur Sabo Untuk Penanggulangan Bahaya Gunung Berapi, PAU Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
- Surendra, P. Shah, 1983, *Handbook Of Structural Concrete*, Pitman, London
- Tjokrodimulyo, K., 1996, Teknologi Beton, Penerbit Nafiri, Jakarta

**LAMPIRAN A
PERHITUNGAN BERAT JENIS FIBER KAWAT**

Perhitungan berat jenis kawat sebagai berikut :

$$\gamma_{\text{air raksa}} = 13,6 \text{ gr / cm}^3$$

$$V_{\text{hg}} = \frac{W_{\text{hg}}}{\gamma_{\text{hg}}}$$

$$\gamma_{\text{fb}} = \frac{W_{\text{fb}}}{V_{\text{fb}}}$$

$$W_{\text{fb}} = 2,2 \text{ gr}$$

$$W_{\text{hg}} = 4,0 \text{ gr}$$

$$V_{\text{hg}} = \frac{W_{\text{hg}}}{\gamma_{\text{hg}}} = \frac{4,0}{13,6} = 0,294 \text{ cm}^3$$

$$\gamma_{\text{fb}} = \frac{W_{\text{fb}}}{V_{\text{fb}}} = \frac{2,2}{0,294} = 7,482 \text{ gr / cm}^3$$

Perhitungan berat jenis fiber kawat dilakukan dengan 4 kali percobaan :

NO.	W _{fb} (gram)	W _{hg} (gram)	V _{hg} = V _{fb} (cm ³)	γ _{fb} (gr / cm ³)
1	2,2	4,0	0,294	7,482
2	2,7	4,8	0,352	7,670
3	3,2	5,8	0,426	7,511
4	3,7	6,8	0,5	7,400
			Rata-rata	7,515 = 7,52

LAMPIRAN B

KANDUNGAN LUMPUR DAN KOTORAN ORGANIS PASIR

Sistem Kocokan :

a). Tinggi Pasir + Lumpur = 131 cc

b). Tinggi Pasir = 128 cc -

c). Tinggi Lumpur = 3 cc

Kotoran Organik :

a). Tinggi Pasir + Lumpur = 132 cc

b). Tinggi Pasir = 128 cc -

c). Tinggi Lumpur = 4 cc

Warna Na OH : kuning muda

**LAMPIRAN C
ANALISA SARINGAN PASIR**

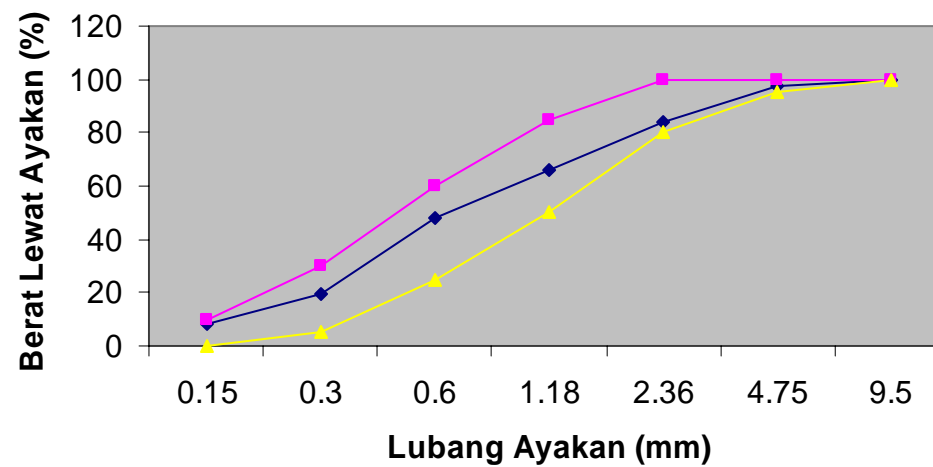
Hasil Analisa Saringan Agregat Halus

Lubang Ayakan	Berat Tertinggal		Berat Kumulatif (%)	Berat Kumulatif Lewat Ayakan (%)
	Gr	%		
9,5 mm ($\frac{3}{8}$ ")	0	0	0	100
4,75 mm (No. 4)	28	2,8028	2,8028028	97,197197
2,36 mm (No. 8)	132,5	13,2633	16,066066	83,933934
1,18 mm (No.16)	182,5	18,2683	34,334334	65,665666

0,60 mm (No. 30)	173,5	17,3674	51,701702	48,298298
0,30 mm (No. 50)	288	28,8288	80,530531	19,469469
0,15 mm (No. 100)	115,5	11,5616	92,092092	7,907908
Sisa	79	7,90791		
Jumlah	999	100	277,52753	

Modulus halus butir = 2,78

Grafik Analisa Saringan



Keterangan :

- : batas atas
- : gradasi pasir
- : batas bawah

LAMPIRAN D ANALISA PASIR

KADAR AIR ASLI

Berat contoh = 500,00 gr
 Berat kering = 475,00 gr
 Berat air = 25,00 gr
 Kadar air = 5,00 %

BERAT ISI ASLI

Gembur = 3924,00 gr : 2941,66 = 1,33 kg / dm³
 Padat = 4507,00 gr : 2941,66 = 1,53 kg / dm³

BERAT ISI SSD

Gembur = 4566,00 gr : 2941,66 = 1,55 kg / dm³

Padat = 5017,00 gr : 2941,66 = 1,71 kg / dm³

BERAT JENIS ASLI

Berat contoh = 500,00 gr
 Berat dlm air = 502,00 gr
 Isi contoh = 804,00 gr - 500,00 gr = 304,00 gr
 Berat jenis asli = 500,00 gr : 198,00 gr = 2,53

BERAT JENIS SSD

Berat contoh = 500,00 gr
 Berat dlm air = 502,00 gr
 Isi contoh = 810,00 gr - 500,00 gr = 310,00 gr
 Berat jenis asli = 500,00 gr : 192,00 gr = 2,60

KADAR AIR SSD

Berat contoh = 500,00 gr
 Berat kering = 494,00 gr
 Berat air = 6,00 gr
 Kadar air SSD = 1,20 %

KETERANGAN :

- Gembur : Silinder diisi benda uji tanpa dipadatkan
 Padat : Silinder diisi setengah kemudian ditusuk 25 X, diisi penuh kemudian ditusuk 25 X dan diratakan
 SSD : Keadaan jenuh kering muka (*Saturated Surface Dry*)
 Berat contoh: Berat benda uji tanpa dioven
 Berat kering : Berat benda uji kering oven

LAMPIRAN E

ANALISA SARINGAN KERIKIL

Hasil Analisa Saringan Agregat Kasar

LUBANG AYAKAN (mm)	BERAT TERTINGGAL		BERAT KUMULATIF (%)	BERAT KUMULATIF LEWAT AYAKAN (%)
	GRAM	%		
25	0,00	0,00	0,00	100,00
19,5	1824	36,49	36,49	63,51
9,5	3014,5	60,30	96,79	3,21
4,75	146,5	2,93	99,72	0,28
2,36	6,5	0,13	99,85	0,15
1,18	1,00	0,020004	99,869974	0,130026
0,60	1,00	0,020004	99,889978	0,110022

0,30	1,00	0,020004	99,909982	0,090018
0,15	1,00	0,020004	99,929986	0,070014
SISA	3,5	0,070014		
JUMLAH	4999	100,00	732,45	

LAMPIRAN F
ANALISA KERIKIL

KADAR AIR ASLI

Berat contoh = 500,00 gr
 Berat kering = 495,00 gr
 Berat air = 5,00 gr
 Kadar air = 1,00 %

BERAT ISI ASLI

Gembur = 4059,00 gr : 2941,66 = 1,38 kg / dm³
 Padat = 4455,00 gr : 2941,66 = 1,51 kg / dm³

BERAT ISI SSD

Gembur = 4220,00 gr : 2941,66 = 1,43 kg / dm³
 Padat = 4552,00 gr : 2941,66 = 1,55 kg / dm³

BERAT JENIS ASLI

Berat contoh = 500,00 gr
 Berat dlm air = 316,00 gr
 Isi contoh = 500,00 gr - 316,00 gr = 184,00 gr
 Berat jenis asli = 500,00 gr : 184,00 gr = 2,72

BERAT JENIS SSD

Berat contoh	=	500,00 gr
Berat dlm air	=	319,00 gr
Isi contoh	=	500,00 gr - 319,00 gr = 181,00 gr
Berat jenis asli	=	500,00 gr : 181,00 gr = 2,76

KADAR AIR SSD

Berat contoh	=	500,00 gr
Berat kering	=	490,00 gr
Berat air	=	10,00 gr
Kadar air	=	2,00 %

KETERANGAN :

- Gembur : Silinder diisi benda uji tanpa dipadatkan
 Padat : Silinder diisi setengah kemudian ditusuk 25 X, diisi penuh kemudian ditusuk 25 X dan diratakan
 SSD : Keadaan jenuh kering muka (*Saturated Surface Dry*)
 Berat contoh : Berat benda uji tanpa dioven
 Berat kering : Berat benda uji kering oven

LAMPIRAN G**PENGUJIAN TINGKAT KEKERASAN AGREGAT KASAR (KERIKIL) DENGAN MESIN LOS ANGELES****Hasil Pengujian Tingkat Kekersan Agregat Kasar (Kerikil) dengan Mesin Los Angeles**

Gradasi Pemeriksaan		Grading A		Grading B	
Saringan		I		II	
Lolos	Tertahan	Berat sebelum (gr) a	Berat sesudah (gr) b	Berat sebelum (gr) a	Berat sesudah (gr) b
76,2 mm (3")	63,5 mm (2 ½")				
63,5 mm (2 ½")	50,8 mm (2")				
50,8 mm (2")	37,5 mm (1 ½")				
37,5 mm (1 ½")	25,4 mm (1")				
25,4 mm (1")	19,0 mm (¾")				
19,0 mm (¾")	12,5 mm (½")			2500	
12,5 mm (½")	9,5 mm (⅜")			2500	
9,5 mm (⅜")	6,3 mm (¼")				
6,3 mm (¼")	4,75 mm (no. 4)				
4,75 mm (No. 4)	2,36 (no. 8)				
Jumlah berat				5000	
Berat tertahan saringan no. 12					4095

$$\begin{aligned}
 \text{Keausan} &= \frac{a - b}{a} \times 100 \% \\
 &= \frac{(5000 - 4095)}{5000} \times 100 \% \\
 &= 18,1 \%
 \end{aligned}$$

LAMPIRAN H
MODULUS HALUS PASIR DAN KERIKIL

Berat Agregat hasil pengayakan yang tertinggal diayakan

Pasir	Kerikil	Lubang Ayakan
0	0	37,5
0	0	25
0	2500	19
0	1250	9,5
48	1200	4,75
74	50	2,36
184	0	1,18
210	0	0,6
288	0	0,3
172	0	0,15
24	0	Sisa

Tabel Hitungan
Modulus halus butir pasir

Tabel Hitungan
Modulus halus butir kerikil

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Komulatif (%)	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Komulatif (%)
25	0	0	0	25	0	0	0
19	0	0	0	19	1824	36,49	36,49
9,5	0	0	0	9,5	3014,5	60,30	96,79

4,75	28	2,8028	2,8028028	4,75	146,5	2,93	99,72
2,36	132,5	13,2633	16,066066	2,36	6,5	0,13	99,85
1,18	182,5	18,2683	34,334334	1,18	1	0,020004	99,869974
0,6	173,5	17,3674	51,701702	0,6	1	0,020004	99,889978
0,3	288	28,8288	80,530531	0,3	1	0,020004	99,909982
0,15	115,5	11,5616	92,092092	0,15	1	0,020004	99,929986
Sisa	79	7,90791	-	Sisa	3,5	0,070014	-
Jumlah	999	100%	277,52753	Jumlah	4999	100%	732,45

Nilai modulus halus butir campuran yang diinginkan = 5,35

Nilai Modulus-halus (**Pasir** **Kerikil**)

2,78	7,32
-------------	-------------

Persentase berat pasir terhadap kerikil

Persentase berat

$$W = 77\%$$

<u>Pasir (P)</u>	<u>: Kerikil (K)</u>
43%	57%

LAMPIRAN I
PERHITUNGAN CAMPURAN BETON (MIX DESIGN)

MIX DESAIN BETON
PENELITIAN DI LAB. BAHAN & KONTRUKSI
(PASIR MUNTILAN + AGREGAT KASAR ½)

Mix Design Beton dengan cara DOE dengan ketentuan sebagai berikut :

# Target mutu	K	603	Kg/cm ²	(fc' = 50 Mpa)
# Deviasi standart	s	46	Kg/cm ²	(tidak ada contoh uji sebelumnya)
# Faktor air semen max		0,6		(tabel 3.5 beton diluar ruangan)
# Kadar semen minimum		325	Kg/m ³	(tabel 3.5 beton diluar ruangan)
# Berat jenis semen		3,1	ton/m ³	
# Slump beton antara	60 – 180		mm	(tabel 3.3)
# BJ SSD pasir alam		2,60	ton/m ³	
# BJ SSD batu pecah		2,76	ton/m ³	
# Kadar air SSD (pasir)		1,20	%	
# Kadar air SSD (batu)		2,00	%	
# Kadar air asli (pasir)		5,00	%	
# Kadar air asli (batu)		1,00	%	
# Berat isi asli semen		1,31	Kg/dm ³	
# Berat isi asli pasir		1,33	Kg/dm ³	
# Berat isi asli batu		1,38	Kg/dm ³	
# Data analisa ayakan terlampir				

Langkah perhitungan Mix Design Beton cara DOE :

1). Mencari tegangan tekan beton rata-rata (σ_{bm})

$$\text{Tegangan tekan beton rata-rata } (\sigma_{bm}) = \sigma_{bk} + 1,645 \times s$$

$$\text{Tegangan tekan beton rata-rata } (\sigma_{bm}) = 603 + 1,645 \times 46 = 678,67 \text{ kg/cm}^2$$

2). Mencari faktor air semen (fas) :

Faktor air semen dicari dari tabel 3.2 dan gambar 3.2

Dari tabel 3.2 diperoleh : pada umur beton 28 hari diperkirakan kuat tekan beton 450 kg/cm²

Dari gambar 3.2 diperoleh fas : = 0,33 fas max = 0,6

Diambil fas terkecil yaitu fas : = 0,33

3). Menghitung Kadar semen :

Untuk memperkirakan jumlah air pengaduk di pakai tabel 3.3 terlampir :

Butir agregat maksimum = 20 mm

Nilai slump = 60 – 180 mm

Jumlah air pengaduk = 195 – 225 liter

Direvisi :

$$2 / 3 \times 195 + 1 / 3 \times 225 = 205 \text{ liter/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar semen dihitung air / fas} &= 621,21 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Semen} &= \text{air / fas} = 205 / 0,33 = 621,21 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Ditetapkan jumlah semen max} &= 621,21 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Jumlah air disesuaikan} &= 0,33 \times 621,21 = 205,0 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

4). Penggabungan Agregat halus dan kasar :
(lihat lampiran h)

$$\begin{aligned} \text{Prosentase agregat halus} &= 43 \% \\ \text{Prosentase agregat kasar} &= 57 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BJ SSD pasir alam} &= 2,60 \\ \text{BJ SSD batu pecah} &= 2,76 \\ \text{BJ gabungan} &: (0,43 \times 2,60) + (0,57 \times 2,76) = 2,6912 \end{aligned}$$

5). Mencari berat beton segar

$$\begin{aligned} \text{BJ gabungan} &= 2,6912 \\ \text{Air pengaduk} &= 205,0 \end{aligned}$$

Besarnya berat beton segar dapat diperkirakan dengan bantuan gambar 3.3 didapat :
 $= 2410 \text{ kg/m}^3$

Sehingga berat masing-masing agregat dapat dihitung sbb :

$$= 2410,0 - 621,21 - 205,0 = 1583,79 \text{ kg}$$

$$\text{Berat agregat halus} : (43 / 100) \times 1583,79 = 681,029 \text{ kg}$$

$$\text{Berat agregat kasar} : (57 / 100) \times 1583,79 = 902,760 \text{ kg}$$

6). Koreksi berat agregat terhadap kadar air dan penyerapan

Pada agregat halus (pasir) :

$$\begin{aligned} \# \text{ Penyerapan air SSD (pasir)} &= 1,20 \% \\ \# \text{ Kadar air di lapangan (pasir)} &= 5,0 \% \\ \text{Koreksi} &= 5,0 - 1,20 = 3,80 \% \text{ (kelebihan air)} \end{aligned}$$

$$\text{Berat pasir terkoreksi} : 681,029 + (3,80 / 100 \times 681,029) = 706,91 \text{ kg}$$

Pada agregat kasar (batu)

$$\begin{aligned} \# \text{ Penyerapan air SSD (batu)} &= 2,0 \% \\ \# \text{ Kadar air di lapangan (batu)} &= 1,0 \% \\ \text{Koreksi} &= 1,0 - 2,0 = -1,0 \% \text{ (kekurangan air)} \end{aligned}$$

$$\text{Berat batu terkoreksi} : 902,76 + (-1,00 / 100 \times 902,760) = 893,73 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat air terkoreksi} &: 205,0 - (3,80 / 100) \times 681,029 - (-1,0 / 100) \times 902,760 \\ &= 188,15 \text{ kg} \end{aligned}$$

7). Kebutuhan bahan untuk satu meter kubik beton (berat)

$$\begin{aligned} \text{Air} &= 188,15 \text{ kg} = 188 \text{ kg} \\ \text{Semen} &= 621,21 \text{ kg} = 621 \text{ kg} \\ \text{Pasir} &= 706,91 \text{ kg} = 707 \text{ kg} \\ \text{Batu} &= 893,73 \text{ kg} = 894 \text{ kg} \\ \text{Serat} &= 2 \% \times 621 \text{ kg} = 12,42 \text{ kg} \end{aligned}$$

Jadi Perbandingan Berat :

$$\text{Semen} : \text{Pasir} : \text{Kerikil} = 1,00 : 1,14 : 1,44$$

8). Perbandingan Volume untuk satu meter kubik beton :

* Semen : $621,21 / 1,31 = 474,21 \text{ dm}^3$
* Pasir : $706,91 / 1,33 = 531,51 \text{ dm}^3$
* Split : $893,73 / 1,38 = 647,63 \text{ dm}^3$
Jadi perbandingan volume :
Semen : Pasir : Kerikil = 1,00 : 1,12 : 1,37

9). Untuk mix 3 benda uji silinder

* Semen : $621,21 \times 0,01908 = 11,85 \text{ kg}$
* Pasir : $706,91 \times 0,01908 = 13,49 \text{ kg}$
* Split : $893,73 \times 0,01908 = 17,05 \text{ kg}$
* Air : $188,15 \times 0,01908 = 3,59 \text{ kg}$

Untuk mix 3 benda uji balok

* Semen : $621,21 \times 0,0486 = 30,19 \text{ kg}$
* Pasir : $706,91 \times 0,0486 = 34,36 \text{ kg}$
* Split : $893,73 \times 0,0486 = 43,44 \text{ kg}$
* Air : $188,15 \times 0,0486 = 9,14 \text{ kg}$

LAMPIRAN J

HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

Kode Silinder Beton	Berat Silinder Beton (kg)	P. Maks (N)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
L ₀	13,10	750.000	51,13	51,13
	12,99	740.000	50,45	
	13,12	760.000	51,82	
L ₁	13,34	820.000	55,91	54,77
	13,26	780.000	53,18	
	13,29	810.000	55,23	
L ₂	13,30	810.000	55,23	55,46
	13,32	820.000	55,91	
	13,27	810.000	55,23	
L ₃	13,29	800.000	54,54	55,22
	13,34	830.000	56,59	
	13,33	800.000	54,54	
L ₄	13,36	840.000	57,27	57,95
	13,38	850.000	57,95	
	13,40	860.000	58,63	
L ₅	13,51	880.000	59,99	58,63
	13,39	860.000	58,63	
	13,47	840.000	57,27	
L ₆	13,39	850.000	57,95	58,18
	13,34	850.000	57,95	
	13,41	860.000	58,63	
L ₇	13,31	840.000	57,27	56,14
	13,28	810.000	55,23	
	13,33	820.000	55,91	
L ₈	13,30	840.000	57,27	57,27
	13,39	850.000	57,95	
	13,37	830.000	56,59	
L ₉	13,29	820.000	55,91	56,36
	13,30	830.000	56,59	
	13,36	830.000	56,59	

Contoh perhitungan kuat tekan silinder beton :

$$\sigma = \frac{P}{A} : 0.83$$

$$= \frac{750000}{17671.4} : 0.83$$

$$= 51,13 \text{ MPa}$$

LAMPIRAN K
HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BELAH BETON

Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Umur 28 Hari

Kode Silinder Beton	Berat Silinder Beton (kg)	P. Maks (N)	Kuat Tarik Belah (Mpa)	Kuat Tarik Belah Rata-rata (MPa)
L ₀	13,19 13,00	365.000 360.000	5,16 5,09	5,14

	13,15	365.000	5,16	
L ₁	13,22	430.000	6,08	6,18
	13,29	445.000	6,30	
	13,25	435.000	6,15	
L ₂	13,25	440.000	6,22	6,34
	13,39	460.000	6,51	
	13,28	445.000	6,30	
L ₃	13,34	455.000	6,44	6,27
	13,24	435.000	6,15	
	13,27	440.000	6,22	
L ₄	13,37	470.000	6,65	6,70
	13,41	475.000	6,72	
	13,40	475.000	6,72	
L ₅	13,53	490.000	6,93	6,86
	13,42	485.000	6,86	
	13,40	480.000	6,79	
L ₆	13,35	475.000	6,72	6,79
	13,42	485.000	6,86	
	13,41	480.000	6,79	
L ₇	13,32	455.000	6,44	6,42
	13,29	450.000	6,37	
	13,35	455.000	6,44	
L ₈	13,36	460.000	6,51	6,53
	13,40	470.000	6,65	
	13,31	455.000	6,44	
L ₉	13,29	460.000	6,51	6,49
	13,28	450.000	6,37	
	13,35	465.000	6,58	

Contoh perhitungan kuat tarik belah silinder beton :

$$\begin{aligned}
 f_{ct} &= \frac{2 \times p}{\pi \times l \times d} \\
 &= \frac{2 \times 365000}{\pi \times 300 \times 150} \\
 &= 5,16 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

LAMPIRAN L
HASIL PENGUJIAN KUAT LENTUR BETON

Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Umur 28 Hari

Kode Silinder Beton	P. Maks (N)	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur Rata-rata (MPa)
L ₀	29.000	5,16	5,16
	27.000	4,80	
	31.000	5,51	
L ₁	40.000	7,11	7,29
	42.000	7,47	
	41.000	7,29	
L ₂	41.000	7,29	7,23
	42.000	7,47	

	39.000	6,93	
L ₃	40.000	7,11	7,11
	39.000	6,93	
	41.000	7,29	
L ₄	45.000	8,00	7,64
	43.000	7,64	
	41.000	7,29	
L ₅	42.000	7,47	7,59
	44.000	7,82	
	42.000	7,47	
L ₆	44.000	7,82	7,53
	41.000	7,29	
	42.000	7,47	
L ₇	42.000	7,47	7,47
	41.000	7,29	
	43.000	7,64	
L ₈	44.000	7,82	7,41
	40.000	7,11	
	41.000	7,29	
L ₉	40.000	7,11	7,35
	43.000	7,64	
	41.000	7,29	

Contoh perhitungan kuat lentur balok beton :

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{P \times l}{b \times d \times d} \\
 &= \frac{29000 \times 600}{150 \times 150 \times 150} \\
 &= 5,16 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

LAMPIRAN M
PENAMPANG PECAH BETON SERAT BETON



Gambar Penampang pecah beton serat

LAMPIRAN N
GAMBAR PENAMPANG PECAH KUAT TEKAN BETON



Gambar Tampang Pecah pada Beton Normal



Gambar Tampang Pecah pada Beton Serat dengan \varnothing 0,6 mm dan panjang 36 mm



Gambar Tampang Pecah pada Beton Serat dengan \varnothing 0,6 mm dan panjang 54 mm



Gambar Tampang Pecah pada Beton Serat dengan \varnothing 0,6 mm dan panjang 72 mm



Gambar Tampang Pecah pada Beton Serat dengan \varnothing 0,9 mm dan panjang 54 mm



Gambar Tampang Pecah pada Beton Serat dengan \varnothing 0,9 mm dan panjang 67,5 mm



Gambar Tampang Pecah pada Beton Serat dengan \varnothing 0,9 mm dan panjang 81 mm



Gambar Tampang Pecah pada Beton Serat dengan \varnothing 1,2 mm dan panjang 72 mm



Gambar Tampang Pecah pada Beton Serat dengan \varnothing 1,2 mm dan panjang 90 mm



Gambar Tampang Pecah pada Beton Serat dengan \varnothing 1,2 mm dan panjang 108 mm

LAMPIRAN O

GAMBAR PENAMPANG RETAK KUAT TARIK BELAH BETON



Gambar Tampang Retak pada Beton Normal



Gambar Tampang Retak pada Beton Serat dengan \varnothing 0,6 mm dan panjang 36 mm



Gambar Tampang Retak pada Beton Serat dengan \varnothing 0,6 mm dan panjang 54 mm



Gambar Tampang Retak pada Beton Serat dengan \varnothing 0,6 mm dan panjang 72 mm



Gambar Tampang Retak pada Beton Serat dengan \varnothing 0,9 mm dan panjang 54 mm



Gambar Tampang Retak pada Beton Serat dengan \varnothing 0,9 mm dan panjang 67,5 mm



Gambar Tampang Retak pada Beton Serat dengan \varnothing 0,9 mm dan panjang 81 mm



Gambar Tampang Retak pada Beton Serat dengan \varnothing 1,2 mm dan panjang 72 mm



Gambar Tampang Retak pada Beton Serat dengan \varnothing 1,2 mm dan panjang 90 mm



Gambar Tampang Retak pada Beton Serat dengan \varnothing 1,2 mm dan panjang 108 mm

LAMPIRAN P
GAMBAR PENAMPANG PECAH DAN RETAK KUAT LENTUR BETON



Gambar Tampang Retak pada Balok Beton Normal



Gambar Tampang Pecah pada Balok Beton Serat dengan \varnothing 0,6 mm dan panjang 36 mm



Gambar Tampang Pecah pada Balok Beton Serat dengan \varnothing 0,6 mm dan panjang 54 mm



Gambar Tampang Pecah pada Balok Beton Serat dengan \varnothing 0,6 mm dan panjang 72 mm



Gambar Tampang Retak pada Balok Beton Serat dengan \varnothing 0,9 mm dan panjang 54 mm



Gambar Tampang Retak pada Balok Beton Serat dengan \varnothing 0,9 mm dan panjang 67,5 mm



Gambar Tampang Retak pada Balok Beton Serat dengan \varnothing 0,9 mm dan panjang 81 mm



Gambar Tampang Retak pada Balok Beton Serat dengan \varnothing 1,2 mm dan panjang 72 mm

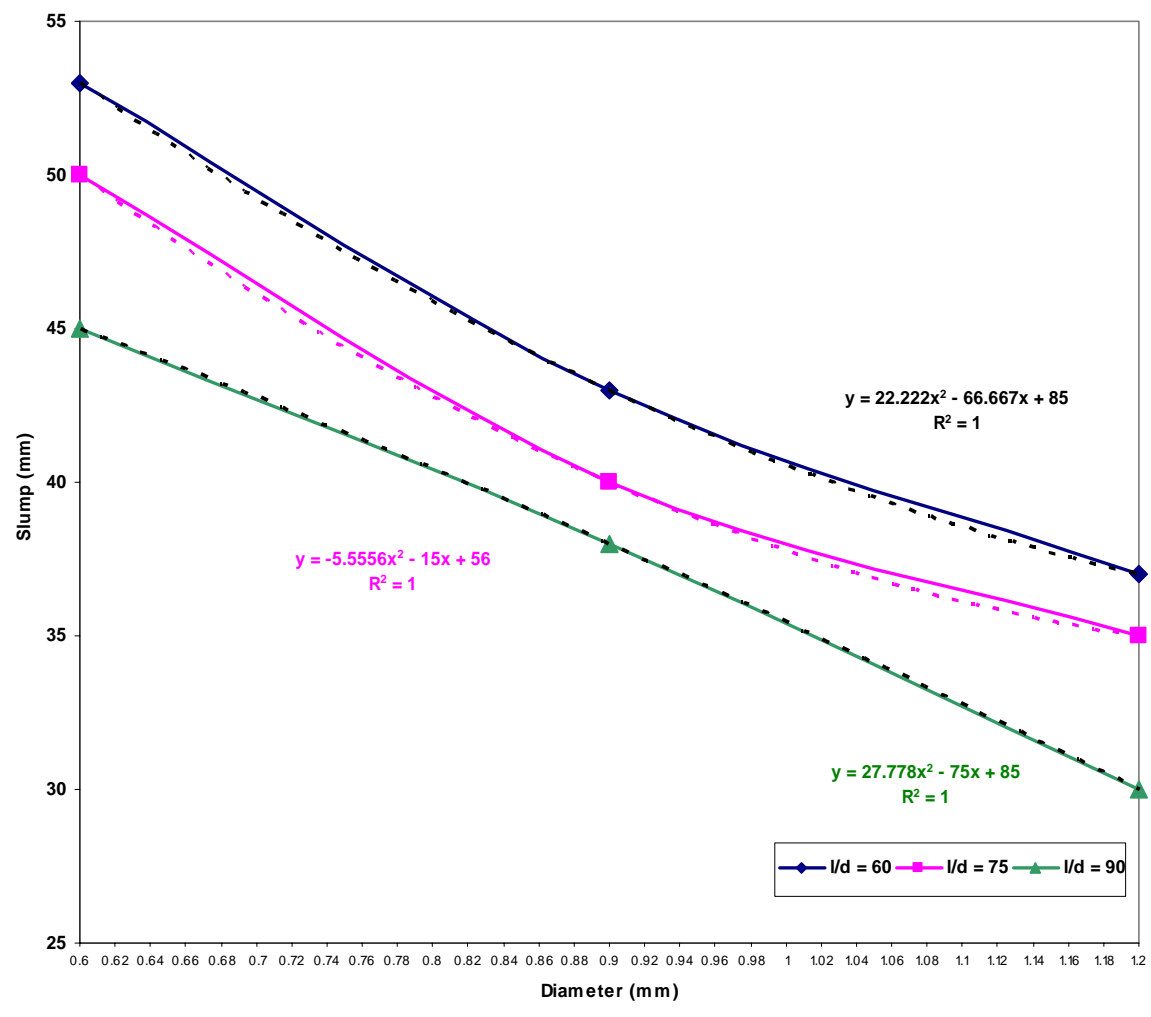


Gambar Tampang Retak pada Balok Beton Serat dengan \varnothing 1,2 mm dan panjang 90 mm



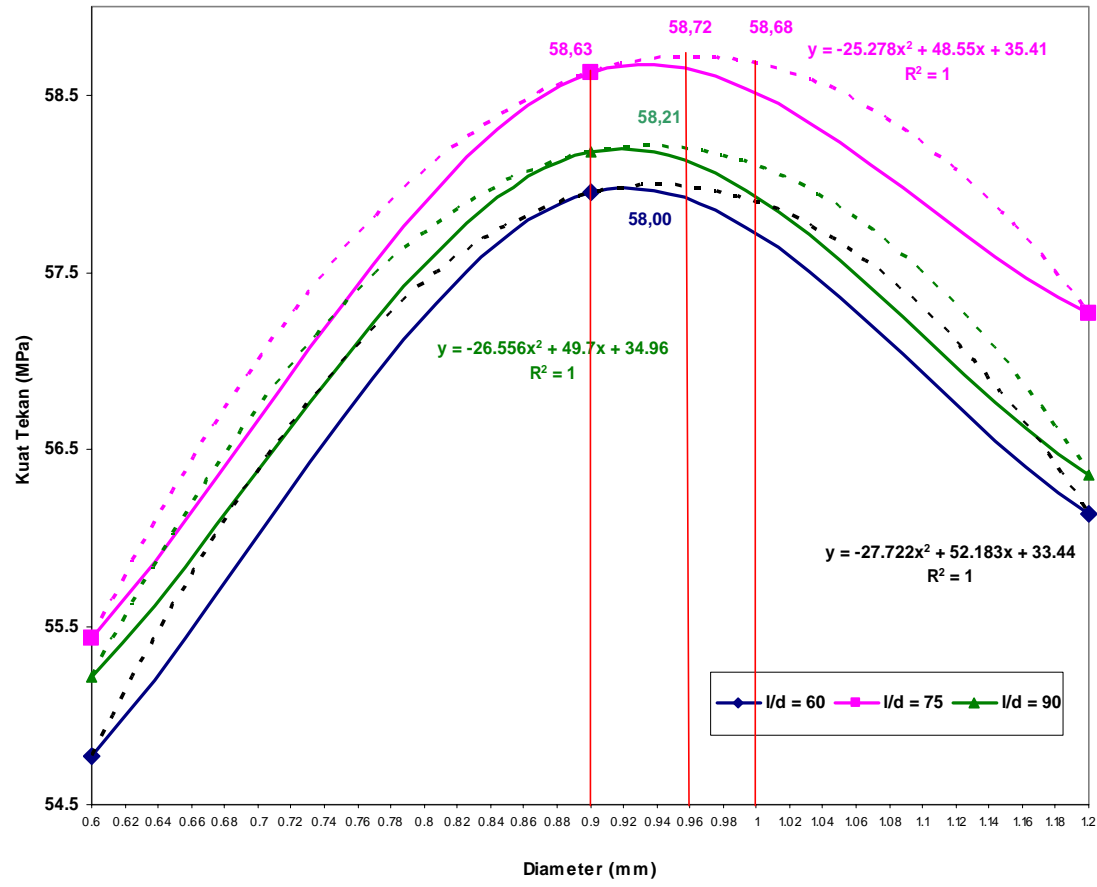
Gambar Tampang Retak pada Balok Beton Serat dengan \varnothing 1,2 mm dan panjang 108 mm

LAMPIRAN Q
HUBUNGAN *SLUMP* DENGAN DIAMETER SERAT PADA $l/d = 60, 75$ DAN 90

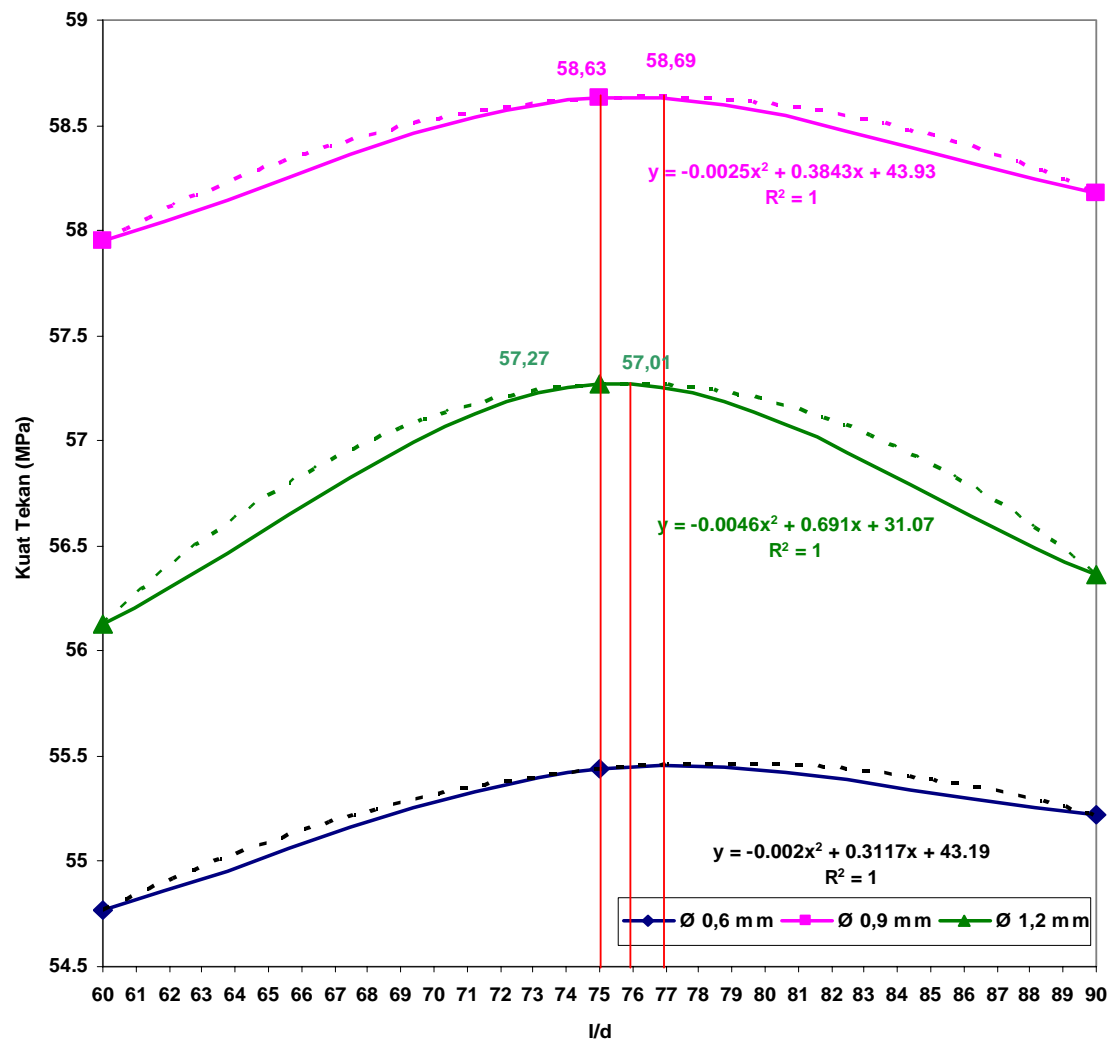


LAMPIRAN R
HUBUNGAN KUAT TEKAN DENGAN DIAMETER SERAT

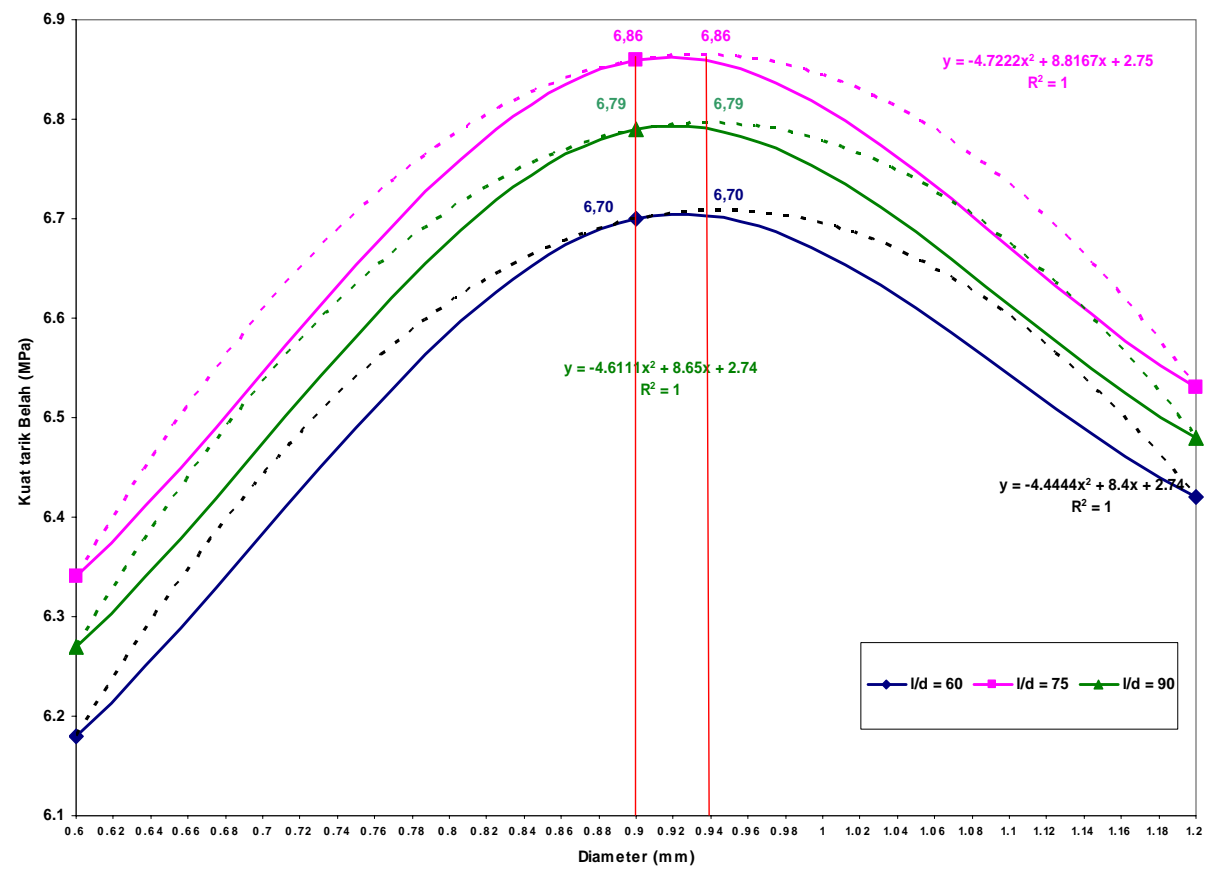
PADA $l/d = 60, 75 \text{ DAN } 90$



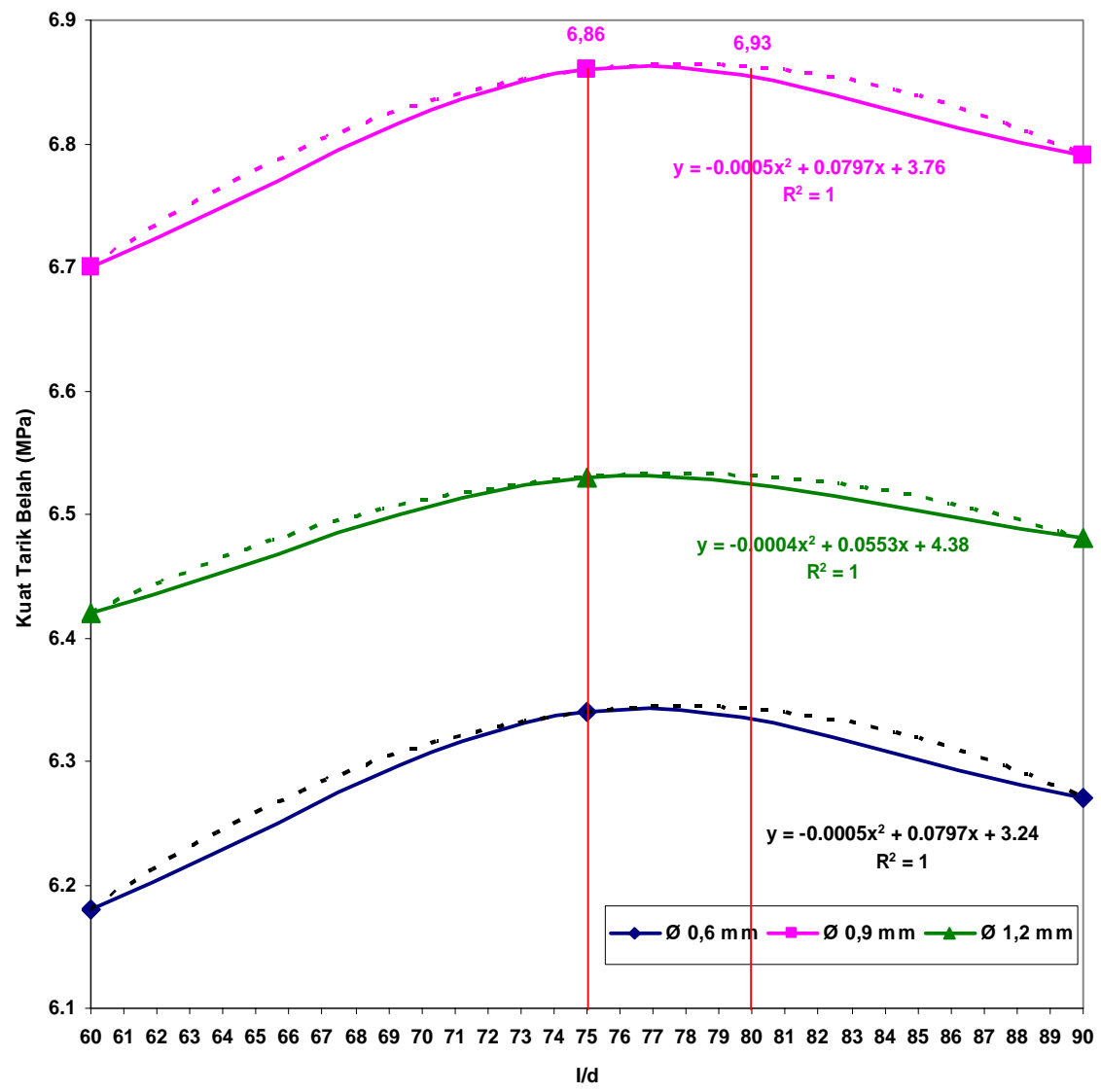
LAMPIRAN S
HUBUNGAN KUAT TEKAN DENGAN l/d PADA DIAMETER
0,6 MM, 0,9 MM DAN 1,2 MM



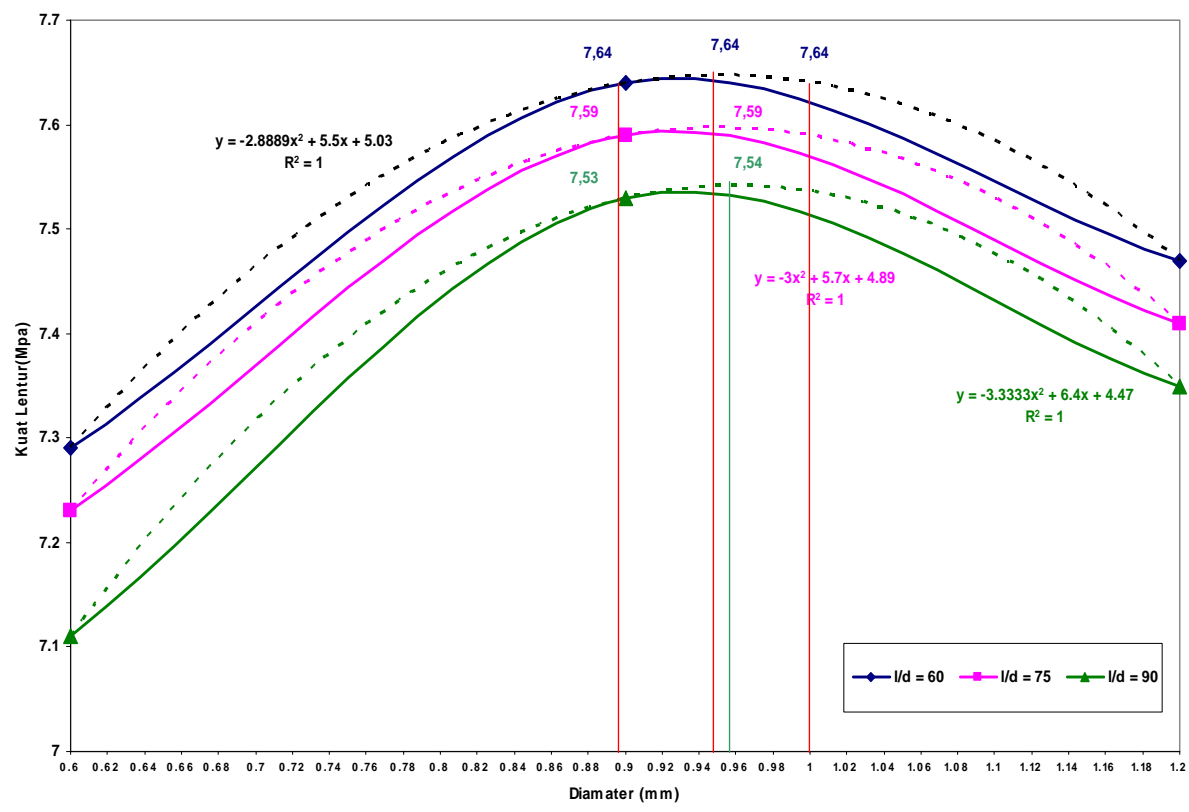
LAMPIRAN T
HUBUNGAN KUAT TARIK BELAH DENGAN DIAMETER SERAT
PADA $l/d = 60, 75$ DAN 90



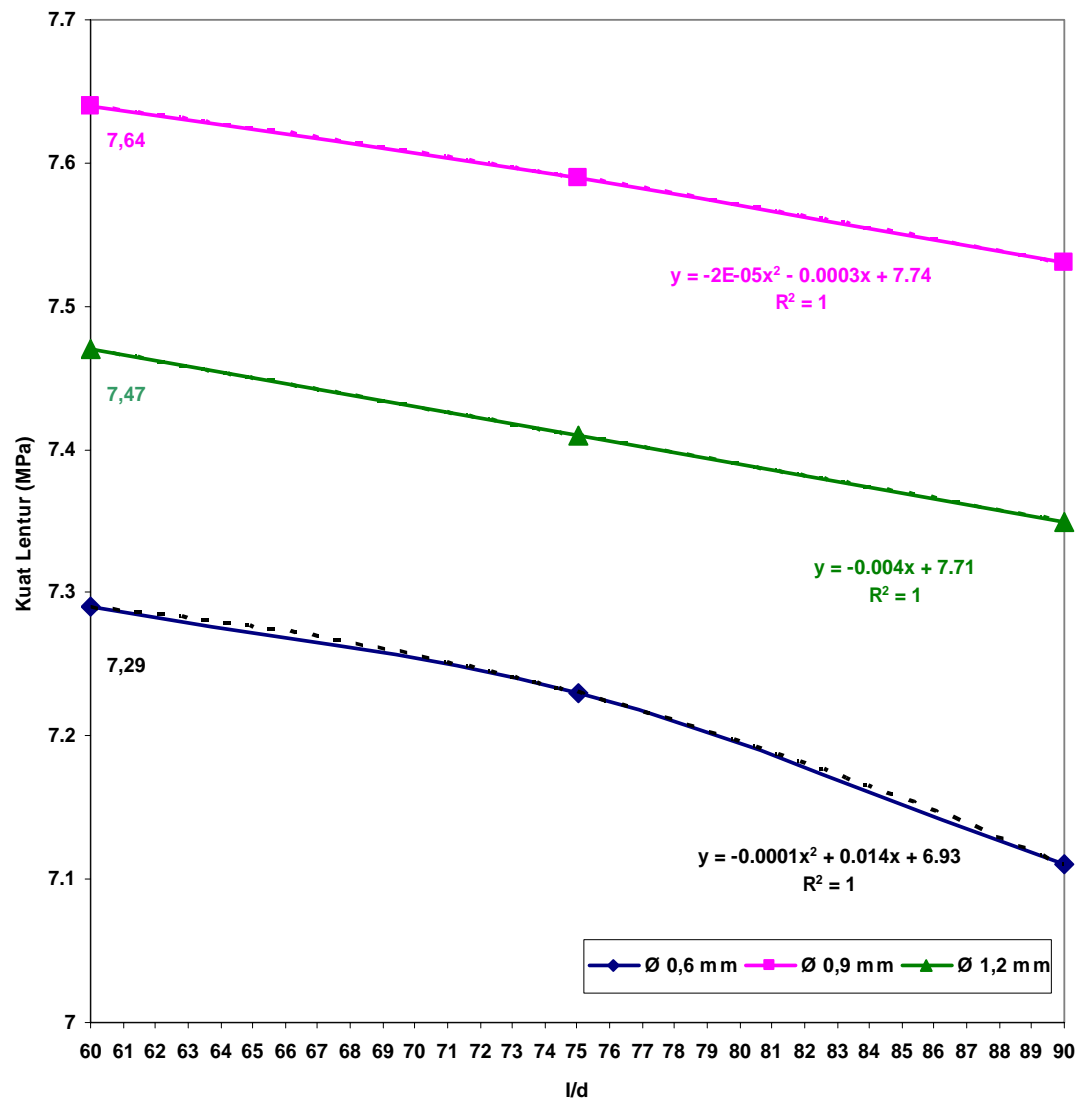
LAMPIRAN U
HUBUNGAN KUAT TARIK BELAH DENGAN l / d PADA DIAMETER
0,6 MM, 0,9 MM DAN 1,2 MM



LAMPIRAN V
HUBUNGAN KUAT LENTUR DENGAN DIAMETER SERAT
PADA $l/d = 60, 75$ DAN 90



LAMPIRAN W
HUBUNGAN KUAT LENTUR DENGAN l/d PADA DIAMETER
0,6 MM, 0,9 MM DAN 1,2 MM



LAMPIRAN X
HASIL KOMPARASI BETON NON SERAT DAN BETON SERAT
DARI SEGI EKONOMIS

Kebutuhan untuk 1 m³ beton non serat :

- Semen	= 621,21 kg = 16 zak @ 40 kg × Rp 30.500,00	= Rp 488.000,00	
- Pasir	= 706,91 kg = 1 colt × Rp 105.000,00	= Rp 105.000,00	
- Kerikil	= 893,73 kg = 1 colt × Rp 115.000,00	= Rp 115.000,00	
			+
	Jumlah	= Rp 708.000,00	

Kebutuhan untuk 1 m³ beton serat :

- Semen	= 621,21 kg = 16 zak @ 40 kg × Rp 30.500,00	= Rp 488.000,00
- Pasir	= 706,91 kg = 1 colt × Rp 105.000,00	= Rp 105.000,00

- Kerikil	= 893,73 kg = 1 colt × Rp 115.000,00	= Rp 115.000,00
- Serat	= 12,42 kg = 12,42 kg × Rp 5.000,00	= Rp 62.100,00
		+ <hr/>
Jumlah		= Rp 770.100,00

LAMPIRAN Y
SIFAT KAWAT GALVANIS

Hasil Analisa Kawat Galvanis

No.	Diameter (mm)	Luas (mm ²)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Tarik (N/mm ²)	l ₀ (mm)	Δl (mm)
1	0,6	0,3	0,12	400	205	16
2	0,9	0,6	0,31	516,67	205	20
3	1,2	1,1	0,41	372,7	205	8

LAMPIRAN Z
BAHAN, PELAKSANAAN DAN PENGUJIAN PENELITIAN

1. Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan :

- Semen Portland type I
- Air
- Agregat kasar (kerikil)
- Agregat halus (pasir) dari Muntilan
- Bahan tambah (serat dari kawat)

1.1 Semen Portland

Semen portland ialah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (PUBI-1982). Semen portland merupakan bahan ikat yang penting dan banyak dipakai dalam pembanguna fisik. Fungsi semen ialah untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak / padat. Selain itu juga untuk mengisi rongga-rongga di antara butiran agregat. Pada penelitian ini digunakan semen PPC type I.

1.2 Air

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting namun harganya paling murah. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen. Air yang memenuhi persyaratan sebagai air minum memenuhi syarat pula untuk bahan campuran beton (tetapi tidak berarti air pencampur beton harus memenuhi standar persyaratan air minum). Air yang digunakan secara visual tampak bersih, jernih, tidak berwarna dan tidak berbau.

1.3 Agregat Kasar (Kerikil)

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70 % volume mortar atau beton. Walaupun namanya hanya sebagai bahan pengisi, tetapi agregat sangat

berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar atau betonnya sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar atau beton. Agregat yang mempunyai butir besar disebut agregat kasar. Dalam bidang teknologi beton nilai batas agregat kasar umumnya ialah 4,75 mm atau 4,80 mm. Agregat yang butirnya lebih besar dari 4,80 mm disebut agregat kasar. Secara umum, agregat kasar sering disebut sebagai kerikil, kericak, batu pecah atau *split*. Pada proses persiapan batu pecah diperoleh dengan memecah batu menggunakan mesin pemecah batu (*stone crusher*) untuk memperoleh ukuran yang diinginkan. Batu pecah yang digunakan pada penelitian ini mempunyai diameter maksimum 19 mm.

1.4 Agregat Halus (Pasir)

Agregat yang berbutir kecil disebut agregat halus. Agregat ini mempunyai ukuran butir-butirnya lebih kecil dari 4,80 mm. Agregat halus biasanya disebut juga dengan pasir. Pada penelitian ini agregat halus yang digunakan berasal dari Muntilan. Sebelum dilaksanakan pembuatan beton, terlebih dahulu dilakukan analisa saringan, analisa berat jenis, penyerapan agregat halus, kadar air dan kandungan lumpur.

1.5 Bahan Tambah (Serat dari Kawat)

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 untuk mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras. Penelitian ini sebagai bahan tambah digunakan fiber dari kawat galvanis. Kawat ujungnya dibuat berkait dengan diameter kawat 0,6 mm, 0,9 mm dan 1,2 mm.

2. Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian secara garis besar sebagai berikut :

1. Pemeriksaan berat jenis kawat
 2. Pengujian agregat halus (pasir muntilan) meliputi :
 - A. Kandungan Lumpur dan kotoran organis pasir
 - B. Analisa saringan pasir
 - C. Kadar air pasir
 - D. Berat jenis, berat isi dan penyerapan air pasir
3. Pengujian agregat kasar (kerikil) meliputi :
 - A. Analisa saringan kerikil
 - B. Kadar air kerikil

- C. Berat jenis, berat isi dan penyerapan air kerikil
- D. Kekerasan kerikil
- 4. Perhitungan rencana campuran beton (*Mix Design*)
- 5. Pemotongan kawat kemudian dibuat berkait ujungnya
- 6. Pembuatan dan perawatan benda uji
- 7. Pengujian kuat tekan, kuat tarik belah beton dan kuat lentur balok beton
- 8. Analisa data
- 9. Pembahasan dan kesimpulan

10. Pembuatan laporan.

2.1 Pengujian Agregat Halus (Berat Jenis, Berat Isi dan Penyerapan Agregat Halus)

1. Maksud dan tujuan
Menentukan berat jenis, berat isi dan prosentase berat air yang dapat diserap agregat halus dihitung terhadap berat kering
2. Alat dan bahan
 - a. Timbangan
 - b. Piktometer
 - c. Penumbuk
 - d. Saringan No. 4
 - e. Termometer
 - f. Oven
 - g. Cawan
 - h. Agregat halus (pasir) dan air
3. Prosedur pelaksanaan percobaan
Penentuan berat jenis, berat isi dan penyerapan agregat halus
 - a. Timbang agregat dalam keadaan SSD sebanyak 500 gr dan masukan kedalam piknometer
 - b. Masukan air bersih mencapai 90 % isi piknometer putar sambil diguncang sampai tidak terlihat gelombang udara didalamnya
 - c. Tambahkan air sampai dengan tanda batas
 - d. Timbang piknometer berisi air dan benda uji (B1)
 - e. Keluarkan benda uji, keringkan dalam oven dengan suhu 110 ± 5 °C sampai berat tetap, kemudian dinginkan benda uji dalam desikator lalu timbang beratnya (B2)

f. Isi kembali piknometer dengan air sampai tanda batas lalu timbang beratnya (B3)

g. Perhitungan

$$\text{Kadar air} = \frac{B1 - B2}{B1} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

Berat isi asli dan SSD

$$\frac{\text{Berat contoh (kg)}}{\text{Berat isi contoh (dm}^3\text{)}} \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

Berat jenis asli dan SSD

$$\frac{\text{Berat contoh}}{\text{Berat dalam air – berat isi contoh}} \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

Hasil pemeriksaan analisa saringan agregat kasar dapat dilihat pada lampiran D

2.2 Pengujian Agregat Kasar (Berat Jenis, Berat Isi dan Penyerapan Agregat Kasar)

1. Maksud dan Tujuan

Menentukan berat jenis, berat isi dan prosentase berat air yang dapat diserap agregat kasar

2. Alat dan Bahan

- a. Timbangan
- b. Oven
- c. Penjepit
- d. Bejana gelas
- e. Kain penyerap
- f. Agregat kasar

3. Prosedur Pelaksanaan Percobaan

- a. Cuci benda uji untuk menghilangkan debu yang melekat pada permukaan agregat
- b. Keringkan benda uji pada oven dengan suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sampai berat tetap
- c. Dinginkan kemudian timbang beratnya (BK)
- d. Rendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama 24 jam
- e. Keluarkan benda uji dari air lalu buatlah kering permukaan (SSD). Untuk butiran yang besar, pengeringan dengan lap harus satu persatu
- f. Timbang berat benda uji dalam keadaan jenuh air kering permukaan (BJ)

- g. Masukkan benda uji didalam bejana gelas dan tambahkan air hingga benda uji terendam permukaan air pada tanda batas
- h. Timbang berat bejana yang berisi benda uji dan air (W1)
- i. Bersihkan bejana dari benda uji dan masukan lagi air sampai permukaanya ada pada tanda batas, timbang beratnya (W2)

g. Perhitungan :

$$\text{Kadar air} = \frac{\text{BJ} - \text{BK}}{\text{BJ}} \times 100 \% \dots\dots\dots (3.4)$$

$$\frac{\text{Berat isi asli dan SSD}}{\text{Berat contoh (kg)}} \dots\dots\dots (3.5)$$

$$\frac{\text{Berat isi contoh (dm}^3\text{)}}{\text{Berat jenis asli dan SSD}} \dots\dots\dots (3.6)$$

Berat dalam air – berat isi contoh

Hasil pemeriksaan analisa saringan agregat kasar dapat dilihat pada lampiran F.

3. Pengujian Benda Uji

Sebelum melakukan pengujian, siapkan peralatan menulis untuk mencatat data.

3.1 Pengujian Kuat Tekan

1. Tujuan

Untuk memperoleh nilai kuat tekan beton. Kuat tekan beton adalah perbandingan beban maksimum terhadap luas penampang beton
2. Alat
 - a. Cetakan silinder
 - b. Mesin uji kuat tekan
 - c. Timbangan
 - d. Mistar
3. Bahan

Silinder beton
4. Percobaan
 - a. Silinder beton diuji kuat tekannya pada umur 28 hari
 - b. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menempatkan benda uji silinder beton pada mesin kuat tekan
 - c. Lapislah benda uji dengan lapisan perata beban bila diperlukan

- a. Penekanan dilakukan secara konstan hingga benda uji hancur
- b. Baca dan catat beban pada saat benda uji hancur

Perhitungan

$$f_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (3.7)$$

Keterangan :

f_c = Kuat tekan (MPa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

3.2 Pengujian Kuat Tarik Belah

1. Tujuan

Metode pengujian kuat tarik-belah beton ini, adalah untuk dijadikan acuan dalam melakukan pengujian untuk menentukan kuat tarik-belah benda uji silinder. Kuat tarik belah benda uji silinder beton ialah nilai kuat tarik 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 tekan.

2. Alat

- a. Mesin uji tekan yang digunakan untuk uji kuat tarik belah
- b. Mistar
- c. Timbangan

3. Bahan

Silinder beton umur 28 hari

4. Percobaan

- a. Ambil benda uji yang akan ditentukan kuat tarik belahnya dari tempat perawatan
- b. Bungkus benda uji dengan kain penyerap yang basah
- c. Bersihkan benda uji dari sisa-sisa air yang menempel dengan kain pelembab
- d. Catat tanda identitas benda uji
- e. Timbang berat benda uji
- f. Ukur diameter dan panjang benda uji
- g. Lapislah benda uji dengan lapisan perata beban bila diperlukan
- h. Letakkan benda uji pada mesin tekan dengan cara merebahkan benda uji
- i. Jalankan mesin uji tekan dengan penambahan beban uji yang konstan
- j. Lakukan pemberian beban uji sampai benda uji menjadi belah / hancur

- k. Catat beban uji maksimum
- l. Catat / gambar tipe keremukan dari benda uji

5. Perhitungan

$$f_{ct} = \frac{2 \times P}{\pi \times l \times d} \quad (3.8)$$

dimana :

f_{ct} = Kuat tarik-belah beton (MPa)

P = Beban uji maksimum (beban belah / hancur) yang ditunjukkan mesin uji tekan (N)

l = Panjang benda uji (mm)

d = Diameter benda uji (mm)

3.3 Pengujian Kuat Lentur

1. Tujuan

Untuk mengetahui kekuatan lentur suatu balok beton yang diberi beban terpusat.

2. Alat

- a. Alat uji kuat lentur
- b. Cetakan balok ukuran $15 \times 15 \times 60$ cm

3. Bahan

Balok beton

4. Percobaan

- a. Tempatkan mesin pada ruangan yang cukup dan aman dari alat lainnya
- b. Pasang rangkaian mesin sesuai dengan gambar pada buku manual
- c. Tentukan titik tumpuan pada benda uji, beri tanda dengan kapur atau spidol untuk memudahkan titik pusatnya
- d. Pasang benda uji diatas flexure bawah secara simetris sesuai dengan titik-titik tumpuan yang telah diberi tanda kapur / spidol
- e. Pasang flexure atas sesuai dengan gambar buku manual dan sesuai dengan titik-titik tumpuannya secara simetris

- f. Lakukan penekanan dengan jalan memutar engkol pemutar secara konstan sampai benda uji mengalami tekanan dan kemudian patah. Lalu baca pada dial proving ring angka maksimum yang dicapai oleh kekuatan benda uji tersebut
- g. Hitung beban maksimum dengan cara mengkonvermasikan hasil pembacaan dial dengan tabel kalibrasi proving ring yang telah disediakan

5. Perhitungan

$$R = \frac{P \times l}{b \times d \times d} \dots\dots\dots (3.9)$$

Dimana :

- R = Kuat lentur (MPa)
- P = Beban maksimum (N)
- l = Panjang bentang (mm)
- b = Lebar balok (mm)
- d = Tinggi balok (mm)

3.4 Landasan Teori Uji Kuat Tarik Belah

Kuat tarik adalah salah satu aspek kekuatan beton yang penting dalam hubungannya dengan keretakan dan pelekatan. Keretakan adalah penting, terutama pada beton bertulang dalam hal bahwa terjadinya retak dapat meningkatkan resiko terhadap pengkaratan atau korosi tulangan. Disamping itu keretakan juga menimbulkan kesan kurang baik dalam penampilan.

Mengukur kuat tarik murni beton adalah sulit. Bahkan tidak ada standar uji untuk mengetahui kuat tarik murni beton. Oleh karena itu kuat tarik beton dinyatakan dengan cara diantaranya adalah dengan kuat tarik tak langsung melalui pengujian Brazil atau pengujian keretakan belah silinder. Kekuatan tarik belah benda uji silinder beton adalah nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji beton berbentuk silinder yang diperoleh dari hasil pembebanan pada silinder yang diletakan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji tekan. Kekuatan tarik belah dapat dihitung dengan rumus :

$$f_{ct} = \frac{2 \times P}{\pi \times l \times d} \dots\dots\dots (3.10)$$

- Dimana f_{ct} = kuat tarik belah (N/mm²)
- P = beban maksimal (N)
- l = panjang silinder (mm)

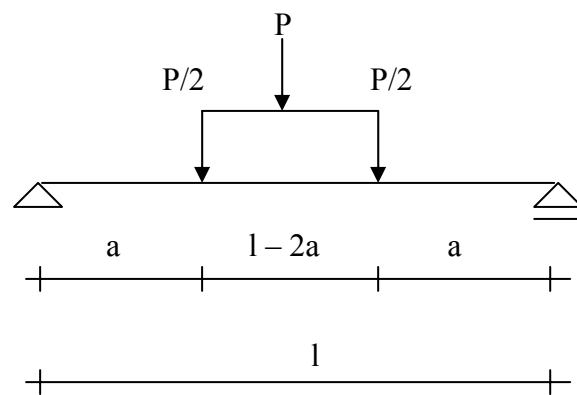
d = diameter silinder (mm)

3.5 Landasan Teori Uji Kuat Lentur

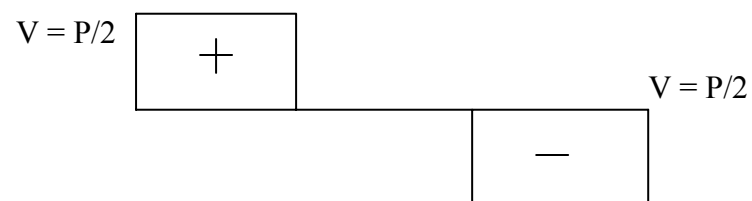
Pengujian kuat lentur bertujuan untuk mengetahui tegangan lentur balok sampai keadaan patah. Lenturan murni adalah suatu lenturan yang berhubungan dengan lenturan sebuah balok dibawah suatu momen lentur (*bending moment*) konstan, yang berarti bahwa gaya lintangnya nol (karena $V = dM / dX$).

Sebaliknya, lenturan tidak merata berhubungan dengan lenturan dalam kehadiran gaya-gaya lintang, yang berarti bahwa momen lenturnya berubah apabila kita bergerak sepanjang sumbu balok (Timoshenko dan Gere, 1996).

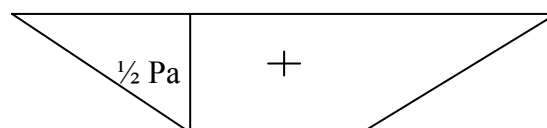
Untuk mengilustrasikan definisi ini, ditinjau sebuah balok sederhana yang dibebani secara simetris oleh 2 buah gaya $P/2$. yang dapat dilihat pada gambar 3.1 Gaya lintang (V) yang bersangkutan dan diagram momen lentur diperlihatkan gambar 3.2 dan 3.3.



Gambar 3.1 Balok sederhana yang dibebani 2 buah gaya $P/2$



Gambar 3.2 Diagram gaya lintang



Gambar 3.3 Diagram momen lentur

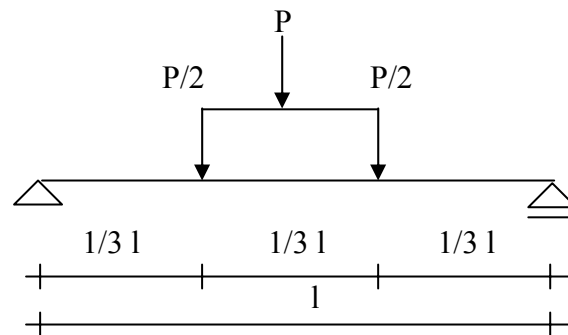
Daerah diantara beban P/2 tidak memiliki gaya lintang dan hanya dikenakan suatu momen lentur yang besarnya :

$$M = \frac{P}{2} \times a$$

(3.11)

karena itu daerah pusat dari balok ini berada dalam keadaan lentur murni. Daerah-daerah yang panjangnya a didekat ujung-ujung balok berada dalam keadaan lentur tidak merata karena momen M tidaklah konstan dan terdapat gaya-gaya lintang (Timoshenko dan Gere, 1996).

Menurut ASTM C78 – 02 rumus kuat lentur beton dinyatakan dalam Modulus Rupture (R). Rumus kuat lentur beton 1/3 l (1/3 bentang) yaitu :



Gambar 3.4 Pembebanan 1/3 l (1/3 bentang)

$$R = \frac{P \times l}{b \times d \times d} \dots\dots\dots (3.12)$$

Dimana :

R = Kuat lentur beton yang dinyatakan dalam Modulus Rupture (Mpa)

P = Maksimal beban yang diterima balok (N)

l = Panjang bentang (mm)

d = Tinggi Balok (mm)

b = Lebar balok (mm)