

TUGAS AKHIR
PENGARUH KAWAT BAJA LURUS DAN BERKAIT
TERHADAP KUAT LENTUR DAN KUAT DESAK
BETON FIBER



Disusun Oleh :

TANJUNG RAHAYU R

No. Mhs. : 91 310 012

NIRM : 910051013114120012

M. NUR TRIHANDOKO

No. Mhs. : 91 310 058

NIRM : 910051013144120056

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

1996

TUGAS AKHIR
PENGARUH KAWAT BAJA LURUS DAN BERKAIT
TERHADAP KUAT LENTUR DAN KUAT DESAK
BETON FIBER

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia
untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh
derajat Sarjana Teknik Sipil

Disusun Oleh :

TANJUNG RAHAYU R

No. Mhs. : 91 310 012

NIRM : 910051013114120012

M. NUR TRIHANDOKO

No. Mhs. : 91 310 058

NIRM : 910051013144120056

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

1996

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH KAWAT BAJA LURUS DAN BERKAIT
TERHADAP KUAT LENTUR DAN KUAT DESAK
BETON FIBER**

TANJUNG RAHAYU R

No. Mhs. : 91 310 012

NIRM : 910051013114120012

M. NUR TRIHANDOKO

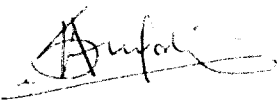
No. Mhs. : 91 310 058

NIRM : 910051013144120056

Telah diperiksa dan disetujui oleh :


Ir. HM. Samsudin

Dosen Pembimbing I


Tanggal : 18-1-97

Ir. Faisol AM. MS

Dosen Pembimbing II


Tanggal : 18-1-1997

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat kami selesaikan. Tugas akhir ini disusun untuk melengkapi syarat memperoleh derajat kesarjanaan Strata Satu (S-1) pada jurusan Teknik Sipil fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Permasalahan yang diangkat dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah pengaruh penambahan serat kawat baja terhadap beton. Hal ini ini diilhami dari suatu kenyataan bahwa beton mempunyai sifat yang getas disamping kelebihan lain dalam mendukung tegangan desak yang sangat tinggi. Sifat kurang baik ini diharapkan dapat diperbaiki dengan menambahkan serat kawat baja ke dalam adukan beton.

Kami menyadari dalam penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, karena keterbatasan pengetahuan kami terutama pada masalah teknologi beton yang sangat komplek. Oleh sebab itu saran dan kritik yang membangun dari segala pihak sangat diharapkan untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Dengan terselesaikannya penulisan Tugas Akhir ini, tidak lupa kami ucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Ir. Susastrawan, MS selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

2. Ir. Bambang Sulistiono, MSCE selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil FTSP Universitas Islam Indonesia.

3. Ir. H. M. Samsudin selaku pembimbing utama Tugas akhir.

4. Ir. Faisol AM, MS selaku asisten pembimbing Tugas Akhir.

5. Ir. Ilman Noor, MSCE selaku kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.

6. Ayah, ibu, kakak, serta adik-adik sekalian tercinta yang telah mendorong penyusun untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

7. Seluruh karyawan Laboratorium Bahan Konstruksi teknik Jurusan Teknik Sipil FTSP Universitas Islam Indonesia.

8. Semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Pada akhir kata, semoga tugas ini bermanfaat bagi kami pada khususnya dan bagi masyarakat pada umumnya, terutama yang berkecimpung pada bidang teknik sipil. Amin.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Yogyakarta, November 1996

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
NOTASI	xiv
INTISARI	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Pokok Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Metodologi Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Landasan Teori	9
2.2.1 Beton	9
2.2.2 Agregat	10

2.2.3	Semen	11
2.2.4	Air	13
2.2.5	Beton Serat	13
2.2.6	Perencanaan Campuran Adukan Beton	21
2.2.7	Kuat Desak Beton	25
2.2.8	Kuat Lentur Beton	26
BAB III	PELAKSANAAN PENELITIAN	29
3.1	Umum	29
3.2	Bahan Penelitian	29
3.2.1	Semen	29
3.2.2	Agregat Halus (Pasir)	29
3.2.3	Agregat Kasar (Kerikil)	30
3.2.4	Air	30
3.2.5	Serat (Bahan Tambah)	30
3.3	Alat-alat Penelitian	31
3.4	Pelaksanaan Penelitian	33
3.4.1	Tahap Persiapan Bahan	33
3.4.2	Perhitungan Campuran Adukan Beton	34
3.4.3	Proses Pembuatan Benda Uji	37
3.4.4	Perawatan Benda Uji	38
3.5	Pengujian Benda Uji	38
3.5.1	Pengujian Kuat Lentur	38
3.5.2	Pengujian Kuat desak	39

BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	40
4.1	Hasil Penelitian	40
4.1.1	Hasil Pengujian Kuat Desak	40
4.1.2	Hasil Pengujian Kuat Lentur	42
4.2	Analisa	45
4.2.1	Kuat Desak Beton	45
4.2.2	Kuat Lentur Beton	52
4.3	Pembahasan	53
4.3.1	Workability	53
4.3.2	Kuat Desak Beton	54
4.3.3	Kuat Lentur Beton	58
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	64
5.1	Kesimpulan	64
5.2	Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN	67

DAFTAR TABEL

Nomor	Nama Tabel	Halaman
2.1	Bahan dasar penyusun semen	11
2.2	Nilai deviasi standar	23
2.3	Hubungan faktor air semen dan kuat beton silinder umur 28 hari	23
2.4	Faktor air semen maksimum	23
2.5	Nilai slump	23
2.6	Ukuran maksimum agregat	24
2.7	Perkiraan kebutuhan air berdasarkan nilai slump dan ukuran maksimum agregat	24
2.8	Perkiraan kebutuhan agregat kasar per m ³ berdasarkan ukuran maksimum agregat dan modulus halus pasirnya	25
3.1	Kebutuhan material benda uji	36
4.1	Kuat desak beton normal umur pada 7 hari	40
4.2	Kuat desak beton serat lurus 2 % pada umur 7 hari	40
4.3	Kuat desak beton serat lurus 3 % pada umur 7 hari	41
4.4	Kuat desak beton normal umur pada 28 hari	41
4.5	Kuat desak beton serat lurus 2 % pada umur 28 hari	41

4.6	Kuat desak beton serat lurus 3 % pada umur 28 hari	42
4.7	Kuat lentur beton normal umur pada 7 hari	42
4.8	Kuat lentur beton serat lurus 2 % pada umur 7 hari	42
4.9	Kuat lentur beton serat lurus 3 % pada umur 7 hari	43
4.10	Kuat lentur beton serat berkait 2 % pada umur 7 hari	43
4.11	Kuat lentur beton serat berkait 3 % pada umur 7 hari	43
4.12	Kuat lentur beton normal pada umur 28 hari	44
4.13	Kuat lentur beton serat lurus 2 % pada umur 28 hari	44
4.14	Kuat lentur beton serat lurus 3 % pada umur 28 hari	44
4.15	Kuat lentur beton serat berkait 2 % pada umur 28 hari	45
4.16	Kuat lentur beton serat berkait 3 % pada umur 28 hari	45
4.17	Kuat desak beton normal umur 7 hari	47
4.18	Kuat desak beton serat lurus 2 % pada umur 7 hari	48
4.19	Kuat desak beton serat lurus 3 % pada umur 7 hari	48
4.20	Kuat desak beton normal pada umur 28 hari	49

4.21	Kuat desak beton serat lurus 2 % pada umur 28 hari	50
4.22	Kuat desak beton serat lurus 3 % pada umur 28 hari	51
4.23	Kuat lentur rata-rata beton umur 7 dan 28 hari	53
4.24	Kuat desak rata-rata beton pada umur 7 hari	54
4.25	Kuat desak rata-rata dan karakteristik beton pada umur 28 hari	54
4.26	Kenaikan kuat lentur pada beton serat	58

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Nama gambar	Halaman
2.1	Susunan serat dalam beton menurut spacing concept	15
2.1	Posisi serat yang tidak teratur dalam beton	17
2.3	Pencampuran serat pada adukan beton	19
2.4	Pengaruh prosentase serat dan aspek ratio terhadap kelecakan adukan beton	20
2.5	Hubungan antara faktor k dan bagian dari hasil pemeriksaan yang diperkirakan jatuh dibawah kekuatan minimum	22
2.6	balok dengan daerah pusat dalam keadaan lentur murni	27
2.7	Pengujian lentur prisma beton	27
4.1	Grafik hubungan kuat desak rata-rata beton dengan umur beton	55
4.2	Grafik hubungan kuat desak karakteristik dengan prosentase serat lurus	56
4.3	Grafik regresi kuat desak beton serat lurus pada umur 7 hari dan 28 hari	58
4.4	Grafik hubungan antara kuat lentur rata-rata beton dengan prosentase serat	59

4.5	Grafik regresi kuat lentur beton serat lurus pada umur 7 hari dan 28 hari	51
4.6	Grafik regresi kuat lentur beton serat kait pada umur 7 hari dan 28 hari	51

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Nama lampiran
1.	Hasil Pemeriksaan modulus halus butir (MHB)
2.	Hasil perhitungan regresi kuat desak beton serat lurus 7 hari
3.	Hasil perhitungan regresi kuat desak beton serat lurus 28 hari
4.	Hasil perhitungan regresi kuat lentur beton serat lurus 7 hari
5.	Hasil perhitungan regresi kuat lentur beton serat lurus 28 hari
6.	Hasil perhitungan regresi kuat lentur beton serat kait 7 hari
7.	Hasil perhitungan regresi kuat lentur beton serat kait 28 hari

NOTASI

KN	:	kubus beton non serat
KL2	:	kubus beton serat lurus 2 %
KL3	:	kubus beton serat lurus 3 %
BN	:	balok beton non serat
BL2	:	balok beton serat lurus 2 %
BL3	:	balok beton serat lurus 3 %
BK2	:	balok beton serat berkait 2 %
BK3	:	balok beton serat berkait 3 %
σ_c	:	kekuatan komposit saat retak pertama
σ_f	:	tegangan tarik serat saat beton hancur
σ_m	:	kuat tarik beton
V_f	:	prosentase volume serat
τ	:	kuat lekat ("bond stress") pada panjang lekatan serat yang diperhitungkan
l_f	:	panjang serat
d_f	:	diameter serat
η_l	:	faktor efisiensi orientasi random dari serat
η_0	:	faktor efisiensi panjang serat tertanam
l_e	:	panjang efektif serat
Γ	:	koefesien tarik beton
FWC_{crit}	:	konsentrasi kritis serat (persen berat adukan)
Γ_f	:	berat jenis serat
Γ_c	:	berat jenis adukan
d_f/l_f	:	nilai banding diameter dan panjang serat

W_m : berat fraksi mortar, yaitu bagian adukan dengan ukuran partikel kurang dari 5 mm
 W_a : berat fraksi agregat, yaitu bagian adukan dengan ukuran partikel lebih dari 5 mm
 m : nilai margin
 k : konstanta untuk jumlah benda uji
 s_d : standar deviasi
 f'_{cr} : kuat desak rata-rata
 f'_c : kuat desak karakteristik
 P : beban maksimum
 A : luas penampang tertekan
 f'_{cr} : kuat desak beton rata-rata
 N : jumlah benda uji
 V : gaya lintang
 L : jarak tumpuan
 M : momen lentur
 W : tahanan momen
 σ_{lt} : kuat lentur
 b : lebar benda uji
 h : tinggi benda uji
 f_c : kuat desak beton menurut standar ACI
 k_b : konversi bentuk
 k_u : konversi umur

INTI SARI

Beton mempunyai kemampuan yang tinggi terhadap kuat desak namun mempunyai kelemahan untuk menahan tegangan tarik karena bersifat getas. Penambahan serat kawat baja secara random baik lurus maupun berkait pada adukan beton dapat memperbaiki sifat-sifat beton, terutama terhadap kuat desak dan kuat lentur.

Dari hasil-hasil penelitian diketahui bahwa kuat desak karakteristik beton meningkat 22,0036 % untuk beton serat lurus 2 % dan 36,1554 % untuk beton serat lurus 3 %. Kuat lentur rata-rata beton serat lurus 2 % mengalami peningkatan sebesar 4,7157 % dan 7,4221 % untuk beton serat lurus 3 %, sedangkan beton serat kait 2 % mengalami peningkatan sebesar 19,4351 % dan 31,9862 % untuk beton serat kait 3 %.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan di Indonesia sedang giat dilaksanakan sejalan dengan cepatnya pertumbuhan penduduk, ekonomi, sosial, dan ilmu pengetahuan. Untuk itu, banyak bangunan teknik sipil didirikan seperti perumahan, hotel, jembatan, jalan, perkantoran, bangunan industri, dan lain sebagainya.

Salah satu bahan utama yang sering digunakan dalam pembangunan struktur adalah beton. Pemakaian beton sebagai bahan bangunan telah lama dikenal di Indonesia dan sangat populer digunakan baik untuk struktur besar maupun kecil. Keuntungan beton adalah mempunyai kuat desak yang besar, dapat memanfaatkan bahan-bahan lokal, mudah dibentuk sesuai kebutuhan, dan perawatannya murah. Meskipun demikian, karena struktur beton bersifat getas ("brittle") dan kuat tariknya kecil, maka beton mempunyai keterbatasan dalam penggunaannya. Beton akan segera retak apabila mendapat tegangan tarik walaupun kecil, oleh karena itu beton tarik tidak boleh diperhitungkan untuk menahan tegangan yang terjadi. Beton selalu diperhitungkan untuk menahan tegangan desak, sedangkan tegangan tarik akan ditahan oleh tulangan baja. Meskipun demikian, retak-retak kecil akan tetap terjadi pada struktur beton.

Di negara-negara maju seperti Amerika Serikat dan Inggris, para peneliti telah berusaha memperbaiki sifat-sifat beton yang kurang baik dengan cara menambahkan serat ("fiber") pada adukan beton. Ide dasarnya adalah menulangi beton dengan serat yang disebarkan merata secara random ke dalam adukan beton. Hal ini akan mengurangi terjadinya retakan-retakan beton yang terlalu dini, baik akibat panas hidrasi maupun pembebanan. Dengan demikian, kemampuan beton untuk mendukung tegangan-tegangan aksial, lentur, dan geser akan lebih besar.

Beberapa macam serat yang sering digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat beton telah dilaporkan oleh ACI Committee 544 (1992) dan Soroushian & Bayasi (1987), bahan serat tersebut adalah baja ("steel"), plastik ("polypropylene"), kaca ("glass"), dan karbon ("carbon"). Untuk keperluan non struktural, serat dari bahan alamiah (seperti ijuk, dan bambu) juga dapat digunakan.

Dewasa ini jenis serat yang sering digunakan di luar negeri adalah serat baja ("steel fiber") dengan diameter 0.80 mm dan panjang sekitar 60 mm dengan bentuk geometri yang beraneka ragam untuk meningkatkan pull-out resistance. Serat baja mempunyai kekuatan serta modulus elastisitas yang relatif tinggi dan tidak mengalami perubahan bentuk terhadap pengaruh alkali semen. Pembebanan dalam waktu panjang tidak berpengaruh pada sifat mekanika serat baja. Kelemahan yang dimiliki serat baja adalah timbulnya karat bila tidak dalam posisi terlindung beton, dan terjadinya "balling effect"

karena sifat adhesinya yang tinggi. "Balling effect" adalah peristiwa penggumpalan serat menjadi bola-bola serat karena penyebaran serat yang tidak merata pada adukan beton.

Di Indonesia, konsep pemakaian serat pada adukan beton untuk struktur bangunan belum banyak dikenal dan dipakai dalam praktek. Salah satu sebab adalah tidak tersedianya serat baja dan harganya relatif mahal. Untuk mengatasi hal tersebut, perlu dicari alternatif penggunaan bahan lokal yang mudah didapat di Indonesia dan murah harganya sebagai pengganti serat baja asli dari luar negeri.

1.2 Pokok Masalah

Beton mempunyai kuat tarik yang kecil dibandingkan dengan kuat desaknya, yaitu sekitar 10 %. Dengan penambahan serat kawat baja, diperkirakan kuat desak dan kuat lentur beton akan dapat diperbesar.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan variasi prosentase serat kawat baja lurus dan berkait terhadap kuat desak dan lentur beton. Pada penelitian ini diharapkan mendapatkan suatu perbaikan dari sifat-sifat beton, sehingga kelemahan-kelemahan dari beton dapat dikurangi.

Penelitian ini juga bertujuan untuk memperkenalkan lebih luas tentang beton serat, khususnya serat baja, sehingga dengan penelitian ini dapat dikaji dan ditingkatkan penelitian lebih lanjut.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan pengguna jasa konstruksi. Penelitian tentang beton serat akan dapat mengembangkan teknologi mengenai beton sebagai bahan bangunan karena adanya perbaikan karakteristik beton terutama kuat desak dan lentur. Bagi pengusaha jasa konstruksi, mutu beton yang ditentukan akan dapat dicapai dengan biaya konstruksi yang lebih murah sebab kuat desak dan lentur beton yang lebih tinggi.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah ini dibuat agar masalah yang akan diteliti lebih terarah. Adapun batasan-batasan tersebut adalah :

1. mutu beton K₂₂₅,
2. kawat baja berdiameter 1 mm dan panjang 60 mm,
3. berat serat kawat baja yang ditambahkan adalah 2 % dan 3 % dari berat semen,
4. pengujian desak dilakukan pada beton non serat dan beton serat lurus dengan benda uji kubus,
5. pengujian lentur dilakukan pada beton non serat, beton serat lurus, dan beton serat berkait dengan benda uji balok,
6. pengujian kuat desak dan lentur beton dilakukan pada umur 7 hari dan 28 hari.

1.6 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mencari pemecahan masalah. Agar penelitian berjalan dengan terarah dan lancar, maka digunakan metode penelitian dalam pelaksanaan. Metode penelitian yang digunakan telah disesuaikan dengan prosedur, alat serta jenis penelitian, yaitu :

1. Bahan penelitian

Bahan-bahan yang digunakan adalah kerikil berdiameter maksimum 20 mm dari Sungai Progo, pasir berdiameter maksimum 4,75 mm dari Sungai Progo, semen merek Nusantara dari Cilacap, dan kawat baja berdiameter 1 mm dengan panjang 60 mm.

2. Alat-alat penelitian

Penelitian ini menggunakan alat-alat laboratorium seperti saringan pasir dan kerikil, molen, cetakan benda uji, timbangan, kaliper, kerucut Abrams, mesin penguji desak, mesin penguji lentur, dan alat-alat pendukung lainnya.

3. Pembuatan benda uji

Benda uji yang dibuat untuk penelitian ini berbentuk kubus dan balok. Kubus berukuran $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$ digunakan dalam pengujian desak beton, sedangkan balok dengan ukuran $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ digunakan untuk pengujian lentur beton. Jumlah benda uji adalah 128 buah, dengan perincian sebagai berikut :

a. untuk pengujian desak

- 1) 16 kubus beton non serat (KN)
- 2) 16 kubus beton serat lurus 2 % (KL2)
- 3) 16 kubus beton serat lurus 3 % (KL3)

b. untuk pengujian lentur

- 1) 16 balok beton non serat (BN)
- 2) 16 balok beton serat lurus 2 % (BL2)
- 3) 16 balok beton serat lurus 3 % (BL3)
- 4) 16 balok beton serat berkait 2 % (BK2)
- 5) 16 balok beton serat berkait 3 % (BK3)

Perencanaan campuran adukan beton dihitung berdasarkan metode American Concrete Institute. Perhitungan dan pembuatan benda uji dilakukan secermat mungkin agar didapat mutu beton seperti yang direncanakan.

4. Pelaksanaan pengujian

Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia. Pengujian ini dilakukan untuk mencari kuat desak dan kuat lentur beton pada umur beton 7 hari dan 28 hari.

5. Analisa

Analisa dilakukan terhadap hasil pengujian di laboratorium berdasarkan teori yang ada.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Swamy dan Al-Noori (1974) mengamati bahwa bentuk serat akan berpengaruh pada kuat lekat, yang selanjutnya berpengaruh pula pada sifat-sifat struktural beton. Pada beton serat berkait, kuat lekatnya akan 40 % lebih besar dibanding kuat lekat beton serat polos. Perbedaan kedua jenis serat ini terutama dalam menahan retakan dan keruntuhan benda uji. Retakan dan lenturan balok struktur beton sebagian besar tergantung pada interaksi antara baja tulangan dan beton. Dengan demikian peningkatan lekatan pada beton serat akibat bentuk serat berkait akan menahan kemungkinan retak yang terjadi dan lenturan yang berlebihan, serta meningkatkan kekakuan balok secara keseluruhan.

Swamy dkk (1979), dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa kehadiran serat pada beton akan menaikkan kekakuan dan mengurangi lendutan (defleksi) yang terjadi. Pada penambahan serat baja dengan berbagai bentuk dan konsentrasi, diperoleh kesimpulan bahwa penambahan serat memungkinkan penggunaan tulangan baja mutu tinggi tanpa adanya bahaya karena retak maupun lendutan yang berlebihan. Swamy juga menyimpulkan bahwa penambahan serat akan meningkatkan keliatan beton, sehingga struktur akan terhindar dari keruntuhan yang tiba-tiba akibat

pembebanan yang berlebihan.

Rahman (1972) dengan memakai serat baja ("steel fibers") dan serat polypropylene, memperoleh hasil bahwa penambahan serat baja akan menghasilkan kuat tarik yang tertinggi diikuti oleh serat polypropylene dan beton tanpa serat.

Penelitian oleh Edgington, dkk (1974) dengan memakai serat baja menghasilkan peningkatan kuat tarik sebesar 30 - 50 % dengan penambahan serat baja sebesar 2 - 3 % dari volume adukan.

Ali, Majumdar, dan Singh (1973) dalam penelitiannya memperlihatkan hasil bahwa kuat tarik beton serat akan meningkat sesuai dengan konsentrasi serat dalam beton. Peningkatan kuat tarik yang optimal didapat pada konsentrasi serat 6 %. Konsentrasi serat yang kurang atau lebih tinggi dari 6 % akan memberi peningkatan kuat tarik yang tidak optimal, meskipun peningkatan kuat tarik tetap ada.

Penelitian yang dilakukan oleh Bambang Suhendro menunjukkan bahwa serat kawat baja memberi penambahan daktilitas yang terbesar, diikuti dengan serat kawat bendrat dan kawat biasa.

Ramakrishnan (1988) mendapatkan hasil bahwa indeks tahanan lentur akan meningkat sesuai dengan konsentrasi serat. Secara umum, indeks tahan lentur bervariasi sekali pada posisi retak, konsentrasi, aspek rasio, distribusi, dan jenis serat. Meski demikian, indeks tahan lentur untuk balok dengan campuran serat berkait akan berkisar dua sampai tiga kali lebih besar dibanding dengan jika memakai serat lurus.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Beton

Beton adalah suatu komposit yang terbentuk dari beberapa bahan batuan dan direkatkan oleh bahan ikat. Beton dibentuk dari pasir (agregat halus), kerikil (agregat kasar), dan ditambah dengan pasta semen sebagai bahan pengikat/perekat. Dalam adukan beton, pasta semen dibentuk dari air dan semen. Pasta semen ini selain mengisi pori-pori diantara butiran-butiran agregat juga bersifat sebagai perekat/pengikat dalam proses pengerasan. Dengan demikian butiran-butiran agregat tersebut saling terekat dengan kuat dan terbentuklah suatu massa yang kompak/padat.

Keuntungan beton adalah :

1. Harga relatif murah karena menggunakan bahan-bahan dasar lokal, kecuali untuk daerah yang sulit mendapatkan pasir atau kerikil.
2. Beton termasuk bahan yang berkekuatan tekan tinggi dan tahan terhadap pengkaratan/pembusukan oleh kondisi lingkungan.
3. Beton termasuk tahan aus dan kebakaran, sehingga biaya perawatan murah.
4. Karena kuat tekannya yang tinggi, jika dikombinasikan dengan baja tulangan (yang kuat tariknya tinggi) dapat digunakan untuk struktur berat, seperti gedung, jembatan, jalan raya, dan sebagainya.
5. Beton segar mudah diangkut dan dicetak.

6. Beton segar dapat dipompakan untuk dituang ke tempat-tempat yang posisinya sulit.

Kekurangan beton antara lain :

1. Beton mempunyai kuat tarik yang rendah sehingga mudah retak, oleh karena itu perlu diberi baja tulangan.

2. Beton sulit untuk dapat kedap air secara sempurna sehingga selalu dapat dimasuki air, dan air yang mengandung garam dapat merusak beton.

3. Beton bersifat getas ("brittle") sehingga memungkinkan terjadinya keruntuhan yang mendadak akibat terlampauinya beban batas. Hal ini dapat dihindari dengan pemasangan baja tulangan pada tempatnya sehingga dapat bersifat daktil ("ductile").

2.2.3 Agregat

Agregat adalah butiran yang berfungsi sebagai pengisi dalam campuran beton. Komposisi agregat kurang lebih 70 % dari volume beton, sehingga sifat-sifat dari beton ini sangat dipengaruhi oleh sifat agregatnya. Agregat dapat diperoleh dari sumber daya alam yang telah mengalami pengecilan secara alamiah (agregat alami), atau pemecahan batuan alam (agregat buatan) dengan alat pemecah batu. Agregat kasar harus mempunyai kestabilan kimia, tahan terhadap keausan, dan tahan terhadap pengaruh cuaca. Agregat yang digunakan pada adukan beton ada dua, yaitu :

1. Agregat kasar (kerikil

Agregat kasar mempunyai diameter 5 - 40 mm. Sifat agregat kasar mempunyai pengaruh terhadap kekuatan beton

sehingga harus mempunyai bentuk yang baik, bersih, kuat, dan gradasinya baik. Agregat kasar ini dapat diperoleh dari batu pecah, kerikil alami, serta agregat buatan.

2. Agregat halus (pasir)

Agregat halus mempunyai diameter butiran 0.15- 5 mm. Agregat halus yang baik harus bebas dari bahan organik, lempung, serta bahan-bahan lain yang dapat merusak beton. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tajam, keras, dan butirannya mempunyai sifat tidak mudah pecah karena pengaruh cuaca. Pasir dapat diambil dari pasir galian tanah dan sungai, sedangkan pasir dari laut tidak boleh digunakan untuk adukan beton.

2.2.4 Semen

Fungsi semen dalam adukan beton adalah untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak/padat. Semen akan membentuk pasta semen jika diaduk dengan air, menjadi mortar semen jika diaduk dengan air dan pasir, dan jika ditambah lagi dengan kerikil disebut beton.

Semen merupakan bahan serbuk halus yang diperoleh dengan menghaluskan klinker, yaitu bahan yang didapat dari pembakaran campuran kapur, silika, dan alumina, pada suhu 1550 °C dengan ditambahkan gips. Campuran tersebut bila dicampur dengan air akan menjadi keras dalam waktu tertentu dan dapat digunakan sebagai bahan ikat hidrolis.

Tabel 2.1 Bahan dasar penyusun semen

oxid	Cao	Si O ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Mg O	SO ₃
% rata-rata	63	22	7	3	2	2

Walaupun demikian, pada dasarnya dapat disebutkan 4 unsur yang paling penting dalam semen portland, yaitu :

- | | |
|--------------------------------|---|
| 1. Tricalcium Silicate | 3 CaO SiO ₂ |
| 2. Dicalcium Silicate | 2 CaO SiO ₂ |
| 3. Tricalcium Aluminate | 3 CaO Al ₂ O ₃ |
| 4. Tetracassium Aluminaferrite | 4 CaO Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ |

Sesuai dengan tujuan pemakaiannya, semen portland di Indonesia (PUBI-1982) dibagi menjadi 5 jenis, yaitu :

1. Jenis I : Semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. Jenis II : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Jenis III : Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.
4. Jenis IV : Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
5. Jenis V : Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

Walaupun demikian, pada dasarnya dapat disebutkan 4 unsur yang paling penting dalam semen portland, yaitu :

- | | |
|--------------------------------|---|
| 1. Tricalcium Silicate | 3 CaO SiO ₂ |
| 2. Dicalcium Silicate | 2 CaO SiO ₂ |
| 3. Tricalcium Aluminate | 3 CaO Al ₂ O ₃ |
| 4. Tetracalcium Aluminaferrite | 4 CaO Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ |

Sesuai dengan tujuan pemakaiannya, semen portland di Indonesia (PUBI-1982) dibagi menjadi 5 jenis, yaitu :

1. Jenis I : Semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. Jenis II : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Jenis III : Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.
4. Jenis IV : Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
5. Jenis V : Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

2.2.5 Air

Air merupakan bahan yang diperlukan untuk proses reaksi kimia dengan semen, sehingga akan diperoleh pasta semen. Air juga dipergunakan sebagai pelumas antar butiran dalam agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan.

Air yang digunakan untuk adukan beton harus memenuhi persyaratan sebagai berikut (Kardiyono) :

1. Tidak mengandung lumpur dan benda melayang lainnya lebih dari 2 gr/lt,
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton misalnya asam, zat organik dan ssebagainya lebih dari 15 gr/lt,
3. Tidak mengandung Chlorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/lt,
4. Tidak mengandung senyawa Sulfat lebih dari 1 gr/lt.

Pemakaian air dalam adukan beton tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton yang dihasilkan akan menjadi rendah serta beton akan porous. Kelebihan air akan mengakibatkan semen bergerak ke permukaan adukan beton segar yang baru saja dituang ("bleeding"), sehingga mengakibatkan berkurangnya kekuatan lekatan beton. Untuk itu, penggunaan air harus diperhitungkan dengan teliti agar kekuatan beton tidak berkurang dan mudah dalam pengerjaan.

2.2.6 Beton Serat

Menurut ACI Committe 544 (1982), beton serat ("fiber reinforced concrete") didefinisikan sebagai beton yang terbuat dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar, air,

dan sejumlah kecil serat. Inti dari beton serat adalah penambahan serat yang disebar merata secara random untuk mencegah retakan-retakan kecil ("creep") pada beton.

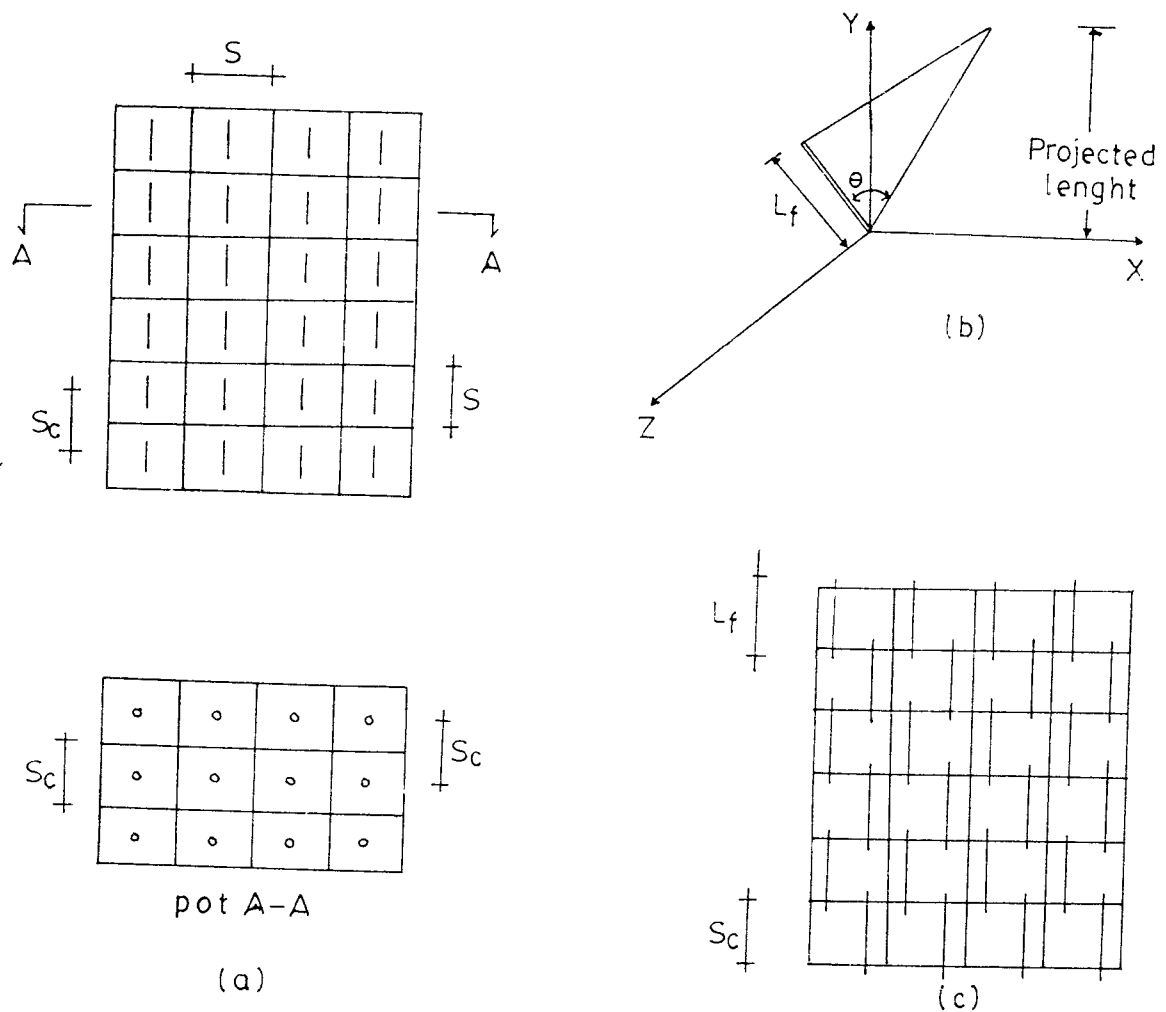
Kelebihan beton serat dalam beberapa sifat strukturalnya dari beton tanpa serat menurut Soroushian adalah :

1. keliatan ("ductility"),
2. ketahanan terhadap beban kejut ("impact resistance"),
3. kuat tarik dan kuat lentur ("tensile and flexure strength"),
4. ketahanan terhadap kelelahan ("fatigue life"),
5. ketahanan terhadap pengaruh susutan ("shrinkage"),
6. ketahanan terhadap ausan ("abrasion").

Teori yang pendekatan yang dapat digunakan untuk menjelaskan mekanisme kerja serat ada dua (Soroushian, dkk, 1987) yaitu :

1. Spacing concept

Teori ini menjelaskan bahwa dengan mendekatkan jarak antar serat dalam campuran beton, maka beton akan lebih mampu membatasi ukuran retak dan mencegah berkembangnya retak menjadi lebih besar. Serat dapat bekerja lebih efektif jika berjajar secara urut dan seragam tanpa adanya overlapping. Padahal keadaan sesungguhnya dari susunan serat adalah tidak teratur dan saling overlap (gambar 2.1).



Gambar 2.1 Susunan serat dalam beton menurut spacing concept

(a) susunan serat yang berurutan

(b) proyeksi arah serat yang random

(c) susunan serat yang saling overlap

2. Composite material concept

Konsep ini dikembangkan untuk memperkirakan kekuatan material komposit pada saat timbul retak pertama ("first crack strength"). Dalam konsep ini diasumsikan bahwa bahan penyusun saling melekat sempurna, bentuk serat menerus

("continuous fiber"), dan angka Poisson dari material komposit dianggap nol. Ilustrasi posisi serat yang tidak teratur ditunjukkan pada gambar 2.2.

Dengan asumsi tersebut diatas, maka kekuatan lentur beton serat menurut Paviz Soroushian, Cha-Don Lee, dan Ziad Bayasi (1987) dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma_c = \sigma_f V_f + \sigma_m (1 - V_f) \quad (2.1)$$

dengan σ_c : ~~kekuatan~~ kekuatan komposit saat retak pertama

σ_f : tegangan tarik serat saat beton hancur

σ_m : kuat tarik beton

V_f : persentase volume serat

Persamaan tersebut harus dikoreksi karena beberapa hal, yaitu orientasi penyebaran serat yang random, tidak sempurnanya lekatan antara serat dan pasta semen, panjang lekatan serat dari bidang retak yang tidak sama, dan juga karena kuat tarik beton tidak sepenuhnya dapat dimanfaatkan.

Arah dan penyebaran serat dalam beton tidak teratur, maka kuat lentur beton harus dikalikan dengan faktor efisiensi penyebaran serat (Ω_θ) yang nilainya sama dengan 0,41. Apabila lekatan serat dengan pasta semen lebih kecil dari kuat tarik serat, maka kuat lentur beton serat ditentukan oleh kuat lekat serat ("bond strength") tersebut. Pada keadaan tersebut, kuat lekat serat disubstitusikan ke dalam persamaan 2.1, atau kuat tarik serat digantikan dengan nilai dibawah ini.

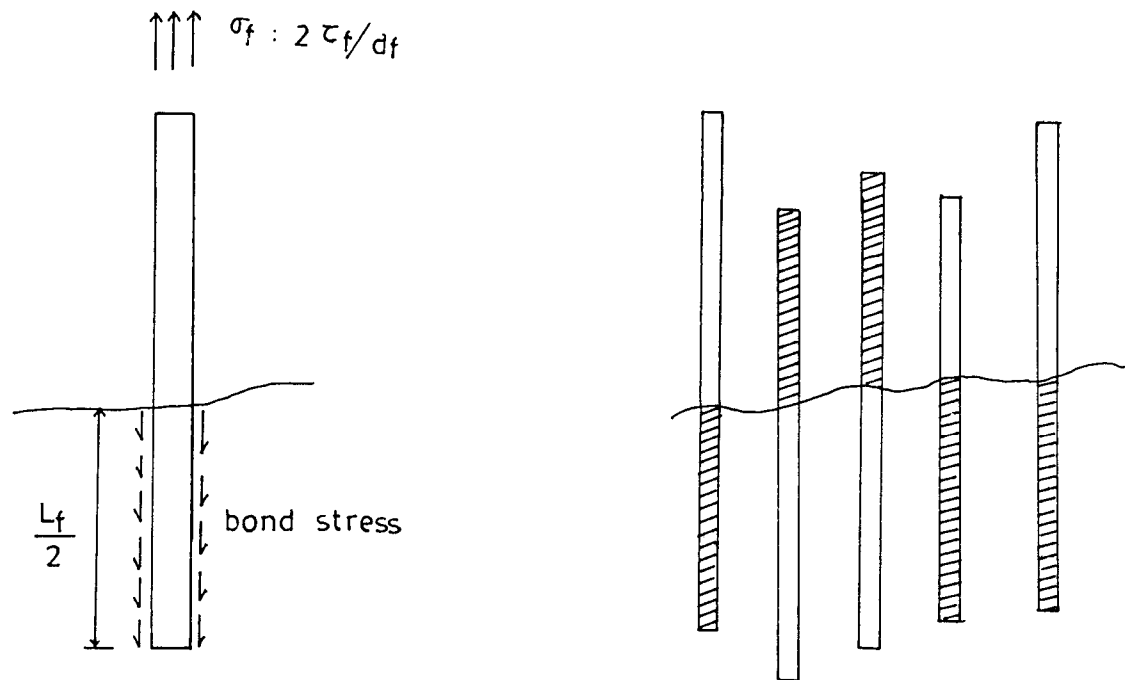
$$\sigma_f = 2 \tau l_f/d_f \quad (2.2)$$

dengan τ : kuat lekat ("bond stress") pada panjang leka-

tan serat yang diperhitungkan ($l_f/2$)

l_f : panjang serat

d_f : diameter serat



a. Interfacial bond

b. Random Embedmen Length

Gambar 2.2 Posisi serat yang tidak teratur dalam beton

Pada bidang retak yang terjadi, panjang serat yang tercabut dari pasta semen sangat bervariasi dan tidak seragam, ada yang panjang dan ada yang pendek (gambar 2.2). Hal tersebut disebabkan karena penyebaran serat yang random. Keadaan tersebut menyebabkan hanya 50 % dari setengah panjang serat yang dapat dimanfaatkan untuk memberikan kuat lekatnya. Dengan demikian, kuat lentur beton serat harus dikoreksi dengan faktor efisiensi panjang serat (Ω_1).

Setelah diberikan beberapa koreksi maka kuat lentur

beton serat dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$\sigma_c = 2 \Omega_1 \Omega_\theta \tau V_f l_f / d_f + \Gamma \sigma_m (1 - V_f) \quad (2.3)$$

dengan Ω_1 : faktor efisiensi orientasi random dari serat

$$\begin{aligned} \Omega_1 &= 0,5, \text{ jika } l_f \leq l_e \\ &= 1 - l_c / (2l_f), \text{ jika } l_f > l_e \end{aligned}$$

Ω_θ : faktor efisiensi panjang serat tertanam

$$\Omega_\theta = 0,41$$

l_e : panjang efektif serat

Γ : koefesien tarik beton

$$\Gamma = 0 \leq \Gamma \leq 1$$

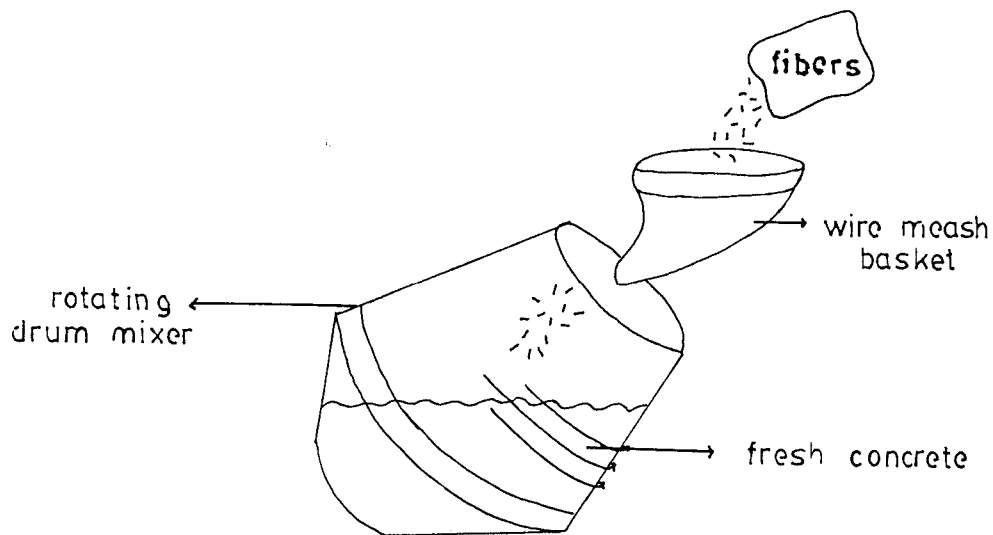
Beberapa hal yang perlu mendapat perhatian khusus pada beton serat adalah :

1. "Fiber dispersion", yaitu teknik pencampuran adukan agar serat yang ditambahkan dapat tersebar merata.

2. "Workability", yaitu kemudahan pengerjaan beton.

Masalah "fiber dispersion" dapat diatasi dengan memperkecil diameter maksimum agregat dan memodifikasi teknik pencampuran adukan. ACI Committe 544 mengisyaratkan ukuran agregat maksimum yang digunakan pada beton serat adalah 3/4" (19 mm), sehingga memudahkan pengadukan dan tersedia ruang bagi serat. Dengan memakai serat beraspek rasio 100, Edgington mendapatkan hasil kelecakan adukan beton serat yang cukup meningkat akibat penurunan diameter agregat dari 20 mm ke 10 mm. Penurunan diameter agregat dari 10 mm ke 5 mm juga menghasilkan peningkatan kelecakan adukan. Untuk teknik pencampuran, serat dimasukkan ke dalam mesin pengaduk beton setelah semen, kerikil, pasir, dan air tercampur merata.

Teknik pencampuran beton dapat dilihat pada gambar 2.3.



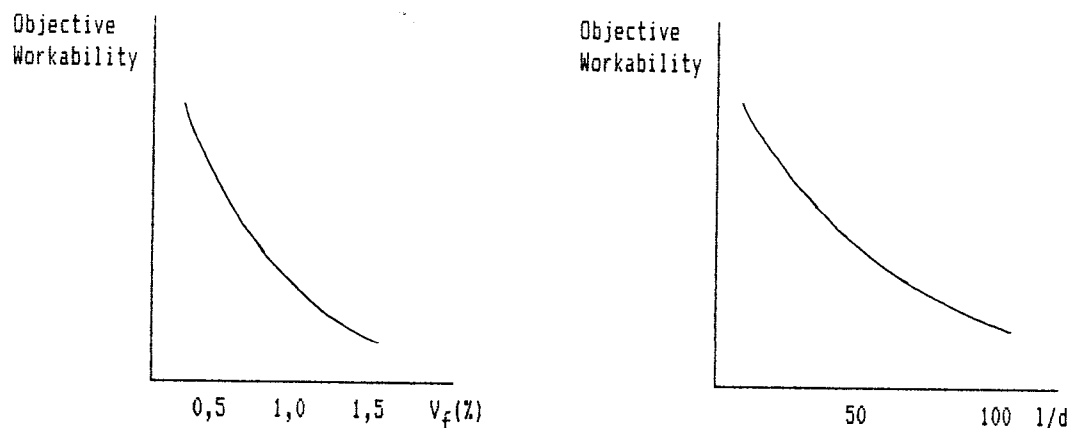
Gambar 2.3 Pencampuran serat pada adukan beton

Faktor-faktor yang sangat berpengaruh terhadap kelecakan dan "workability" beton serat adalah :

1. "Fiber aspect ratio", yaitu rasio antara panjang serat (l_f) dengan diameter serat (d_f).
2. "Fiber volume friction", yaitu prosentase volume serat yang ditambahkan pada satuan volume beton.

Penelitian yang dilakukan oleh Briggs, dkk (1974) menunjukkan bahwa penambahan serat ke dalam adukan beton akan menurunkan kelecakan secara cepat sejalan dengan pertambahan konsentrasi serat dan aspek ratio serat (nilai banding panjang dan diameter serat). Aspek ratio yang tinggi akan menyebabkan serat cenderung menggumpal menjadi suatu bola ("balling effects") yang sangat sulit disebar secara merata dalam proses pengadukan. Batas maksimal aspek ratio serat yang masih memungkinkan pengadukan secara mudah dilakukan adalah $l_f/d_f < 100$, dimana l_f adalah panjang serat dan d_f

adalah diameter serat. Untuk aspek ratio serat yang rendah yaitu $l_f/d_f < 50$, didapat kondisi tidak terjadinya ikatan yang baik antara serat dengan beton. Untuk memperbaiki lekatan antara serat dan beton, dapat digunakan serat dengan berbagai bentuk geometri seperti bentuk berkait dan spiral. Pengaruh prosentase serat yang ditambahkan dan aspek ratio serat terhadap kelecakan adukan dapat dilihat pada gambar 2.4.



Sumber : Soroushian & Bayasi, 1987

Gambar 2.4 Pengaruh prosentase serat dan aspek ratio serat terhadap kelecakan adukan beton

Penelitian yang dilakukan oleh Edgington, dkk (1974) menunjukkan bahwa kelecakan adukan akan menurun sejalan dengan peningkatan konsentrasi dan aspek ratio serat. Perkiraan konsentrasi serat yang menyebabkan adukan mulai menjadi sulit dan tidak mungkin diaduk adalah :

$$PW_{crit} = 75 \frac{\pi \cdot \Gamma_f}{\Gamma_c} \cdot \frac{d_f}{l_f} \cdot K$$

dengan PW_{crit} : konsentrasi kritis serat (persen berat adukan)

Γ_c : berat jenis adukan

d_f/l_f : nilai banding diameter dan panjang serat

dimana
$$K = \frac{W_m}{W_m + W_a}$$

dengan W_m : berat fraksi mortar, yaitu bagian adukan dengan ukuran partikel kurang dari 5 mm

W_a : berat fraksi agregat, yaitu bagian adukan dengan ukuran partikel lebih dari 5 mm

2.2.6 Perencanaan Campuran Adukan Beton

Perhitungan rencana adukan beton yang digunakan adalah perencanaan menurut American Concrete Institute (ACI). ACI menyarankan suatu cara perencanaan campuran yang memperhatikan nilai ekonomis, kemudahan pengerjaan, keawetan, serta kekuatan yang diinginkan. Urutan langkah perencanaan menurut ACI (Kardiyono Tjokrodimuljo, UGM) adalah sebagai berikut :

1. Menghitung kuat desak rata-rata beton, berdasarkan kuat desak beton yang diisyaratkan dan nilai margin yang tergantung tingkat pengawasan mutunya. Nilai margin adalah :

$$m = k \cdot s_d$$

Dengan s_d ialah nilai deviasi standar yang diambil dari tabel 2.2, sedangkan faktor k dapat dilihat pada gambar 2.5. Kuat desak rata-rata dihitung dari kuat desak yang diisyaratkan ditambah margin :

$$f'_{cr} = f'_c + m$$

dengan : f'_{cr} = kuat desak rata-rata (MPa)

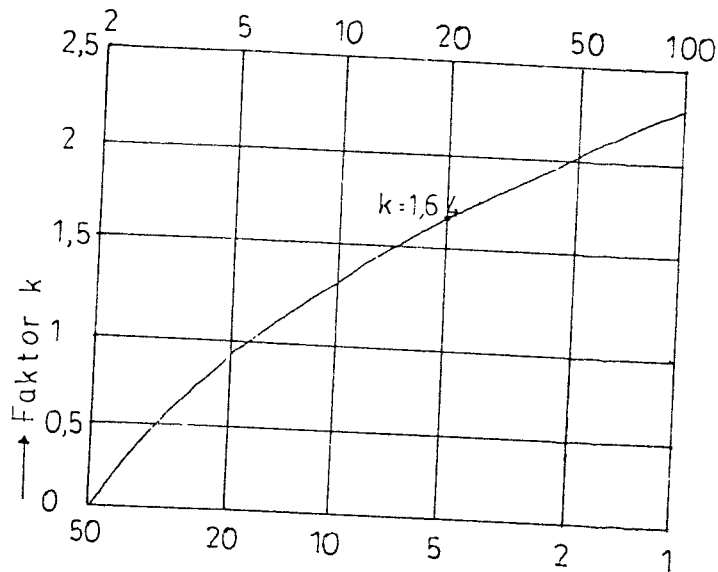
f'_c = kuat desak rencana

m = nilai margin

Tabel 2.2 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

Jumlah benda uji (N) dengan l diperkirakan jatuh dibawah kekuatan tekan minimum



Bagian pemeriksaan benda uji yang diperkirakan jatuh dibawah kekuatan tekan minimum (%)

Gambar 2.5 Hubungan antara faktor k dan bagian dari hasil pemeriksaan yang diperkirakan jatuh di bawah kekuatan tekan minimum

2. Menetapkan faktor air semen berdasarkan kuat desak rata-rata pada umur yang dikehendaki (tabel 2.3) dan keawetannya (berdasarkan jenis struktur dan kondisi lingkungan, (lihat tabel 2.4). Dari dua hasil yang didapatkan dipilih fas yang paling rendah.

Tabel 2.3 Hubungan faktor air semen dan kuat beton silinder beton umur 28 hari

faktor air semen	perkiraan kuat desak (MPa)
0,35	42
0,44	35
0,53	28
0,62	22,4
0,71	17,5
0,80	14

Tabel 2.4 Faktor air semen maksimum

Beton di dalam ruang bangunan :	
a. Keadaan keliling non-korosif	0,60
b. Keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uapkorosif	0,52
Beton diluar ruang bangunan :	
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
Beton yang masuk ke dalam tanah :	
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah	0,52
Beton yang kontinyu berhubungan dengan air	
a. air tawar	0,57
b. air laut	0,52

3. Berdasarkan jenis strukturnya tetapkan nilai slump dan ukuran maksimum agregat (tabel 2.5 dan 2.6).

Tabel 2.5 Nilai slump (cm)

Pemakaian beton	maksimum	minimum
Dinding, plat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
pondasi telapak tidak bertulang, kaisan, dan struktur bawah tanah	9,0	2,5
plat, balok, kolom, dan dinding	15,0	7,5
pengerasan jalan	7,5	5,0
pembetonan masal	7,5	2,5

Tabel 2.6 Ukuran maksimum agregat (mm)

Dimensi minimum (mm)	Balok/kolom	Plat
62,5	12.5	20
150	40	40
300	40	80
750	80	80

4. Menetapkan jumlah air yang diperlukan pada adukan beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai slump yang diinginkan (tabel 2.7).

5. Perhitungan semen yang diperlukan yang diperlukan dalam adukan beton, berdasarkan hasil langkah 2 dan 4.

6. Menetapkan volume agregat kasar yang diperlukan per satuan volume beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai Modulus Kehalusan Butir (MHB) dari agregat halusya (tabel 2.9).

7. Perhitungan volume agregat halus yang diperlukan, berdasarkan jumlah air, semen, dan agregat kasar yang diperlukan, serta udara yang terperangkap dalam adukan (tabel 2.8), dengan hitungan volume absolut.

Tabel 2.7 Perkiraan kebutuhan air berdasarkan nilai slump ukuran maksimum agregat (liter)

slump (mm)	ukuran maksimum agregat (mm)		
	10	20	40
25 - 50	206	182	162
75 - 100	226	203	177
150 - 175	240	212	188
udara terperangkap	3 %	2 %	1 %

Tabel 2.8 Perkiraan kebutuhan agregat kasar per m³ beton berdasarkan ukuran maksimum agregat dan modulus halus pasirnya (m³)

ukuran maksimum agregat (mm)	modulus halus butir pasir			
	2,4	2,6	2,8	3,0
10	0,46	0,44	0,42	0,40
20	0,65	0,63	0,61	0,59
40	0,76	0,74	0,72	0,70
80	0,84	0,82	0,80	0,78
150	0,90	0,88	0,86	0,84

2.2.7 Kuat Desak Beton

Kuat desak beton adalah kemampuan beton untuk menahan beban dibagi dengan luasan permukaan beton yang menerima beban tersebut. Untuk mendapatkan kuat desak dari masing-masing benda uji digunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kuat desak} = \frac{P}{A}$$

dengan : P = beban maksimum

A = luas penampang tertekan

Kuat tekan karakteristik dapat dihitung dengan rumus :

$$f'_{cr} = \frac{\sum_{1}^N f_c}{N}$$

$$S_d = \frac{\sum_{1}^N (f_c - f'_{cr})^2}{N-1}$$

$$f'_c = f'_{cr} - k \cdot S_d$$

Keterangan :

Keterangan :

f_c : kekuatan beton yang didapat dari masing-masing benda uji (MPa)

f'_{cr} : kekuatan tekan beton rata-rata (MPa)

f'_c : kuat tekan beton karakteristik (MPa)

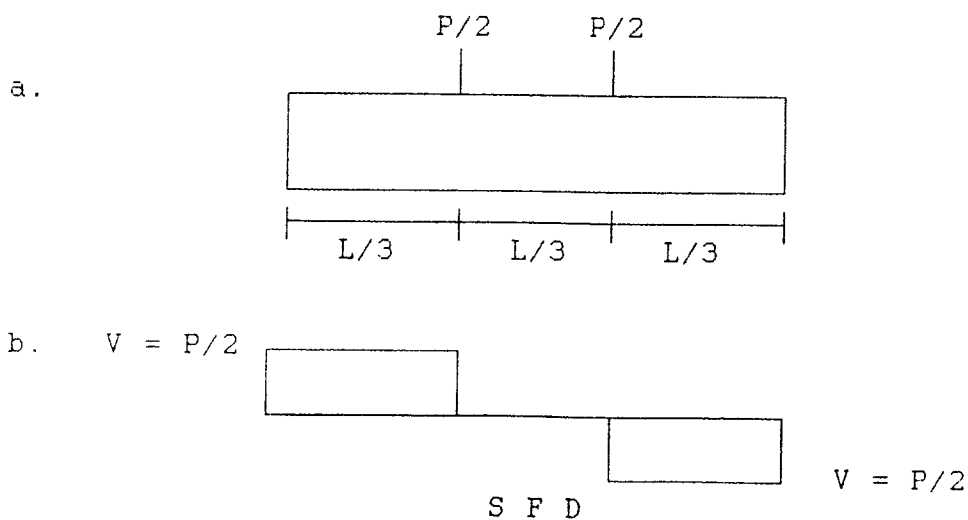
S_d : deviasi standar (MPa)

N : jumlah benda uji

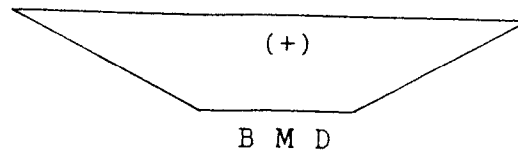
Untuk menggambarkan kurva kuat desak beton, maka pada penelitian ini pengujian dilakukan pada umur 7 dan 28 hari.

2.2.8 Kuat Lentur Beton

Lentur murni adalah lenturan dari sebuah balok dengan suatu momen lentur konstan, yang dalam hal ini gaya lintangnya sama dengan nol. Untuk mengilustrasikan definisi ini, ditinjau sebuah balok sederhana yang dibebani secara simetris oleh dua buah gaya $P/2$ (gambar 2.6.a). Gaya lintang V dan diagram momen lentur dapat dilihat pada gambar 2.6.b dan 2.6.c.



c.



Gambar 2.3 Balok dengan daerah pusat dalam keadaan lentur murni

- a. balok dengan dua buah gaya simetris.
- b. diagram gaya lintang
- c. diagram momen

Terlihat diantara baban $P/2$ tidak terdapat gaya lintang dan hanya bekerja suatu momen lentur (M) konstan sebesar :

$$M = P/2 \cdot 1/3 L$$

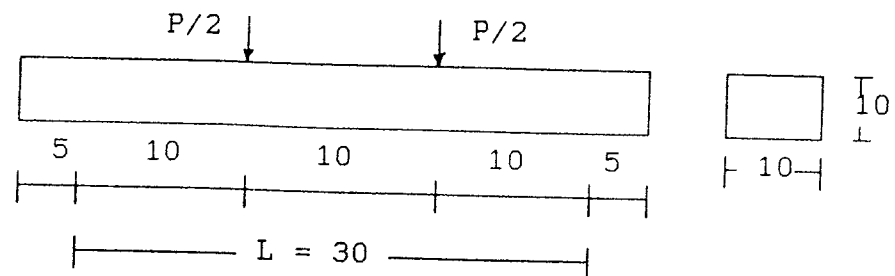
Tegangan lentur yang terjadi pada balok berhubungan dengan tahanan momen (W). Tahanan momen pada balok pada balok tam-pang persegi adalah :

$$W = 1/6 \cdot b \cdot h^2$$

Kekuatan lentur atau tegangan lentur dapat diperoleh dengan rumus :

$$\sigma_{lt} = M/W$$

Benda uji yang dipakai dalam uji lentur pada penelitian ini menggunakan menggunakan prisma beton dengan luas penampang $10 \times 10 \text{ cm}^2$ dan panjang 40 cm.



Gambar 2.4 Pengujian lentur prisma beton

Dengan substitusi persamaan pada momen lentur (M) dan

tahanan momem (W) diperoleh tegangan lentur :

$$\sigma_{lt} = P \cdot L / b \cdot h^2$$

keterangan :

σ_{lt} = tegangan lentur

L = jarak tumpuan

b = lebar tampang balok

h = tinggi tampang balok

BAB III

PELAKSANAAN PENELITIAN

3.1 Umum

Bahan-bahan yang dipergunakan dalam penelitian harus diketahui sifat-sifatnya, sehingga bahan yang digunakan sesuai dengan persyaratan yang ditentukan. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

3.2 Bahan penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah meliputi semen, agregat, air dan bahan tambah berupa kawat baja.

3.2.1 Semen

Semen sebagai bahan pengikat dalam adukan beton menggunakan semen portland tipe I dengan merek Nusantara yang diproduksi di Cilacap. Pengamatan dilakukan secara visual pada kemasan kantong 50 kg. Kemasan berada dalam keadaan tertutup, tidak ada kerusakan kemasan, bahan butiran semen halus, dan tidak terjadi penggumpalan.

3.2.2 Agregat Halus (Pasir)

Agregat halus yang dipakai adalah pasir yang diambil dari kali Progo Yogyakarta. Pasir yang digunakan adalah pasir yang mempunyai diameter maksimum 4,75 mm, sehingga harus

dilakukan penyaringan dengan saringan 4,75 mm. Pasir harus dibersihkan dari bahan lain seperti potongan kayu, rumput, batu ukuran besar, kertas, dan lain sebagainya. Untuk mendapatkan kondisi kering permukaan maka pasir dibasahi sehari sebelumnya kemudian diangin-anginkan.

3.2.2 Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan adalah agregat tidak alami (batu pecah,) sehingga sudutnya tajam serta permukaannya kasar. Kerikil yang digunakan berasal dari Kali Progo. Agregat tersebut perlu disaring dengan ayakan, dan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah agregat yang lolos ayakan berdiameter 20 mm. Sehari sebelum pengadukan beton dilakukan, kerikil disiran air dan diangin-anginkan sehingga didapat kerikil jenuh kering muka atau "Saturated Surface Dry" (SSD).

3.2.4 Air

Air yang dipergunakan adalah air yang diambil dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Pengamatan dilakukan secara visual, yaitu jernih dan tidak berbau.

3.2.4 Serat (Bahan Tambah)

Serat yang digunakan sebagai bahan tambah adalah potongan kawat baja yang panjangnya 60 mm dengan diameter 1 mm. Pemotongan kawat baja dilakukan secara manual dan diusahakan mempunyai panjang yang sama. Untuk beton dengan serat berkait, kedua ujung kawat baja dibengkokkan dengan menggunakan tang.

3.3 Alat-alat Penelitian

1. Saringan/ayakan

Saringan ini digunakan untuk menyaring pasir dan kerikil agar diperoleh diameter yang dibutuhkan.

2. Timbangan

Timbangan dipakai untuk mengukur berat bahan penyusun beton yaitu semen, pasir, kerikil, serat, dan benda uji. Timbangan yang digunakan adalah :

- a. timbangan merek OHAUS dengan kapasitas 20 kg,
- b. timbangan dengan kapasitas 100 kg.

3. Gelas ukur

Gelas ukur diperlukan untuk menakar jumlah air yang diperlukan dalam pembuatan adukan beton atau pasta semen. Kapasitas gelas ukur yang dipakai adalah 1000 cc.

4. Kerucut Abrams

Kerucut ini digunakan untuk mengukur kelecakan beton pada percobaan slump. Kerucut ini mempunyai lubang pada kedua ujungnya, dengan diameter atas 100 mm dan diameter bawah 200 mm, dan tinggi 300 mm. Alat ini dilengkapi tongkat pemadat dari baja dengan panjang 600 mm dan berdiameter 16 mm.

5. Mistar dan kaliper

Mistar dan kaliper digunakan untuk mengukur benda-benda uji yang akan diuji kuat desak dan lenturnya. Mistar juga digunakan untuk mengukur penurunan nilai slump yang terjadi.

6. Cetok, talam baja, dan ember

Cetok digunakan sebagai alat untuk memasukkan benda uji ke kerucut Abrams dan cetakan benda uji. Talam baja digunakan sebagai alas pada pengujian slump dan menampung adukan beton dari mesin pengaduk beton. Ember digunakan sebagai wadah pengambilan dan penimbangan bahan-bahan adukan beton.

7. Cetakan benda uji

Cetakan benda uji terbuat dari plat baja untuk mencetak beton. Cetakan yang digunakan adalah balok dengan ukuran $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}^3$ dan kubus berukuran $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$. Cetakan benda uji mempunyai baut pada sisi-sisi luarnya, sehingga memudahkan pelepasan beton.

8. Molen/pengaduk beton

Mesin ini berfungsi untuk mengaduk bahan penyusun beton sehingga didapat adukan beton yang homogen. Mesin ini digerakkan dengan generator listrik yang berputar pada sumbu-nya.

9. Mesin uji lentur beton

Mesin uji lentur beton ini merupakan serangkaian mesin desak/tarik yang dapat pula dipergunakan untuk uji lentur beton. Alat ini dilengkapi dengan alat untuk pembebanan titik pada beton yang diletakkan diatas dua tumpuan. Beban yang telah diberikan dapat dibaca pada skala pembebanan.

10. Mesin uji desak beton

Mesin uji desak beton merek Constrolls digunakan untuk menguji kuat desak beton dengan beban yang dapat dibaca pada skala pembebanan. Kapasitas maksimum mesin ini adalah 2000 KN.

3.4. Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini banyak melakukan kegiatan baik didalam maupun diluar laboratorium. Namun secara garis besar dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Tahap persiapan bahan-bahan penelitian.
 - a. Pemotongan dan pembengkokkan serat
 - b. penyaringan agregat
2. Perencanaan campuran adukan beton
3. Proses pembuatan benda uji
4. Perawatan benda uji

3.4.1 Tahap persiapan bahan

1. Pemotongan serat dari kawat baja dengan panjang 60 mm untuk serat lurus. Pemotongan dilakukan dengan menggunakan begel baja yang dilandasi plat baja dan dipukul dengan palu. Pembengkokkan kait dilakukan dengan menggunakan tang.

2. Penyaringan agregat kasar (kerikil) dan halus (pasir). Pasir dan kerikil disaring serta dibersihkan dari segala kotoran yang ada. Penyaringan dilakukan untuk menda-

patkan diameter maksimum pasir 4,75 mm dan kerikil berdiameter maksimum 20 mm.

3.4.2 Perhitungan Campuran Adukan Beton

Untuk membuat suatu adukan beton, perlu dilakukan diketahui komposisi bahan penyusun beton. Perhitungan campuran beton dilakukan dengan berdasarkan cara American Concrete Institute (ACI).

Data-data yang diperlukan untuk perhitungan :

- | | | |
|---|---|-----------------------|
| 1. kuat desak rencana | : | 22.5 MPa |
| 2. diameter maksimum agregat kasar | : | 20 mm |
| 3. modulus halus butiran (mhb) pasir | : | 2.8 |
| 4. berat jenis pasir (SSD) | : | 2,66 t/m ³ |
| 5. berat jenis kerikil (SSD) | : | 2,67 t/m ³ |
| 6. berat jenis kerikik kering tusuk (SSD) | : | 1,68 t/m ³ |
| 7. berat jenis semen | : | 3,15 t/m ³ |

Perhitungan rencana campuran beton :

1. Menghitung kuat desak rata-rata

Berdasarkan tabel 2.2 untuk volume pekerjaan kecil dengan mutu pengawasan baik, maka $s_d = 6$ MPa

Nilai konstanta untuk 16 benda uji diambil nilai $k = 1,54$ berdasarkan gambar 2.5.

$$\begin{aligned} m &= k \cdot s_d \\ &= 1,54 \cdot 6 = 9,24 \text{ MPa} \end{aligned}$$

mutu beton = $f'_c = 22,5$ MPa

$$f'_{cr} = 22,5 + 9,24 = 31,74 \text{ MPa}$$

2. Menetapkan faktor air semen

a. Berdasarkan tabel 2.3 dan kekuatan umur yang dihendaki didapat nilai fas = 0,4819

b. Berdasarkan tabel 2.4, beton tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung didapat nilai fas = 0,6

c. Dari kedua nilai fas diatas, dipakai nilai fas terkecil yaitu 0,4819

3. Menetapkan nilai slump

Berdasarkan tabel 2.5, untuk jenis struktur balok dan kolom didapat nilai slump 75 - 150 mm

4. Menetapkan kebutuhan air

Berdasarkan tabel 2.7, untuk nilai slump 75 - 100 mm dan agregat 20 mm didapat kebutuhan air 203 liter dan udara terperangkap 2 %

5. Menghitung kebutuhan semen

$$\text{Fas} = \frac{W_{\text{air}}}{W_{\text{semen}}}$$

$$W_{\text{semen}} = \frac{W_{\text{air}}}{\text{fas}} = \frac{203}{0,4819} = 422,917 \text{ kg}$$

$$\text{Volume semen} = \frac{W_{\text{semen}}}{B_{j\text{semen}}} = \frac{0,4229175}{3,15} = 0,1343 \text{ m}^3$$

6. Menetapkan volume agregat kasar per meter kubik beton

Berdasarkan tabel 2.8

Untuk diameter maksimum 20 mm dan modulus halus butiran (mhb) = 2,63, didapat :

$$\text{Volume agregat kasar (VK)} = 0,63 \text{ m}^3$$

$$\text{Berat agregat kasar} = \text{VK} \cdot \text{Bj kerikil kering tusuk}$$

$$= 0,63 \times 1,68 = 1,0248 \text{ ton}$$

$$\text{Volume agregat} = \frac{\text{berat kerikil}}{\text{Bj kerikil (SSD)}}$$

$$= \frac{1,0248}{2,67} = 0,3838 \text{ m}^3$$

7. Menghitung volume pasir (VP)

$$\text{Volume pasir (VP)} = 1 - (\text{VA} + \text{VS} + \text{VK} + \text{VU})$$

$$= 1 - (0,203 + 0,1343 + 0,3838 + 0,02)$$

$$= 0,2589 \text{ m}^3$$

$$\text{Berat pasir} = \text{VP} \times \text{Bj pasir (SSD)}$$

$$= 0,2589 \times 2,66 = 0,688674 \text{ ton}$$

8. Kebutuhan material dalam 1 m³ adukan beton :

a. semen = 422,917 kg

b. pasir = 688,674 kg

c. kerikil = 1024,8 kg

d. air = 203 lt

9. Kebutuhan material benda uji dapat dilihat pada tabel

3.10.

Tabel 3.10 Kebutuhan material benda uji

Kode	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (l)	Serat (kg)
KN	22,838	37,188	55,339	10,962	0
KN2	22,838	37,188	55,339	10,962	0,46
KN3	22,838	37,188	55,339	10,962	0,69
BN	27,067	44,075	65,587	12,992	0
BL2	27,067	44,075	65,587	12,992	0,545
BL3	27,067	44,075	65,587	12,992	0,818
BK2	27,067	44,075	65,587	12,992	0,545
BK3	27,067	44,075	65,587	12,992	0,818

3.4.3 Proses Pembuatan Benda Uji

1. Menimbang kebutuhan semen, kerikil, pasir, kawat, baja, dan air sesuai kebutuhan. Agegat yang akan dipakai terlebih dulu dicuci agar bebas dari kotoran dan diangin-anginkan sehingga diperoleh keadaan jenuh permukaan (SSD).
2. Menuangkan air, kerikil, pasir, dan semen ke dalam mesin pengaduk beton.
3. Memasukkan kawat baja ke dalam campuran beton yang telah homogen. Kawat baja ditaburkan sedikit demi sedikit sehingga tercampur merata.
4. Pengujian nilai slump dengan menggunakan kerucut Abrams. Adukan beton dimasukkan ke dalam kerucut dengan membentuk tiga lapisan dan ditumbuk 25 kali setiap lapisan. Permukaan kerucut diratakan dan didiamkan ± 30 detik, kemudian kerucut diangkat perlahan-lahan dan diletakkan di samping adukan. Besarnya penurunan adukan diukur dari tinggi kerucut.
5. Memasukkan adukan beton ke dalam cetakan beton yang berbentuk balok dan kubus. Cetakan yang digunakan telah dibersihkan dari lekatan sisa beton dan kotoran lainnya, kemudian bagian dalam diolesi oli. Adukan dalam cetakan ditumbuk dengan cetok dan sisi cetakan diketok-ketok perlahan dengan palu kayu agar terjadi pemadatan yang sempurna. Maksud dari pekerjaan ini supaya gelembung-gelembung udara yang terperangkap akan keluar, setelah itu permukaan atas adukan diratakan dengan cetok.
6. Adukan yang telah dicetak didiamkan selama 24 jam dan diletakkan di tempat yang terlindung dari matahari dan

hujan.

7. Cetakan dapat dibuka, dengan memberi kode/keterangan pada beton.

3.4.4 Perawatan Benda Uji

Rawatan beton perlu dilakukan untuk menjaga agar permukaan beton segar selalu lembab, sejak adukan beton dipadatkan sampai beton dianggap cukup keras. Kelembaban beton harus dijaga untuk menjamin proses hidrasi semen berlangsung dengan sempurna, sehingga kekuatan beton menjadi tinggi. Benda uji pada penelitian ini dirawat dengan cara direndam dalam air dan ditutup dengan karung basah.

3.5 Pengujian Benda Uji

Pengujian beton dilakukan pada beton berumur 7 dan 28 hari dengan pengujian desak dan lentur.

3.5.1 Pengujian kuat lentur

Pelaksanaan pengujian kuat lentur beton dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Benda uji balok berukuran $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}^3$ yang telah siap diuji ditimbang beratnya dan diukur panjang, lebar serta tingginya dengan menggunakan kaliper dan penggaris.

2. Memberi tanda dengan spidol pada benda uji sebagai titik perletakan tumpuan dan titik pembebanan.

3. Meletakkan benda uji pada tumpuan sesuai dengan tanda yang telah diberikan.

4. Pemberian beban pada benda uji secara perlahan-lahan.

5. Pembebanan maksimum pada benda uji dicatat sesuai skala jarum penunjuk pada mesin uji.

3.5.2 Pengujian Kuat Desak Beton

Pengujian kuat desak beton dilakukan dengan benda uji berbentuk kubus berukuran $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$. Langkah pengujian kuat desak beton adalah sebagai berikut :

1. Benda uji diletakkan pada mesin uji desak tepat ditengah-tengah mesin.
2. Pemberian beban pada benda uji secara perlahan-lahan sampai benda uji hancur.
3. Pembebanan maksimum dicatat sesuai dengan skala jarum penunjuk pada alat uji.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan benda uji berbentuk balok berukuran $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}^3$ dan kubus berukuran $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel-tabel dibawah ini.

4.1.1 Hasil pengujian Kuat Desak

Tabel 4.1 Kuat desak beton normal pada umur 7 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm^3)	P_{desak} (kN)	Kuat desak (kg/cm^2)
1.	13	15,15	15,19	15,1	8,3	0,00239	560	247,9658
2.	13	14,99	15	15	8,2	0,0024	455	206,2019
3.	13	15,025	15,07	15,02	8,13	0,00238	735	330,7758
4.	13	15,05	15,15	15,29	8,25	0,00237	610	272,6182
5.	13	15,05	15,05	15,09	8,15	0,00238	580	260,9931
6.	13	14,99	15,04	15,015	8,08	0,00239	615	277,9712
7.	13	15,13	15,07	15,2	8	0,00237	420	187,7038
8.	13	15	15,18	15,175	8,25	0,00238	600	268,5112

Tabel 4.2 Kuatdesak beton serat lurus 2 % umur 7 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm^3)	P_{desak} (kN)	Kuat desak (kg/cm^2)
1.	8	14,96	15,08	15,06	8,1	0,00238	600	271,0145
2.	8	15,07	15,08	15,05	8,25	0,00241	630	282,4881
3.	8	15,06	15,06	15,24	8,3	0,0024	580	260,5867
4.	8	14,98	15,1	15,12	8,305	0,00243	640	288,3138
5.	8	15,09	15,03	15,1	8,35	0,00244	630	283,0522
6.	8	15,08	14,98	15,08	8,22	0,00242	625	281,9298
7.	8	15,02	15,06	15,09	8,185	0,0024	660	297,3194
8.	8	15,01	14,98	15,05	8,17	0,00241	675	305,9042

Tabel 4.3 Kuat desak beton serat lurus 3 % umur 7 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm ³)	P _{desak} (kN)	Kuat desak (kg/cm ²)
1.	5	15,13	15,02	15,1	8,395	0,00245	695	311,6378
2.	5	14,99	15,14	15,08	8,34	0,00245	650	291,8502
3.	5	15,01	14,97	15,06	8,145	0,00241	640	290,2363
4.	5	15,01	14,98	15,05	8,24	0,00243	610	276,4468
5.	5	15,03	15,05	15,04	8,36	0,00246	660	297,319
6.	5	15,02	15,05	15,01	8,36	0,00242	720	325,006
7.	5	15,01	15,05	15,06	8,29	0,00244	675	304,4814
8.	5	14,96	15,05	15,04	8,285	0,00245	650	294,1843

Tabel 4.4 Kuat desak beton normal umur 28 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm ³)	P _{desak} (kN)	Kuat desak (kg/cm ²)
1.	12,5	14,96	15,1	15,41	8,19	0,00233	775	349,5967
2.	12,5	15,190	14,92	15,04	8,09	0,00237	800	359,6976
3.	12,5	15,38	15,05	15	8,225	0,00236	740	325,7715
4.	12,5	15,15	15,1	15,23	8,117	0,00235	720	320,7134
5.	12,5	15,17	15,35	15,36	8,345	0,00233	835	365,3984
6.	12,5	14,92	15	15,19	8,015	0,00236	810	368,807
7.	12,5	14,87	15,01	14,5	8,025	0,00246	700	319,5807
8.	12,5	15,14	15,14	15,42	8,345	0,00236	800	355,6415

Tabel 4.5 Kuat desak beton serat lurus 2 % umur 28 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm ³)	P _{desak} (kN)	Kuat desak (kg/cm ²)
1.	9	14,95	14,96	15,06	8,146	0,00242	915	416,8914
2.	9	15,11	15	15,2	8,23	0,00239	800	359,6735
3.	9	15,15	15,1	15,05	8,393	0,00244	810	360,8026
4.	9	15	15	15,07	8,212	0,00242	800	362,311
5.	9	15,09	14,98	15,05	8,067	0,00238	925	416,9797
6.	9	15,2	15,12	15,2	8,285	0,00238	815	362,311
7.	9	15,08	15,16	15,14	8,365	0,00242	905	403,3873
8.	9	14,98	15	14,96	8,283	0,00246	775	351,4575

Tabel 4.6 Kuat desak beton serat lurus 3 % umur 28 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm ³)	P _{desak} (kN)	Kuat desak (kg/cm ²)
1.	6	15,01	15,03	15,01	8,341	0,00245	725	327,471
2.	6	15,1	14,76	15	8,125	0,00243	995	454,9189
3.	6	14,9	15,08	15	8,33	0,00247	1085	492,058
4.	6	15,17	15,01	15	8,497	0,00248	1030	460,941
5.	6	15,58	15,33	15,2	8,38	0,00231	1020	435,1758
6.	6	14,92	14,95	15,07	8,147	0,00242	930	424,8612
7.	6	15,12	15,01	15,02	8,345	0,00245	1095	491,6497
8.	6	15,02	15,1	15,04	8,286	0,002453	985	442,5312

4.1.2 Hasil Pengujian Kuat Lentur

Tabel 4.7 Kuat lentur beton normal umur 7 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm ³)	P _{lentur} (kg)	Kuat lentur (kg/cm ²)
1.	12	40,1	10,16	10,21	10,1	0,00236	1192,5	33,778
2.	12	40,1	10	10,11	9,7	0,00239	1067,5	31,3319
3.	12	40,2	10,06	10,21	9,715	0,00236	950	27,1766
4.	12	40,2	9,96	10,2	9,64	0,00236	895	25,911
5.	12	40,1	10,14	10,16	9,91	0,0024	1405	40,2691
6.	12	40,2	9,99	10,21	9,84	0,0024	1202,5	43,6409
7.	12	39,9	9,98	10,12	9,6	0,00238	1405	41,2388
8.	12	40,1	10	10,14	9,7	0,00239	1375	40,1188

Tabel 4.8 Kuat lentur beton serat lurus 2 % umur 7 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm ³)	P _{lentur} (kg)	Kuat lentur (kg/cm ²)
1.	7,5	40,15	10,11	10,13	10,15	0,00247	1375	39,7606
2.	7,5	40	10,2	10,16	10	0,00241	1180	33,6214
3.	7,5	40,1	9,9	10,14	9,75	0,00242	1125	36,1032
4.	7,5	40,2	9,97	10,07	9,7	0,0024	1345	39,9107
5.	7,5	40,1	9,98	10,02	9,5	0,00237	1305	39,0720
6.	7,5	40,1	10,12	10,1	9,85	0,0024	1280	37,157
7.	7,5	40,2	9,93	10,16	9,45	0,00243	1215	35,3464
8.	7,5	40,1	10,08	10,13	10,1	0,00247	1195	34,6595

Tabel 4.9 Kuat lentur beton serat lurus 3 % umur 7 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm ³)	P _{lentur} (kg)	Kuat lentur (kg/cm ²)
1.	4,5	40	9,7	10,13	9,7	0,00247	1170	35,2628
2.	4,5	40,25	9,7	10,11	9,85	0,00247	1155	34,9485
3.	4,5	40	10,1	10,02	9,77	0,00243	1355	40,4474
4.	4,5	39,8	10,05	10,05	10,13	0,00252	1515	45,2238
5.	4,5	39,5	10,05	10	9,89	0,00249	1430	42,2629
6.	4,5	39,5	10,05	10,26	9,20	0,00243	1310	37,1437
7.	4,5	39,85	10,1	10,02	9,83	0,00244	1365	40,3827
8.	4,5	40,15	10	10,01	9,88	0,00246	1420	42,5149

Tabel 4.10 Kuat lentur beton serat berkait 2 % umur 7 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm ³)	P _{lentur} (kg)	Kuat lentur (kg/cm ²)
1.	6	40,2	9,97	10,05	9,675	0,0024	1387,5	41,3359
2.	6	40	9,99	10,02	10,03	0,00251	1390	41,7424
3.	6	40	9,97	10,03	9,42	0,00236	1340	40,0881
4.	6	40,1	9,99	10,04	10,055	0,00252	1285	38,6297
5.	6	40,2	9,98	10,03	9,88	0,00246	1375	41,0858
6.	6	40,2	10,18	10,17	10,32	0,00248	1515	43,1662
7.	6	39,9	9,97	10,08	9,755	0,00243	1465	43,9776
8.	6	40	9,9	10,05	9,685	0,00243	1347,5	40,0638

Tabel 4.11 Kuat lentur beton serat berkait 3 % umur 7 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm ³)	P _{lentur} (kg)	Kuat lentur (kg/cm ²)
1.	4	40,2	10,22	10,19	10,4	0,00248	1480	41,8392
2.	4	40,1	10,08	10,07	10,37	0,00255	1455	42,7036
3.	4	40,1	9,98	10,06	9,495	0,00236	1465	46,4846
4.	4	40,2	9,99	10,04	9,915	0,00246	1460	43,4952
5.	4	39,9	10,02	10,05	9,975	0,00248	1405	41,6463
6.	4	40,1	10,06	10,05	10,39	0,00256	1460	43,1066
7.	4	39,9	9,98	10,02	9,85	0,00247	1620	48,5032
8.	4	40	10,02	10,01	9,883	0,00246	1390	41,5337

Tabel 4.12 Kuat lentur beton beton normal umur 28 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm ³)	P _{lentur} (kg)	Kuat lentur (kg/cm ²)
1.	12	40	10,01	10,16	9,64	0,00237	1450	42,0986
2.	12	39,5	10,03	10,04	9,535	0,0024	1250	37,0906
3.	12	39,9	10,07	10,09	9,925	0,00245	1650	48,2829
4.	12	39,9	10,1	10,15	9,725	0,00238	1510	43,5356
5.	12	40	9,98	10,05	9,625	0,00239	1550	46,1037
6.	12	39,9	10	10,15	9,64	0,00238	1535	44,699
7.	12	40	9,97	10,1	9,515	0,00235	1475	43,5086
8.	12	39,9	10,03	10,27	9,83	0,00239	1655	46,9329

Tabel 4.13 Kuat lentur beton serat lurus 2 % umur 28 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm ³)	P _{lentur} (kg)	Kuat lentur (kg/cm ²)
1.	8	40	10	10,2	10,09	0,00247	1610	46,4245
2.	8	40	10,1	10,1	9,845	0,00241	1355	39,4545
3.	8	40,1	10,15	10,15	10,1	0,00244	1690	48,4853
4.	8	40,2	10	10,18	9,867	0,00241	1650	47,765
5.	8	40,1	10	10,12	9,832	0,00242	1555	45,5502
6.	8	39,9	10,16	10	10,073	0,00248	1790	52,8543
7.	8	40,1	9,98	10,2	9,768	0,00239	1300	37,5607
8.	8	39,9	10,11	10,06	9,885	0,00244	1735	50,8714

Tabel 4.14 Kuat lentur beton serat lurus 3 % umur 28 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm ³)	P _{lentur} (kg)	Kuat lentur (kg/cm ²)
1.	6,5	39,8	10	10,16	9,668	0,00238	1565	45,4829
2.	6,5	39,8	10,04	10,1	9,87	0,00245	1610	47,1456
3.	6,5	39,9	10,02	10,09	9,962	0,00247	1600	47,0393
4.	6,5	39,9	10,04	10,07	9,89	0,00245	1775	52,303
5.	6,5	40	10,01	10,09	9,824	0,00243	1630	47,9836
6.	6,5	39,9	10	10	9,745	0,00244	1600	48
7.	6,5	39,9	10,02	10,02	9,734	0,00243	1540	45,9239
8.	6,5	39,9	10,03	10,11	9,885	0,00244	1525	44,625

Tabel 4.15 Kuat lentur beton serat berkait 2 % 28 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm ³)	P _{lentur} (kg)	Kuat lentur (kg/cm ²)
1.	4,5	39,7	10,04	10,02	9,81	0,00246	1725	51,3383
2.	4,5	40,1	9,98	10,13	10,025	0,00247	1650	48,3343
3.	4,5	40,1	10,02	10	9,74	0,00242	1500	44,9102
4.	4,5	39,8	10	10,2	9,955	0,00245	2100	60,5536
5.	4,5	39,8	10	10,1	9,967	0,00248	1740	51,1715
6.	4,5	40	10	10,04	10,067	0,00251	1875	55,8027
7.	4,5	40	10,02	10,08	9,98	0,00246	1970	58,0669
8.	4,5	49,95	10,06	10,02	9,874	0,00245	1705	50,6573

Tabel 4.16 Kuat lentur beton serat berkait 3 % 28 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm ³)	P _{lentur} (kg)	Kuat lentur (kg/cm ²)
1.	3	39,8	10,06	10,12	10,019	0,00247	2040	59,4008
2.	3	39,8	10,04	10,15	9,986	0,00246	2050	59,4579
3.	3	40	10,01	10,01	10,027	0,00250	2000	59,8204
4.	3	39,9	10	10,06	9,994	0,00249	1500	44,4648
5.	3	40	9,99	10,2	9,978	0,00245	2360	68,1189
6.	3	39,9	10	10,1	9,823	0,00244	2290	67,3463
7.	3	39,9	10	10,1	9,922	0,00246	1700	49,9951
8.	3	40	10,03	10,02	10,055	0,0025	1980	58,9862

4.2 Analisa

4.2.1 Kuat Desak Beton

Benda uji yang digunakan untuk mengetahui kuat desak karakteristik menurut ACI adalah silinder, sedangkan benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah kubus. Untuk itu, hasil penelitian yang didapat harus dikonversikan agar memenuhi ketentuan ACI.

$$f'c \text{ silinder} = 0,83 \cdot f'c \text{ kubus}$$

Untuk mencari kuat tekan karakteristik beton, maka beton umur 7 hari dikonversikan menjadi beton berumur 28

hari. Perbandingan kuat tekan beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia tahun 1971 (PBBI, 1971) adalah :

$$f'_c \text{ umur 7 hari} = 0,65 f'_c \text{ umur 28 hari}$$

Untuk mencari kuat tekan karakteristik dipakai rumus-rumus di bawah ini :

$$\text{Kuat desak} = \frac{P}{A}$$

$$f_c = \text{Kuat desak} \cdot k_b \cdot k_u, \text{ jika umur beton 7 hari}$$

$$= \text{Kuat desak} \cdot k_b, \text{ jika umur beton 28 hari}$$

$$f'_{cr} = \frac{\frac{\sum f_c}{N}}{N}$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\frac{\sum (f_c - f'_{cr})^2}{N-1}}{N-1}}$$

$$m = k \cdot S_d$$

$$f'_c = f'_{cr} - m$$

Keterangan :

P : beban maksimum (kN)

dengan 1 kN = 101,9 kg

A : luas permukaan (cm²)

f_c : kuat desak beton menurut standar ACI (MPa)

k_b : konversi bentuk

$$= 0,83$$

k_u : konversi umur

$$= 1/0,65 = 1,5385$$

f'_{cr} : kuat desak beton rata-rata (MPa)

N : jumlah benda uji

S_d : standar deviasi (MPa)

m : nilai margin (MPa)

k : konstanta

$$= 1.54$$

f'_c : kuat tekan karakteristik beton (MPa)

Pada tabel-tabel dibawah ini dapat dilihat kuat desak beton dengan benda uji nomor 1-8 adalah beton yang diuji pada umur 7 hari dan nomor 9-16 adalah beton yang diuji pada umur 28 hari.

Tabel 4.17 Kuat desak beton normal pada umur 7 hari

No.	Kuat desak (kg/cm ²)	f_c (MPa)
1.	247,9658	20,5812
2.	206,2019	17,1476
3.	330,7758	27,4544
4.	272,6182	22,6273
5.	261,9331	21,6575
6.	277,9712	23,0716
7.	187,703	15,5794
8.	268,5112	22,3019
$\Sigma = 170,388$		

$$f'_{cr} = \frac{170,388}{8}$$

$$= 21,2995 \text{ MPa}$$

Tabel 4.18 Kuat desak beton serat lurus 2 % pada umur 7 hari

No.	Kuat desak (kg/cm ²)	f _c (MPa)
1.	271,0145	22,4942
2.	282,4881	23,4465
3.	260,5867	21,6287
4.	288,3138	23,393
5.	283,0522	23,4933
6.	281,9298	23,4002
7.	297,3139	24,6775
8.	305,9042	25,39
		Σ = 188,4604

$$f'_{cr} = \frac{188,4604}{8}$$

$$= 23,5576 \text{ MPa}$$

Tabel 4.19 Kuat desak beton serat lurus 3 % pada umur 7 hari

No.	Kuat desak (kg/cm ²)	f _c (MPa)
1.	311,6378	25,8659
2.	291,8502	24,2236
3.	290,2363	24,0008
4.	276,4468	22,9451
5.	297,319	24,6775
6.	324,5639	26,9388
7.	304,4814	25,272
8.	294,1843	24,4173
		Σ = 198,429

$$f'_{cr} = \frac{198,429}{8}$$

$$= 24,8036 \text{ MPa}$$

Tabel 4.20 Kuat desak beton normal umur 28 hari

No.	Kuat desak (kg/cm ²)	f _c (MPa)	f _c -f' _{cr}	(f' _c -f' _{cr}) ²
1.	247,9658	31,6333	0,9368	0,8776
2.	206,2019	26,3304	-4,3961	19,3257
3.	330,7758	42,2375	11,511	132,5031
4.	272,6182	34,8112	4,4808	16,6858
5.	261,9331	33,3192	2,5927	6,7221
6.	277,9712	35,4948	4,7583	22,7367
7.	187,703	23,9682	-6,7583	45,6746
8.	268,5112	34,2868	3,5603	12,6757
9.	349,5967	29,0165	-1,71	2,2941
10.	359,6976	29,8549	-0,8716	0,7597
11.	325,7715	27,0390	-3,6875	13,5977
12.	320,7134	26,6192	-4,1073	16,8699
13.	365,3984	30,3280	-0,3984	0,1587
14.	368,807	30,6109	-0,1155	0,0133
15.	319,5807	26,5252	-4,2013	17,6509
16.	355,6415	29,5182	-1,2033	1,46
Σ = 491,624			Σ = 310,6354	

$$f'_{cr} = \frac{491,624}{16}$$

$$= 30,7265 \text{ MPa}$$

Nilai k diambil sebesar 1,54 untuk 16 benda uji berdasarkan gambar 2.5 (Kusnadi, ITB).

$$S_d = \frac{310,6354}{16-1}$$

$$= 4,5507 \text{ MPa}$$

$$m = 1,54 \cdot 4,5507$$

$$= 7,0081 \text{ MPa}$$

$$f'_c = 30,7265 - 7,0081$$

$$= 23,7184 \text{ MPa} > f'_c = 22,5 \text{ MPa}$$

Tabel 4.21 Kuat desak beton serat lurus 2 % umur 28 hari

No.	Kuat desak (kg/cm ²)	f _c (MPa)	f _c -f' _{cr}	(f' _c -f' _{cr}) ²
1.	271,0145	34,6065	0,7523	0,566
2.	282,4881	36,0716	2,2174	4,91690
3.	260,5867	33,2749	-0,5793	0,3356
4.	288,3128	36,8155	2,9613	8,7693
5.	283,0522	36,1436	2,2894	5,2414
6.	281,9298	36,0003	2,1461	4,6057
7.	297,3194	37,9654	4,1112	16,902
8.	305,9042	39,0616	5,2074	27,117
9.	416,891	34,602	0,7478	0,5592
10.	359,6735	29,8529	-4,0013	16,0104
11.	360,8026	29,9466	-3,9076	15,2693
12.	362,311	30,0718	-3,7824	14,3065
13.	416,9797	34,6093	0,7551	0,5702
14.	361,357	29,9926	-3,8616	14,912
15.	403,3873	33,4811	-0,3731	0,1392
16.	351,4575	29,171	-4,6832	21,9324
		Σ = 541,6667		Σ = 152,1531

$$f'_{cr} = \frac{541,6667}{16}$$

$$= 33,8542 \text{ MPa}$$

$$s_d = \sqrt{\frac{152,1531}{16-1}}$$

$$= 3,1849 \text{ MPa}$$

$$m = 1,54 \cdot 3,1849$$

$$= 4,9047 \text{ MPa}$$

$$f'_c = 33,8542 - 4,9047$$

$$= 28,9495 \text{ MPa}$$

Tabel 4.22 Kuat desak beton serat lurus 3 % umur 28 hari

No.	Kuat desak (kg/cm ²)	f _c (MPa)	f _c -f' _{cr}	(f' _c -f' _{cr}) ²
1.	311,6378	39,7937	2,3779	5,6544
2.	291,8502	37,2670	-0,1488	0,0221
3.	290,2363	37,0608	-0,3549	0,125
4.	276,4468	35,3001	-2,1157	4,4762
5.	297,3190	37,9653	0,5495	0,302
6.	324,5639	41,4443	4,0285	16,2288
7.	304,4814	38,8799	1,4641	2,1436
8.	294,1843	37,5651	0,1493	0,0223
9.	327,4708	27,1801	-10,2347	104,7696
10.	454,9189	38,1733	0,7575	0,5738
11.	492,058	40,8408	3,425	11,7306
12.	460,9408	38,2581	0,8423	0,7095
13.	435,1758	36,1196	-1,2962	1,6801
14.	424,8612	35,2635	-2,1523	4,6324
15.	491,6497	40,8093	3,3935	11,5158
16.	442,5512	36,7317	-0,6841	0,468
		Σ = 598,6527		Σ = 165,0516

$$f'_{cr} = \frac{598,6527}{16}$$

$$= 37,4158 \text{ MPa}$$

$$s_d = \sqrt{\frac{165,0516}{16-1}}$$

$$= 3,3171 \text{ MPa}$$

$$m = 1,54 \cdot 3,3171$$

$$= 5,1083 \text{ MPa}$$

$$f'_c = 37,4158 - 5,1083$$

$$= 32,3075 \text{ MPa}$$

4.2.2 Kuat lentur beton

Pada pengujian lentur beton, nilai kuat lentur beton diperoleh dari perhitungan dengan menggunakan rumus :

$$\sigma_{lt} = \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2}$$

$$\sigma_{lt} \text{ rata-rata} = \frac{\sum \sigma_{lt}}{N}$$

Keterangan :

σ_{lt} : kuat lentur masing-masing benda uji

P : beban maksimum (kg)

L : jarak tumpuan (cm)

= 30 cm

b : lebar balok (cm)

h : tinggi balok (cm)

N : jumlah benda uji

Kuat lentur masing-masing benda uji dapat dilihat pada tabel 4.7 sampai tabel 4.16, sedangkan kuat lentur rata-rata dapat dilihat pada tabel 4.23.

Contoh perhitungan kuat lentur beton normal umur 7 hari

$$\begin{aligned} \sum \sigma_{lt} &= 33,7780 + 31,3319 + 27,1766 + 25,9110 + 40,2691 + \\ &43,6409 + 41,2388 + 40,1188 \\ &= 283,4651 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{lt} \text{ rata-rata} &= \frac{283,4651}{8} \\ &= 35,4331 \text{ kg/cm}^2 = 3,5433 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tabel 4.23 Kuat lentur rata-rata beton umur 7 dan 28 hari

No.	Kode	Kuat lentur (MPa)	
		7 hari	28 hari
1.	BN	3,5433	4,4044
2.	BL2	3,6959	4,6121
3.	BL3	3,9774	4,7313
4.	BK2	4,1261	5,2606
5.	BK3	4.3644	5,8132

4.3 Pembahasan

4.3.1 Workability

Dalam proses pembuatan adukan beton serat ini, digunakan faktor air semen (fas) yang tetap, dengan tidak menambahkan pasta semen. Hal ini bertujuan agar mengetahui pengaruh penambahan serat pada adukan beton. Pengaruh penambahan serat pada adukan beton dapat dilihat dari nilai slump yang terjadi.

Pada adukan beton normal, proses pengadukkan lebih mudah dilakukan dan nilai slump yang didapat masih cukup tinggi. Dengan adanya penambahan serat pada adukan, nilai slump mengecil yang berarti kelecakan beton semakin berkurang. Hal ini menyebabkan proses pengadukan dan pengecoran beton lebih sulit daripada beton non serat.

Pada proses pengadukan tidak terjadi "balling effect" atau penggumpalan serat menjadi satu. Hal ini dimungkinkan karena volume serat yang ditambahkan kecil dan aspek rasio serat yang rendah, sehingga serat masih mudah disebar secara merata oleh mesin pengaduk beton.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa dengan adanya penambahan serat pada beton akan menurunkan kelecakan, mengurangi workability, yang berakibat menimbulkan sedikit kesulitan dalam pengerjaan beton.

4.3.2 Kuat Desak Beton

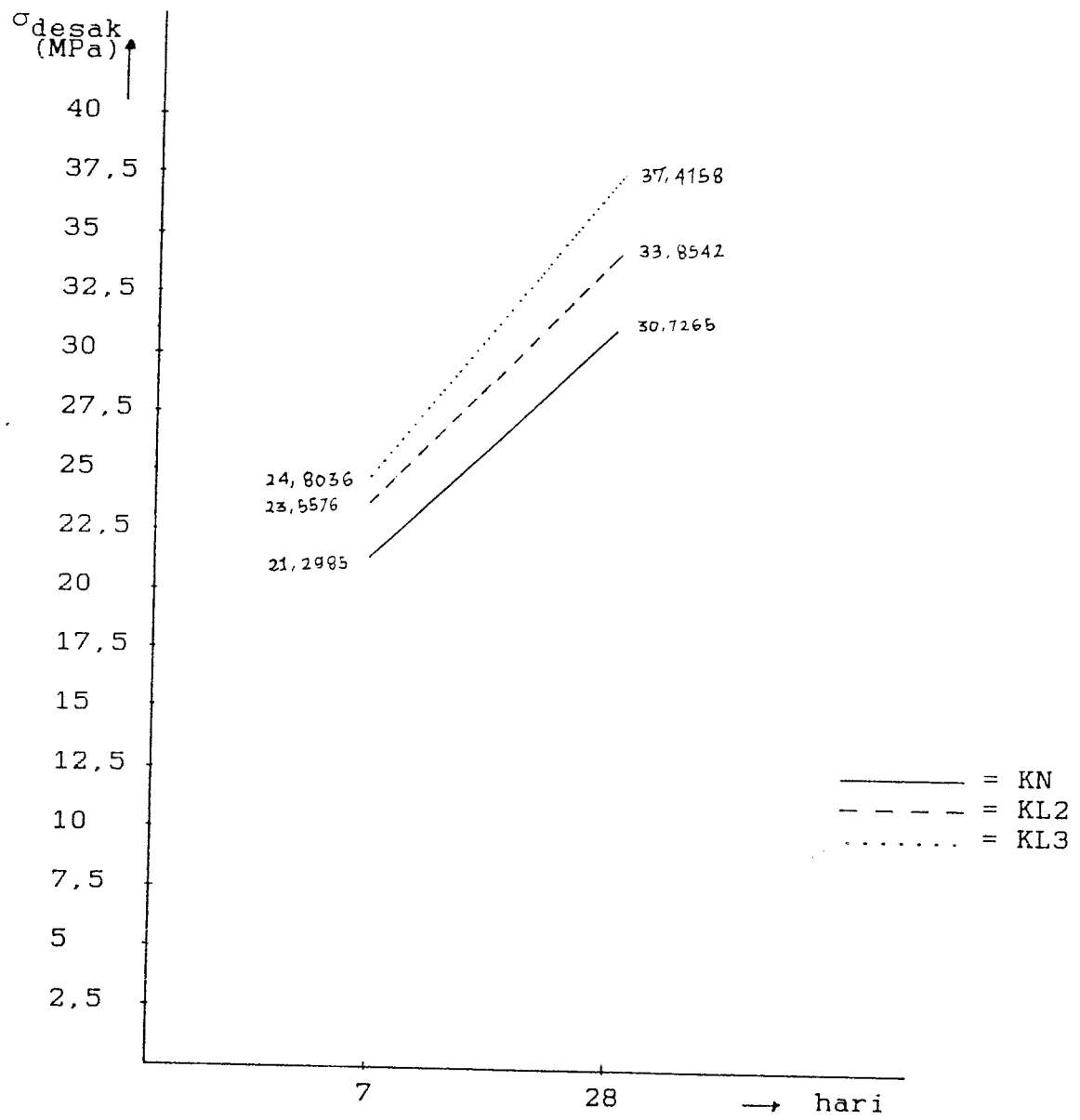
Hasil pengujian desak rata-rata beton pada umur 7 hari dapat dilihat pada tabel 4.24, sedangkan kuat desak rata-rata dan kuat desak karakteristik beton pada umur 28 hari dapat dilihat pada tabel 4.25.

Tabel 4.24 Kuat desak rata-rata beton pada umur 7 hari

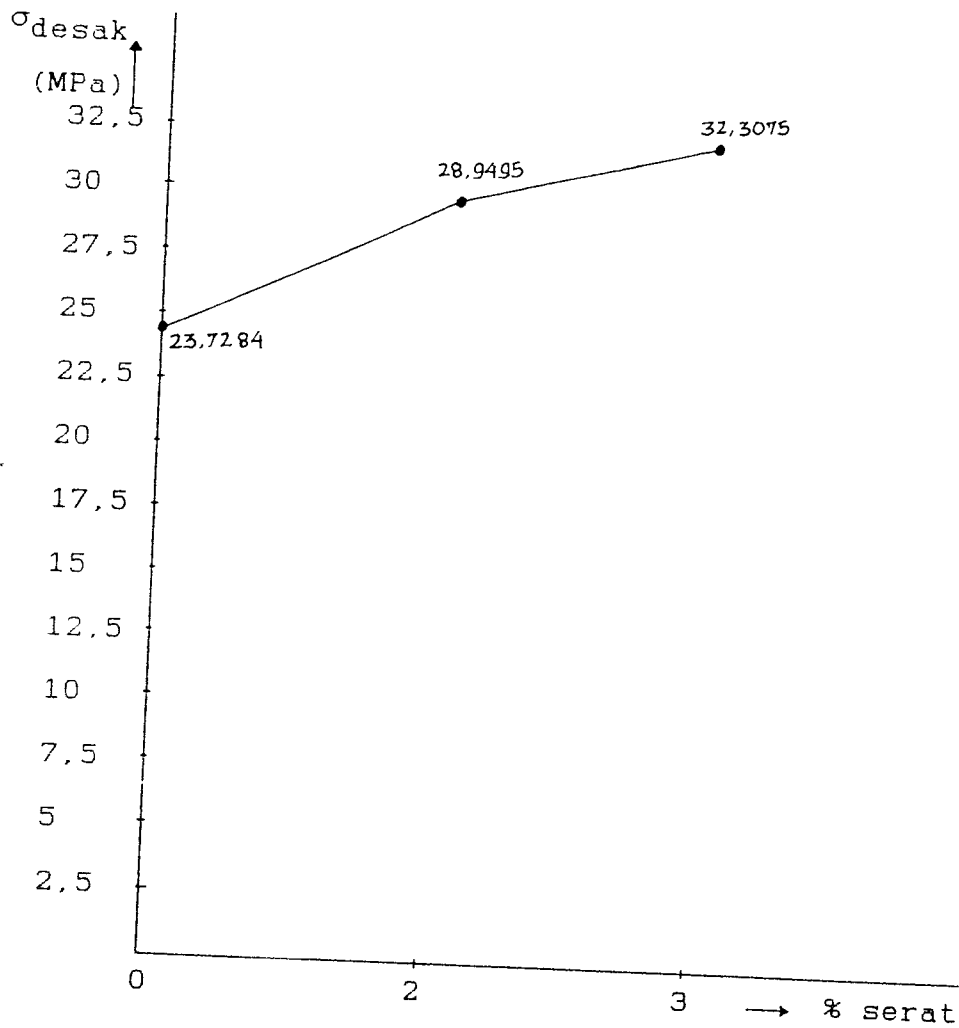
No.	Kode	f'_{cr} (MPa)	%
1.	KN	21,2985	0
2.	KL2	23,5576	10,6069
3.	KL3	24,8036	16,4570

Tabel 4.25 Kuat desak rata-rata dan karakteristik beton pada umur 28 hari

No.	Kode	f'_{cr} (MPa)	S_d (MPa)	f'_c (MPa)	%
1.	KN	30,7265	4,5507	23,7284	0
2.	KL2	33,8542	3,1849	28,9495	22,0036
3.	KL3	37,4158	3,3171	32,3075	36,1554



Gambar 4.1 Grafik hubungan kuat desak rata-rata beton dengan umur beton



Gambar 4.2 Grafik hubungan kuat desak karakteristik beton dengan prosentase serat lurus

Dari tabel 4.14 dan 4.25 dapat dilihat bahwa kuat desak rata-rata pada umur 7 hari adalah 21,2985 MPa untuk beton normal, 23,5576 MPa untuk beton serat 2 %, dan 24,8036 MPa untuk beton serat 3 %, sedangkan kuat desak rata-rata pada umur 28 hari adalah 30,7265 MPa untuk beton normal, 33,8542 MPa untuk beton serat 2 %, dan 37,4158 MPa untuk beton serat 3 %. Dengan demikian, penambahan serat baja menyebabkan peningkatan kuat desak rata-rata beton, baik pada umur 7 hari maupun umur 28 hari.

Kuat desak karakteristik beton normal, serat 2 % dan 3 % adalah 23,7284 MPa, 28,9495 MPa, dan 32,3075 MPa. Dengan demikian, mutu benda uji telah memenuhi mutu beton yang direncanakan yaitu 22,5 MPa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kuat desak karakteristik beton dengan kandungan serat 3 % lebih besar dari beton serat 2 %, yaitu sebesar 36,1554 % terhadap beton normal. Hal ini terjadi karena adanya ikatan yang cukup kuat antara serat baja dengan beton.

Pada pelaksanaan pengujian kuat desak beton terlihat beton non serat hancur/pecah secara mendadak pada beban maksimum dengan pecahan beton saling terlepas. Pada beton berserat, beton tidak pecah secara mendadak dan pecahannya tidak terlepas semua karena tertahan oleh kawat baja.

Peningkatan kuat desak beton akibat penambahan serat juga ditunjukkan oleh persamaan regresi (statistika). Persamaan kurva parabola yang didapat adalah :

1. kuat desak beton umur 7 hari

$$y = 21,3012 + 0,965 x + 0,066 x^2$$

$$r = 0,55$$

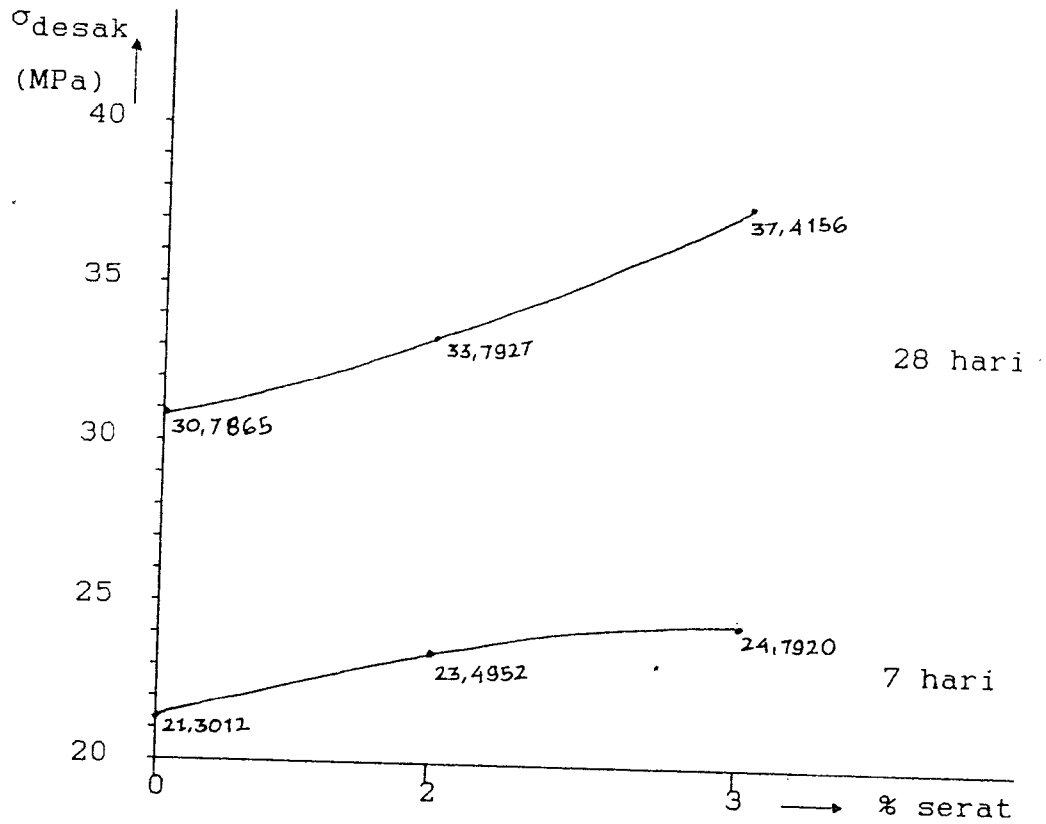
2. kuat desak beton umur 28 hari

$$y = 30,7865 + 0,0899 x + 0,7066 x^2$$

$$r = 0,58$$

Dari nilai r untuk 7 hari dan 28 hari diatas, ternyata pengaruh penambahan konsentrasi serat mempunyai pengaruh cukup besar terhadap penambahan kuat desak beton.

Kurva parabola untuk kuat desak beton umur 7 hari dan 28 hari dapat dilihat pada gambar 4.3, sedangkan perhitungan regresi dapat dilihat pada lampiran.



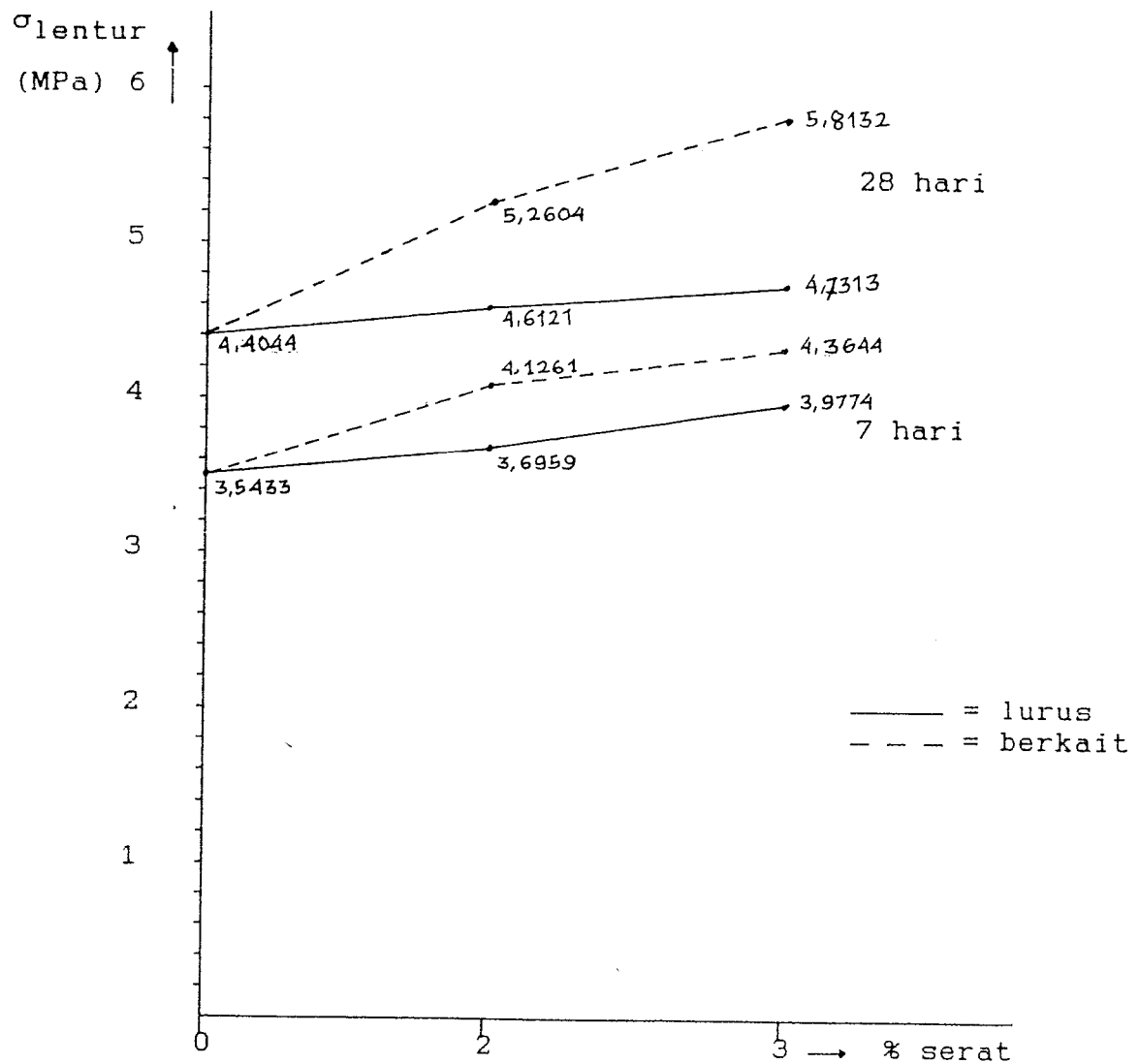
Gambar 4.3 Grafik regresi kuat desak rata-rata beton serat lurus pada umur 7 hari dan 28 hari

4.3.3 Kuat lentur beton

Kenaikan kuat lentur akibat penambahan serat dapat dilihat pada tabel 4.26 dan gambar 4.4.

Tabel 4.26 Kuat lentur rata-rata pada beton

No.	Kode	Kuat Lentur (MPa)			
		7 hari	%	28 hari	%
1.	BN	3,5433	0	4,4044	0
2.	BL2	3,6959	7,7239	4,6121	4,7157
3.	BL3	3,9774	15,9288	4,7313	7,4221
4.	BK2	4,1261	20,2629	5,2604	19,4351
5.	BK3	4,3644	27,2086	5,8132	31,9862



Gambar 4.4 Grafik hubungan antara kuat lentur rata-rata beton dengan prosentase serat

Dari tabel dan gambar di atas, dapat dilihat bahwa beton serat mempunyai kuat lentur yang lebih tinggi daripada beton normal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan serat kait 3 % mencapai hasil kuat lentur yang lebih tinggi dibanding beton normal, beton serat lurus 2 %, dan beton serat kait 3 % yaitu 31,9862 % pada umur 28 hari.

Peningkatan kuat lentur beton akibat penambahan serat juga ditunjukkan oleh persamaan regresi (statistika). Persamaan kurva parabola yang didapat adalah :

1. kuat lentur beton serat lurus umur 7 hari

$$y = 3,5433 - 0,0605 x + 0,0684 x^2$$

$$r = 0,3555$$

2. kuat lentur beton serat lurus umur 28 hari

$$y = 4,4032 + 0,0942 x + 0,0051 x^2$$

$$r = 0,3497$$

3. kuat lentur beton serat berkait umur 7 hari

$$y = 3,5443 - 0,1955 x + 0,1913 x^2$$

$$r = 0,5783$$

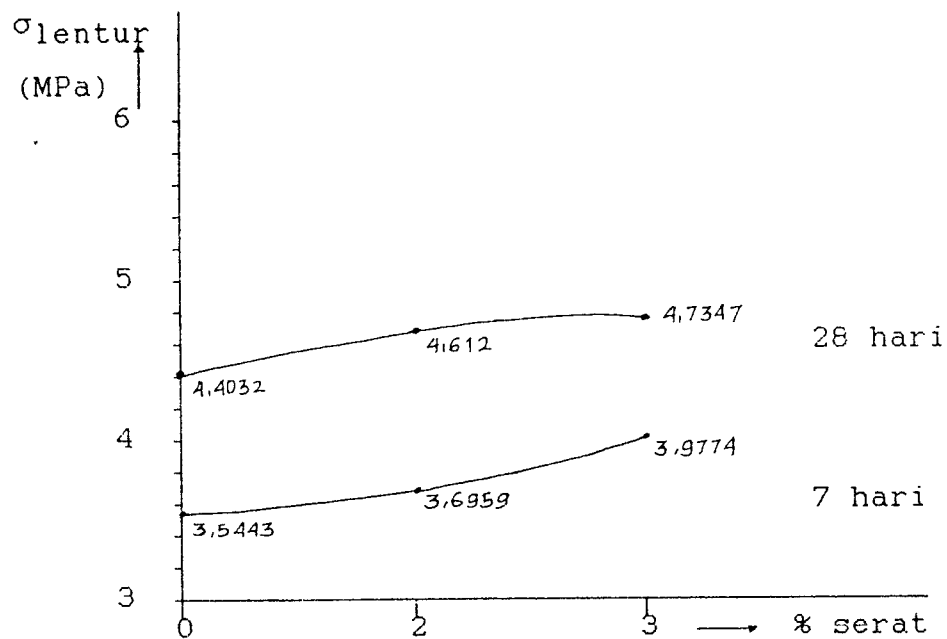
4. kuat lentur beton serat berkait umur 28 hari

$$y = 4,4032 + 0,3248 x + 0,0519 x^2$$

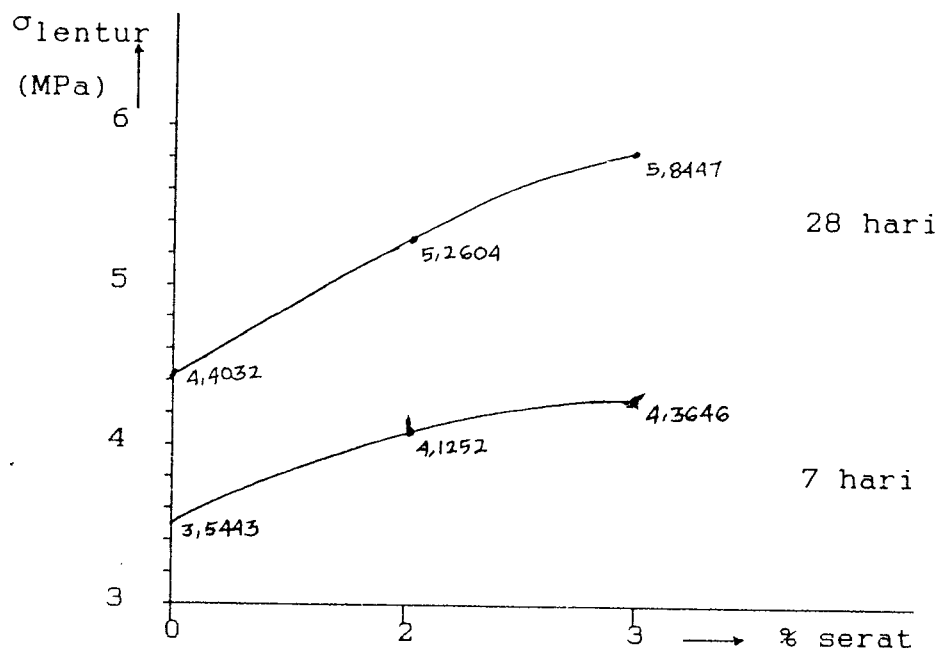
$$r = 0,7369$$

Dari nilai-nilai r diatas, ternyata untuk beton serat lurus penambahan prosentase serat sedikit berpengaruh terhadap penambahan kuat lentur, sedangkan untuk beton serat kait penambahan prosentase serat berpengaruh cukup besar terhadap penambahan kuat lentur beton.

Kurva parabola untuk kuat lentur beton serat lurus umur 7 hari dan 28 hari dapat dilihat pada gambar 4.5, dan beton serat berkait pada gambar 4.6, sedangkan perhitungan regresi dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 4.5 Grafik regresi kuat lentur rata-rata beton serat lurus pada umur 7 hari dan 28 hari



Gambar 4.6 Grafik regresi kuat lentur rata-rata beton serat kait pada umur 7 hari dan 28 hari

Kuat lentur yang didapat dari penambahan serat lurus tidak jauh berbeda dengan beton non serat. Pada serat lurus, kawat baja mudah terlepas dari beton karena diameter yang kecil sehingga kuat lekat ("bond strength") antara serat dan beton kecil.

Dibandingkan dengan serat lurus, serat berkait memberi kenaikan kuat lentur yang besar. Hal ini dikarenakan serat berkait yang terletak secara random dalam beton berfungsi sebagai angker yang dapat menahan slip antara serat dengan beton, sehingga "pull out resistance" akan meningkat. Dengan demikian, kuat lekat ("bond strength") serat berkait lebih besar daripada serat lurus.

Pada pengujian balok beton non serat, begitu beban mencapai maksimum dan terjadi retak pertama maka balok akan

segera patah secara tiba-tiba. Hal ini menunjukkan bahwa beton non serat bersifat getas ("brittle"). Pada beton serat, meskipun telah terjadi retak dan mencapai beban maksimum beton tidak patah karena tertahan oleh adanya serat kawat baja (sifat beton menjadi daktil). Pada beberapa benda uji, beton tidak putus meskipun telah dipatahkan karena tertahan oleh serat.

Dari hasil pengamatan terhadap patahan benda uji terlihat bahwa sebagian serat tercabut dari beton. Hal ini menunjukkan bahwa kuat tarik kawat baja lebih tinggi dari kuat lekat ("bond strength") antara serat dan beton.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan serat ke dalam adukan beton akan menurunkan kelecakan sehingga mengurangi "workability" (kemudahan pengerjaan). Hal ini ditunjukkan dari penurunan nilai slump.

2. Penambahan serat kawat baja ke dalam adukan beton berpengaruh terhadap kuat desak beton, semakin besar konsentrasi serat maka semakin tinggi pula kuat desaknya. Peningkatan kuat desak karakteristik beton karena penambahan 2 % serat kawat baja lurus adalah 22,0036 % dan 36,1554 % untuk beton serat lurus 3 %. Dengan demikian, kuat desak karakteristik beton serat 3 % lebih besar dari beton serat 2 %.

3. Penambahan serat kawat baja baik lurus maupun berkait ke dalam adukan beton berpengaruh terhadap kuat lentur beton, semakin besar konsentrasi serat maka semakin tinggi pula kuat lenturnya. Peningkatan kuat lentur rata-rata beton umur 28 hari karena penambahan serat baja lurus 2 % dan 3 % adalah 4,7157 % dan 7,4221 %, sedangkan untuk serat kawat baja berkait 2 % dan 3 % adalah 19,4351 % dan 31,9862 %. Dengan demikian, kuat lentur beton serat kawat baja berkait 3 % lebih tinggi dari kuat lentur beton serat lurus 2 %, beton

serat lurus 3 %, dan beton serat kait 2 %.

4. Kuat desak beton yang didapat telah memenuhi kuat rencana beton, yaitu $f'_c = 22,5$ MPa.

5. Kuat lentur beton serat berkait 2 % dan 3 % lebih tinggi daripada kuat lentur beton serat kawat baja lurus 2 % dan 3 %.

6. Pada pengujian lentur, beton non serat patah secara tiba-tiba ketika mencapai beban maksimum, sedangkan beton serat hanya mengalami retak karena tertahan oleh adanya serat. Hal ini menunjukkan bahwa beton non serat bersifat getas ("brittle"), sedangkan beton serat bersifat liat/dak-tail ("ductile").

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian penambahan serat baja pada adukan beton, maka saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal, hendaknya permukaan benda uji dibuat serata mungkin dalam proses pence-takan.

2. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut tentang kon-sentrasi, aspek ratio serat yang lain, pengaruh bentuk serat seperti spiral untuk meningkatkan kuat lekatan, dan penempa-tan serat secara parsial.

3. Metoda penyebaran serat perlu diperhatikan sehingga tersebar merata di seluruh adukan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bambang Suhendro, 1991, PENGARUH PEMAKAIAN FIBER SECARA PARSIAL PADA BALOK BETON BERTULANG, PAU Ilmu Teknik UGM, Yogyakarta.
2. Kardiyono Tjokrodimuljo, 1992, TEKNOLOGI BETON, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, UGM, Yogyakarta.
3. Kusnadi, TEKNOLOGI BETON, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, ITB, Bandung.
4. R.Sagel, P. Kole, Gideon Kusuma, 1993, PEDOMAN Pengerjaan BETON, Erlangga, Jakarta.
5. Sudarmoko, 1991, KUAT TARIK SERAT BENDRAT, Seminar Mekanika Bahan Dalam Berbagai Macam Aspek, Yogyakarta.
6. Sudarmoko, KUAT LENTUR BETON SERAT BENDRAT DENGAN MODEL SKALA PENUH, PAU Ilmu Teknik, UGM, Yogyakarta.
7. —————, 1971, PERATURAN BETON BERTULANG INDONESIA, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 95330 Yogyakarta

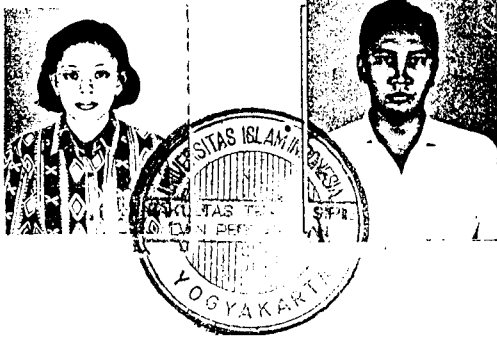
KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

No.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi
1.	TANJUNG RAHAYU R.	91310012		KONSTRUKSI
2.	M. NOOR TRIHANDOKO	91310058		KONSTRUKSI

Dosen Pembimbing I : IR. H. M. SYAMSUDIN
 Dosen Pembimbing II : IR. FAISOL AM., MS

Yogyakarta, 16 JULI 1996
 AN. Dekan.

KETUA JURUSAN TEKNIK SIPIL,



IR. BAMBANG SULISTIONO, MSCE

CATATAN - KONSULTASI

No.	Tanggal	Konsultasi ke:	KETERANGAN	Paraf
1	27/7	I	Perbaikan dan lengkapnya proposal laporan teknis pd. proposal	<u>LeL</u>
2	21/8	II	Perbaikan tugas penelitian untuk stabilisasi & rehabilitasi lapangan rumput dengan menggunakan mix design → mix design menggunakan (250)	<u>LeL</u>
J	20/9	III	Siapkan data & perbaikan dan data lengkap ke pembimbing	<u>LeL</u>
4	30/9	IV	part I : susunan part II : nama kota & kelas & kelas kondisi umum & kondisi - lengkapnya data hasil penelitian perbaikan hasil → analisis / hitung dan pembahasan	<u>LeL</u>
5	4/11	V	Perbaikan analisis menggunakan perbaikan, kesimpulan dan hasil	<u>LeL</u>

LEMBAR KONSULTASI

TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
8/96 /11	Perbaiki perubahan di kerin pula	<u>HC</u>
12/96 /11	Amankan dan sebelum hasil auditis repressi dan uji pendapat (5) - kerin pula kuno. - atkunk. perbaiki	<u>HC</u>
15/96 /11	Partisi sebelum & lengkap	<u>HC</u>
15/96 /11	Dagang ke Partisi I	<u>HC</u>
16/96 /11	- Permati, perbaiki semua konsultasi. - Lembaran: intisari, daftar notasi. - kerin pula.	<u>HC</u>
17/96 /11	————— perbaiki <u>HC</u>	<u>HC</u>

PROSENTASE BUTIRAN PASIR LEWAT AYAKAN

Ø	berat tertahan (gr)	berat tertahan (%)	berat tertahan kumulatif
4,75	0	0	0
2,36	80,6	8,06	8,06
1,18	201,3	20,13	28,19
0,60	264,2	26,42	54,61
0,30	212,3	21,23	75,84
0,15	205,4	20,54	96,38
pan	36,2	3,62	-
jml	1000	100 %	263,8

$$\text{MHB} = \frac{\text{Jumlah \% tertahan kumulatif}}{100}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB} &= \frac{263,08}{100} \\ &= 2,63 \end{aligned}$$

Regresi kuat desak beton serat lurus pada umur 7 hari

X_i	Y_i	Y_i^2	X_i^2	X_i^3	X_i^4	$X_i Y_i$	$X_i^2 Y_i$
0	20,5812	423,5857	0	0	0	0	0
0	17,1478	294,0470	0	0	0	0	0
0	27,4544	753,7440	0	0	0	0	0
0	22,6172	511,5377	0	0	0	0	0
0	21,6575	469,0473	0	0	0	0	0
0	23,0176	529,8099	0	0	0	0	0
0	15,5794	242,7177	0	0	0	0	0
0	22,3029	497,4193	0	0	0	0	0
2	22,4942	505,9890	4	8	16	44,9884	89,9768
2	23,4465	549,7383	4	8	16	46,893	93,786
2	21,6287	467,8006	4	8	16	43,2574	86,5148
2	23,393	547,2324	4	8	16	46,786	93,572
2	23,4933	551,9351	4	8	16	46,9866	93,9732
2	23,4002	547,5963	4	8	16	46,8004	93,6008
2	24,6775	608,9790	4	8	16	49,355	98,71
2	25,39	547,0921	4	8	16	50,78	101,56
3	25,8659	669,0448	9	27	81	77,5977	232,7931
3	24,2236	586,7828	9	27	81	72,6708	218,0124
3	24,0008	576,0384	9	27	81	72,0024	216,0072
3	22,9451	526,4776	9	27	81	68,8352	206,5059
3	24,6775	608,9790	9	27	81	74,0352	222,0975
3	26,9388	725,6989	9	27	81	80,8164	242,4492
3	25,272	638,6739	9	27	81	75,816	227,448
3	24,4173	596,2045	9	27	81	73,2519	219,7557
$\Sigma = 40$	$\Sigma = 556,6853$	$\Sigma = 13076,5994$	$\Sigma = 104$	$\Sigma = 208$	$\Sigma = 776$	$\Sigma = 970,8698$	$\Sigma = 2536,7626$

$$556,6853 = 24 a + 40 b + 104 c$$

$$970,8698 = 40 a + 104 b + 280 c$$

$$2536,6936 = 104 a + 280 b + 776 c$$

didapatkan : $a = 21,3012$

$$b = 0,965$$

$$c = 0,066$$

persamaan $y = 21,3012 + 0,965 x + 0,066 x^2$

$$r = \frac{n \cdot \Sigma X_i Y_i - (\Sigma X_i)(\Sigma Y_i)}{((n \cdot \Sigma X_i^2 - (\Sigma X_i)^2)(n \cdot \Sigma Y_i^2 - (\Sigma Y_i)^2))}$$

$$r = \frac{24 \cdot 970,8698 - 40 \cdot 556,6853}{((24 \cdot 104 - 40^2) \cdot (24 \cdot 13076,5994 - 556,6853^2))}$$

$$= 0,55$$

Regresi kuat desak beton serat lurus pada umur 28 hari

X_i	Y_i	Y_i^2	X_i^2	X_i^3	X_i^4	$X_i Y_i$	$X_i^2 Y_i$
0	31,6333	1000,6657	0	0	0	0	0
0	26,3304	693,29	0	0	0	0	0
0	42,2375	1784,0064	0	0	0	0	0
0	34,8112	1211,8196	0	0	0	0	0
0	33,3192	1110,1691	0	0	0	0	0
0	35,4948	1259,8808	0	0	0	0	0
0	23,9682	574,4746	0	0	0	0	0
0	34,2868	1175,5847	0	0	0	0	0
0	29,0165	841,9573	0	0	0	0	0
0	29,8549	891,3152	0	0	0	0	0
0	27,0390	731,1075	0	0	0	0	0
0	26,6192	708,5818	0	0	0	0	0
0	30,3280	919,7876	0	0	0	0	0
0	30,6109	937,0272	0	0	0	0	0
0	26,5252	703,5862	0	0	0	0	0
0	29,5182	871,3241	0	0	0	0	0
2	34,6065	1197,6098	4	8	16	69,213	138,426
2	36,0716	1301,1603	4	8	16	72,1432	144,2864
2	33,2749	1107,219	4	8	16	66,5498	133,0996
2	36,8155	1355,381	4	8	16	73,631	147,262
2	36,1436	1306,3598	4	8	16	72,2872	144,5744
2	36,0003	1296,0216	4	8	16	72,0006	144,0012
2	37,9654	1441,3716	4	8	16	73,9308	147,8616
2	39,0616	1525,8086	4	8	16	78,1232	156,2464
2	34,602	1197,2984	4	8	16	69,204	138,408
2	29,8529	891,1956	4	8	16	59,7058	119,4116
2	29,9466	896,7989	4	8	16	59,8932	119,7864
2	30,0718	904,3132	4	8	16	60,1436	120,2872
2	34,6093	1197,0836	4	8	16	69,2186	138,4372
2	29,9926	899,5561	4	8	16	59,9852	119,9704
2	33,4811	1120,9841	4	8	16	66,9622	133,9244
2	29,171	850,9472	4	8	16	58,342	116,684
3	39,7937	1583,5386	9	27	81	119,3811	358,1433
3	37,267	1388,8293	9	27	81	111,801	335,403
3	37,0608	1373,5029	9	27	81	111,1824	333,5472
3	35,3001	1246,0971	9	27	81	105,9003	317,7009
3	37,9653	1441,364	9	27	81	113,8959	341,6877
3	41,4443	1717,63	9	27	81	124,3329	372,9987
3	38,8799	1511,6466	9	27	81	116,6397	349,9191
3	37,5651	1411,1367	9	27	81	112,6953	338,0859
3	27,1801	738,7578	9	27	81	81,5403	244,6209
3	38,1733	1457,2008	9	27	81	114,5199	343,5597
3	40,8404	1667,9709	9	27	81	122,5224	367,5672
3	38,2581	1463,6822	9	27	81	114,7743	344,3229
3	36,1196	1304,6255	9	27	81	108,3588	325,0764
3	35,2635	1243,5144	9	27	81	105,7905	317,3715
3	40,8093	1665,399	9	27	81	122,4279	367,2837
3	36,7317	1349,2178	9	27	81	110,1951	330,5853
$\Sigma = 80$	$\Sigma = 1631,9126$	$\Sigma = 56468,5201$	$\Sigma = 208$	$\Sigma = 560$	$\Sigma = 1552$	$\Sigma = 2877,3012$	$\Sigma = 7550,5402$

$$1631,9126 = 48 a + 80 b + 208 c$$

$$2877,3012 = 80 a + 208 b + 560 c$$

$$7550,5402 = 280 a + 560 b + 1552 c$$

$$\text{Didapatkan : } a = 30,7865$$

$$b = 0,0899$$

$$c = 0,7066$$

$$\text{Persamaan : } y = 30,7865 + 0,0899 x + 0,0766 x^2$$

$$r = \frac{(48 \cdot 2877,3012 - 80 \cdot 1631,9126)}{((48 \cdot 208 - 80^2) \cdot (48 \cdot 56468,5201 - 1631,9126^2))}$$
$$= 0,5801$$

Regresi kuat lentur beton serat lurus umur 7 hari

X_i	Y_i	Y_i^2	X_i^2	X_i^3	X_i^4	$X_i Y_i$	$X_i^2 Y_i$
0	3,3378	11,4095	0	0	0	0	0
0	3,1332	9,8169	0	0	0	0	0
0	2,7177	7,3859	0	0	0	0	0
0	2,5911	6,7138	0	0	0	0	0
0	4,0269	16,2159	0	0	0	0	0
0	4,3641	19,0454	0	0	0	0	0
0	4,12391	17,0066	0	0	0	0	0
0	4,0119	16,0953	0	0	0	0	0
2	3,7961	15,8094	4	8	16	7,9522	15,9049
2	3,3621	11,3037	4	8	16	6,7242	13,4484
2	3,6103	13,0343	4	8	16	7,2206	14,4412
2	3,9911	15,9289	4	8	16	7,9822	15,9644
2	3,9072	15,2622	4	8	16	7,8144	15,6288
2	3,7197	13,8362	4	8	16	7,4394	14,8288
2	3,5346	12,4934	4	8	16	7,0692	14,1384
2	3,466	12,0132	4	8	16	6,932	13,864
3	3,5263	12,4348	9	27	81	10,5789	31,7361
3	3,4949	12,2143	9	27	81	10,4847	31,4541
3	4,0447	16,3596	9	27	81	12,1341	46,4023
3	4,5224	20,4521	9	27	81	13,5672	40,7016
3	4,2263	17,8616	9	27	81	12,6789	38,0367
3	3,7144	13,7968	9	27	81	11,1432	33,4296
3	4,0383	16,3079	9	27	81	12,1149	36,3447
3	4,2515	18,0753	9	27	81	12,7545	38,2635
$\Sigma = 40$	$\Sigma = 89,7325$	$\Sigma = 340,873$	$\Sigma = 104$	$\Sigma = 280$	$\Sigma = 776$	$\Sigma = 154,5906$	$\Sigma = 414,5875$

$$89,7325 = 24 a + 40 b + 104 c$$

$$154,5906 = 40 a + 104 b + 280 c$$

$$414,8577 = 104 a + 280 b + 776 c$$

Didapatkan : $a = 3,5433$

$$b = -0,0605$$

$$c = 0,0684$$

Persamaan : $y = 3,5433 - 0,0605 x + 0,0684 x^2$

$$r = \frac{(24 \cdot 154,5906 - 40 \cdot 89,7325)}{((24 \cdot 104 - 40^2) \cdot (24 \cdot 340,873 - 89,7325^2))}$$

$$= 0,3555$$

Regresi kuat lentur beton serat lurus umur 28 hari

X_i	Y_i	Y_i^2	X_i^2	X_i^3	X_i^4	$X_i Y_i$	$X_i^2 Y_i$
0	4,2099	17,7233	0	0	0	0	0
0	3,7091	13,7574	0	0	0	0	0
0	4,8281	23,3125	0	0	0	0	0
0	4,3536	18,9538	0	0	0	0	0
0	4,6104	21,2558	0	0	0	0	0
0	4,4699	19,8	0	0	0	0	0
0	4,3509	18,9303	0	0	0	0	0
0	4,6933	22,0271	0	0	0	0	0
2	4,6425	21,5528	4	8	16	9,285	18,57
2	3,9455	15,567	4	8	16	7,891	15,782
2	4,8485	23,508	4	8	16	9,697	19,394
2	4,7765	22,815	4	8	16	9,533	19,106
2	4,555	20,748	4	8	16	9,11	18,22
2	5,2854	27,9355	4	8	16	10,5708	21,1416
2	3,7561	14,1083	4	8	16	7,5122	15,0244
2	5,0871	25,8786	4	8	16	10,1742	20,3484
3	4,5483	20,6870	9	27	81	13,6449	40,9374
3	4,7146	22,2275	9	27	81	14,1438	42,4314
3	4,7039	22,1267	9	27	81	14,1117	42,3351
3	5,2303	27,356	9	27	81	15,6909	41,0727
3	4,7984	23,0246	9	27	81	14,3952	43,1856
3	4,8	23,04	9	27	81	14,4	43,2
3	4,5924	21,09	9	27	81	13,7772	41,3316
3	4,4626	19,9148	9	27	18	13,3878	40,1634
$\Sigma = 40$	$\Sigma=109,9725$	$\Sigma=507,5200$	$\Sigma = 104$	$\Sigma = 280$	$\Sigma = 776$	$\Sigma=187,3447$	$\Sigma=488,2436$

$$109,9725 = 24 a + 40 b + 104 c$$

$$187,3447 = 40 a + 104 b + 280 c$$

$$488,2436 = 104 a + 280 b + 776 c$$

Didapatkan : $a = 4,4032$

$$b = 0,0942$$

$$c = 0,0051$$

Persamaan : $y = 4,4032 + 0,0942 x + 0,0051 x^2$

$$r = \frac{(24 \cdot 187,3447 - 40 \cdot 109,9725)}{((24 \cdot 104 - 40^2) \cdot (24 \cdot 488,2436 - 109,9725))}$$

$$= 0,3497$$

Regresi kuat lentur beton serat kait umur 7 hari

X_i	Y_i	Y_i^2	X_i^2	X_i^3	X_i^4	$X_i Y_i$	$X_i^2 Y_i$
0	3,3778	11,4095	0	0	0	0	0
0	3,1332	9,8169	0	0	0	0	0
0	2,7177	7,3859	0	0	0	0	0
0	2,5911	6,7138	0	0	0	0	0
0	4,0269	16,2159	0	0	0	0	0
0	4,3641	19,0454	0	0	0	0	0
0	4,1239	17,0066	0	0	0	0	0
0	4,0119	16,0953	0	0	0	0	0
2	4,1336	17,0866	4	8	16	8,2672	16,5433
2	4,1742	17,4279	4	8	16	8,3484	16,6968
2	4,0088	16,0705	4	8	16	8,0178	16,0362
2	3,863	14,928	4	8	16	7,726	15,452
2	4,1086	16,8806	4	8	16	8,2172	16,4344
2	4,3167	18,6339	4	8	16	8,6334	17,2668
2	4,3978	19,3406	4	8	16	8,7956	17,5912
2	4,0064	16,0512	4	8	16	8,0128	16,0256
3	4,1879	17,5505	9	27	81	12,5517	37,6551
3	4,2704	18,2263	9	27	81	12,8112	38,4336
3	4,6485	21,6086	9	27	81	13,9455	41,8365
3	4,3495	18,9182	9	27	81	12,0485	39,1455
3	4,1648	17,3456	9	27	81	12,4944	37,4832
3	4,3107	18,5821	9	27	81	12,9321	38,7963
3	4,8503	23,5254	9	-27	81	14,5509	43,6527
3	4,1534	17,2507	9	27	81	12,4602	37,3806
$\Sigma = 40$	$\Sigma = 96,2612$	$\Sigma = 393,1353$	$\Sigma = 104$	$\Sigma = 280$	$\Sigma = 776$	$\Sigma = 169,8129$	$\Sigma = 446,4209$

$$96,2612 = 24 a + 40 b + 104 c$$

$$169,8129 = 40 a + 104 b + 280 c$$

$$446,4209 = 104 a + 280 b + 776 c$$

Didapatkan : $a = 3,5443$

$$b = - 0,1955$$

$$c = 0,1913$$

Persamaan : $y = 3,5443 - 0,1955 x + 0,1913 x^2$

$$r = \frac{(24 \cdot 169,8129 - 40 \cdot 96,2612)}{((24 \cdot 104 - 40^2) \cdot (24 \cdot 393,1353 - 96,2612^2))}$$

$$= 0,5783$$

Regresi kuat lentur beton serat kait umur 28 hari

X_i	Y_i	Y_i^2	X_i^2	X_i^3	X_i^4	$X_i Y_i$	$X_i^2 Y_i$
0	4,2099	17,7233	0	0	0	0	0
0	3,7091	13,7574	0	0	0	0	0
0	4,8281	23,3125	0	0	0	0	0
0	4,3536	18,9538	0	0	0	0	0
0	4,6104	21,2558	0	0	0	0	0
0	4,4699	19,8	0	0	0	0	0
0	4,3509	18,9303	0	0	0	0	0
0	4,6933	22,0271	0	0	0	0	0
2	4,6425	26,3559	4	8	16	10,2676	20,5352
2	3,9455	23,3618	4	8	16	9,6668	19,3336
2	4,8485	20,1691	4	8	16	8,982	17,964
2	4,7765	36,6679	4	8	16	12,1108	24,2216
2	4,5550	26,1857	4	8	16	10,2344	20,4688
2	5,2854	31,1397	4	8	16	11,1606	22,3212
2	3,7561	23,7178	4	8	16	11,6134	23,2268
2	5,0871	15,6613	4	8	16	10,1314	20,2628
3	4,5483	35,2848	9	27	81	17,8203	53,4609
3	4,7146	35,3525	9	27	81	17,8374	53,5122
3	4,7039	35,7843	9	27	81	17,946	53,838
3	5,2303	19,7714	9	27	81	13,3395	40,0185
3	4,7984	46,402	9	27	81	20,4357	61,3071
3	48	45,3548	9	27	81	20,2038	60,6114
3	4,5924	24,995	9	27	81	14,9985	44,9955
3	4,4626	34,7935	9	27	81	17,6958	53,0874
$\Sigma = 40$	$\Sigma = 124,0679$	$\Sigma = 656,7577$	$\Sigma = 104$	$\Sigma = 280$	$\Sigma = 776$	$\Sigma = 224,4440$	$\Sigma = 589,1650$

$$124,0679 = 24 a + 40 b + 104 c$$

$$224,4440 = 40 a + 104 b + 280 c$$

$$589,165 = 104 a + 280 b + 776 c$$

Didapatkan : $a = 4,4032$

$$b = 0,3248$$

$$c = 0,0519$$

Persamaan : $y = 4,4032 + 0,3248 x + 0,0519 x^2$

$$r = \frac{(24.224,4440 - 40.124,0679)}{((24.104 - 40^2) \cdot (24.589,1656 - 124,0679))}$$

$$= 0,7369$$