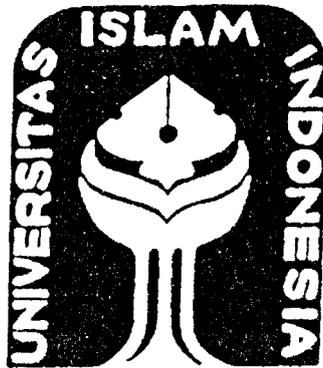


| | |
|------------------------------|---------------|
| PERPUSTAKAAN FTSP UII | |
| HADIAH/BELI | |
| TGL. TERIMA : | 9 Jan 2006 |
| NO. JUDUL : | 001089 |
| NO. INV. : | 9200001889001 |
| NO. INDIK. : | |

**TUGAS AKHIR
PENGARUH BUBUK GELAS SEBAGAI
SUBSTITUSI TERHADAP KUAT
KARAKTERISTIK BETON**



الجامعة الإسلامية
الاندونيسية

MILIK PERPUSTAKAAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN UII YOGYAKARTA

Disusun Oleh :

| | |
|------------------|----------|
| OSIYENDI | 00511288 |
| YUYUN SRIMULYANI | 00511304 |

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2005**



ABSTRAKSI

Pecahan gelas merupakan salah satu limbah industri rumah tangga yang pemanfaatannya kurang optimal karena selama ini hanya didaur ulang kembali menjadi berbagai produk kaca. Padahal jika pecahan gelas tersebut diubah menjadi tepung maka dapat berfungsi sebagai "pozollan" atau "filler" sehingga dengan menambahkannya kedalam adukan beton, diperkirakan bahwa bahan tersebut dapat meningkatkan kuat desak dan kuat lentur beton. Disini penelitian ini menggunakan gelas sebagai bahan tambah karena bahan ini merupakan bahan yang mudah didapat karena hampir seluruh keluarga di seluruh dunia memilikinya. Usaha substitusi limbah gelas dilakukan agar diketahui pengaruh substitusi konsentrasi 15 %, 17.5 %, 20 %, 22.5 % dan 25 % dari berat semen terhadap kuat desak, kuat tarik, kuat lentur dan modulus elastisitas yang memberikan kondisi terbaik pada beton. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa dengan substitusi limbah gelas 17.5 % dari berat semen mengakibatkan kenaikan kuat desak silinder beton (f'_c) sebesar 22.454 Mpa, kuat tarik mengalami penurunan sebesar 2.895 Mpa, kuat lentur mengalami penurunan sebesar 2578,764 kg/cm^2 , dan modulus elastisitas mengalami kenaikan sebesar 366727,273 kg/cm^2 .

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL | |
| HALAMAN PENGESAHAN | |
| KATA PENGANTAR..... | iii |
| DAFTAR ISI..... | v |
| DAFTAR GAMBAR..... | xiii |
| DAFTAR TABEL..... | ix |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | x |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Permasalahan..... | 3 |
| 1.3 Rumusan Masalah..... | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 4 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 4 |
| 1.6 Batasan Masalah..... | 4 |
| | |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1 Tinjauan Pustaka..... | 6 |
| 2.1.1 A Widodo Dan Bobby Satriohadi (2001) | 7 |
| 2.1.2 Nurokhman (2002)..... | 8 |

| | |
|---|----|
| 2.1.3 E Yosefto & Alamanda Deva (2002)..... | 9 |
| 2.2 Tinjauan Limbah Gelas Sebagai Filler..... | 9 |
| | |
| BAB III LANDASAN TEORI | |
| 3.1 Umum..... | 17 |
| 3.2 Komposisi Beton..... | 17 |
| 3.3 Kuat Tekan Beton..... | 21 |
| 3.4 Kuat Tarik Beton..... | 23 |
| 3.5 Kuat Lentur Beton..... | 24 |
| 3.6 Modulus Elastisitas..... | 26 |
| | |
| BAB IV METODE PENELITIAN | |
| 4.1 Bahan Penelitian..... | 28 |
| 4.2 Peralatan Penelitian..... | 29 |
| 4.3 Pelaksanaan Penelitian..... | 31 |
| | |
| BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN | |
| 5.1 Bahan Penyusun Beton..... | 42 |
| 5.1.1 Gradasi Agregat..... | 42 |
| 5.1.2 Berat Jenis Agregat..... | 43 |
| 5.1.3 Berat Jenis Limbah Gelas..... | 43 |
| 5.2 Workabilitas..... | 43 |
| 5.3 Berat Jenis Beton..... | 44 |

| | |
|--|-----------|
| 5.4 Hasil Penelitian..... | 46 |
| 5.4.1 Hasil Uji Kuat Desak Beton..... | 46 |
| 5.4.2 Hasil Uji Kuat Tarik Beton..... | 49 |
| 5.4.3 Hasil Uji Kuat Lentur Beton..... | 52 |
| 5.4.4 Hasil Uji Modulus Elastisitas..... | 53 |
| | |
| BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN | |
| 6.1 Kesimpulan..... | 57 |
| 6.2 Saran..... | 58 |
| | |
| DAFTAR PUSTAKA | 59 |
| LAMPIRAN | 60 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Skema Pasta Semen | 14 |
| Gambar 2.2 | Skema Hidrasi Semen | 15 |
| Gambar 2.3 | Hubungan Kuat Desak Dan Porositas..... | 16 |
| Gambar 3.1 | Balok Dalam Keadaan Lentur Murni..... | 25 |
| Gambar 4.1 | Pengujian Lentur Prisma Beton..... | 39 |
| Gambar 5.1 | Hubungan Berat Jenis Beton Dengan Variasi Filler (Uji Desak) | 44 |
| Gambar 5.2 | Hubungan Berat Jenis Beton Dengan Variasi Filler (Uji Tarik) | 45 |
| Gambar 5.3 | Hubungan Variasi Filler Dengan Kuat Desak | 47 |
| Gambar 5.4 | Hubungan Variasi Filler Dengan Kuat Tarik..... | 49 |
| Gambar 5.5 | Hubungan Prosentase Kuat Tarik Terhadap | 51 |
| | Kuat Desak Untuk Berbagai Variasi | |
| Gambar 5.6 | Hubungan Kuat Lentur Dengan Variasi Filler..... | 52 |
| Gambar 5.7 | Hubungan Variasi Filler Dengan Modulus Elastisitas..... | 55 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabel 2.1 | Klasifikasi gelas berdasarkan penggunaannya | 11 |
| Tabel 2.2 | Komposisi kimia dari gelas wadah | 12 |
| Tabel 4.1 | Komposisi bahan satu kali adukan (18 silinder) | 35 |
| Tabel 4.2 | Komposisi bahan satu kali adukan (3 balok) | 35 |
| Tabel 5.1 | Berat jenis beton rerata untuk uji desak | 44 |
| Tabel 5.2 | Berat jenis beton rerata untuk uji tarik..... | 45 |
| Tabel 5.3 | Perubahan kuat desak beton filler terhadap beton normal | 46 |
| Tabel 5.4 | Perubahan kuat tarik beton filler terhadap beton normal | 49 |
| Tabel 5.5 | Prosentase kuat tarik terhadap kuat desak beton untuk | 50 |
| | berbagai variasi filler | |
| Tabel 5.6 | Prosentase perubahan kuat lentur beton filler | 52 |
| | terhadap beton normalnya | |
| Tabel 5.7 | Hasil pengujian modulus elastisitas beton dengan | 55 |
| | filler | |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|----|
| Lampiran 1 : Pemeriksaan Agregat..... | 61 |
| Lampiran 2 : Perhitungan Campuran Beton | 62 |
| Lampiran 3 : Perhitungan kebutuhan limbah gelas dan cara penghalusan..... | 63 |
| Lampiran 4 : Pengujian kuat desak | 64 |
| Lampiran 5 : Pengujian kuat tarik..... | 65 |
| Lampiran 6 : Pengujian kuat lentur..... | 66 |
| Lampiran 7 : Pengujian modulus elastisitas..... | 67 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Beton merupakan salah satu bahan struktur bangunan yang banyak dipakai dibanding bahan-bahan yang lain seperti kayu dan baja. Beton sangat populer karena beberapa kelebihanannya antara lain : bahan susun tersedia cukup banyak, kuat tekan tinggi, tahan kebakaran atau keausan, tahan cuaca, harga relatif murah, mudah diangkut dan dibentuk, serta dapat direncanakan kualitasnya sesuai dengan kebutuhan.

Adapun pada saat ini produksi dan harga semen semakin langka dan mahal. Sejalan dengan makin banyaknya kebutuhan semen guna pembangunan di tanah air ini, konsep dan pemikiran bermunculan tentang kemudahan pelaksanaan pengecoran di lapangan dan perolehan hasil yang optimal. Oleh karena itu penelitian-penelitian secara bertahap beton terus dilakukan agar diperoleh mutu beton sesuai dengan yang diharapkan. Penelitian-penelitian tersebut mencakup cara pemilihan bahan yang lebih baik dan komposisi campuran tertentu, sehingga didapatkan mutu standar yang seragam. Perlu dipilih bahan-bahan yang sesuai, dicampur dan digunakan sedemikian rupa untuk menghasilkan beton dengan

kekuatan tertentu untuk tujuan yang diinginkan dengan biaya yang seekonomis mungkin.

Bahan-bahan *additive* atau *admixture* umumnya terdiri dari senyawa-senyawa kimia. Dan apabila dicampur kedalam adukan beton akan menghasilkan kuat tekan yang semakin tinggi. Hal ini disebabkan oleh adanya reaksi kimia antara bahan tambahan tersebut dengan campuran beton. Pemakaian bahan tambahan yang bersifat kimiawi dapat berfungsi mempercepat pengerasan, memperlambat pengerasan (*retarder*) atau mereduksi air (*plasticizer*).

Alternatif lain yang menjadi sorotan adalah adanya bahan tambah dari pecahan limbah gelas baik dalam limbah gelas wadah maupun limbah gelas lembaran (rata) yang diharapkan dapat menjadi salah satu konsep yang mampu meningkatkan kekuatan tekan beton dengan waktu pengikatan yang relatif normal. Agregat dari pecahan limbah gelas tersebut adalah bukan barang yang asing bagi masyarakat, karena kumpulan pecahan ini banyak dijumpai pada tempat-tempat sampah dan menjadi nafkah yang baik bagi para pemulung.

Pecahan limbah gelas (wadah/lembaran) yang sering dijumpai seperti kaca jendela, cermin, limbah gelas-gelas minum, mangkuk, piring, botol, dan perabot lain dari limbah gelas yang berfungsi sebagai peralatan rumah tangga memiliki nilai ekonomis yang relatif rendah. Bahan tambahan ini diharapkan dapat berfungsi menjaga kestabilan kerapatan adukan beton selama pengecoran berlangsung dan menambah kuat tekan beton setelah proses pengerasan.

1.2 PERMASALAHAN

Di latar belakang oleh masalah tersebut, dicoba untuk melengkapi penelitian terdahulu yaitu dengan melakukan penelitian untuk pengujian kuat tarik dan modulus elastisitasnya. Sebagaimana diketahui bahwa selain mempunyai berbagai macam keuntungan, beton juga mempunyai kelemahan, yaitu kuat tariknya rendah. Pada struktur yang menderita tarik, beton bagian tarik akan segera retak jauh sebelum tulangan baja mendukung tarik secara optimal, sehingga akan terjadi retak-retak rambut yang bisa membahayakan bangunan. Untuk mencegah terjadinya retakan-retakan beton terlalu dini, dapat dilakukan dengan cara memberi bahan tambah seperti serat atau filler yang disebarkan secara merata ke dalam adukan beton. Diharapkan dengan menambahkan filler limbah gelas dapat meningkatkan kuat tarik beton.

1.3 RUMUSAN MASALAH

Dalam penelitian ini, limbah gelas dipakai sebagai pengganti sebagian dari berat semen. Berdasarkan pada latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka dapat diambil rumusan masalah yaitu

1. Pengaruh besarnya substitusi prosentase variasi terhadap kuat desak, kuat tarik, kuat lentur dan modulus elastisitas
2. Mencari prosentase perbandingan campuran limbah gelas terhadap berat semen yang menghasilkan kuat desak, kuat tarik, kuat lentur, modulus elastisitas secara optimum

1.4 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk membuat beton alternatif dengan memanfaatkan limbah gelas sebagai bahan campuran dan untuk mencari nilai optimal dari konsentrasi substitusi filler limbah gelas.

1.5 MANFAAT PENELITIAN

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah

1. Memberikan informasi tentang jumlah prosentase limbah gelas terhadap peningkatan kuat desak, kuat tarik, kuat lentur, dan modulus elastisitas beton yang masih memenuhi syarat untuk dipakai sebagai bahan campuran beton
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu teknologi beton dan jasa konstruksi

1.6 BATASAN MASALAH

Untuk membatasi permasalahan agar penelitian dapat sesuai tujuan, maka digunakan anggapan dan batasan masalah sebagai berikut :

1. Penelitian eksperimental dengan maksud mencari kuat desak, kuat tarik kuat lentur balok, dan modulus elastisitas
2. Ditentukan mutu beton yang diencanakan adalah $f_c = 22,5$ Mpa
3. Semen yang digunakan adalah Semen Nusantara
4. Agregat kasar menggunakan kerikil asal kali Clereng Yogyakarta dengan diameter butiran maksimal sebesar 20 mm
5. Agregat halus menggunakan pasir dari Merapi

6. Butiran serat limbah gelas yang digunakan yaitu piring, gelas, mangkuk yang bening dan dihaluskan seperti pasir dengan prosentase substitusi sebesar 15 %, 17.5 %, 20 %, 22.5 %, 25 % terhadap berat semen
7. Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, FTSP, Universitas Islam Indonesia
8. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan ukuran 10 x 20 cm dan berbentuk balok dengan ukuran 40 x 10 x10 cm
9. Benda uji kuat tekan beton normal 13 buah, untuk benda uji tarik 3 buah, untuk benda uji kuat lentur normal 3 buah dan untuk modulus elastisitas normal 2 buah
10. Benda uji kuat tekan beton serat setiap variasi adalah 13 buah maka jumlah benda uji 65 buah
11. Benda uji kuat tarik beton serat setiap variasi adalah 3 buah, maka jumlah benda uji 15 buah
12. Benda uji kuat lentur beton serat setiap variasi adalah 3 buah, maka jumlah benda uji 15 buah
13. Benda uji modulus elastisitas setiap variasi 2 buah, maka jumlah benda uji 10 buah
14. Pemeriksaan kekuatan beton dilakukan pada umur beton 28 hari
15. Rencana campuran benda uji menggunakan metode DOE (Department of Environment)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Bahan campuran tambahan (*Admixture*) adalah bahan yang bukan air, agregat maupun semen, yang ditambahkan kedalam campuran beton sesaat maupun selama pencampuran. Fungsi bahan campuran tambahan tersebut adalah untuk mengubah sifat-sifat beton agar menjadi cocok untuk pekerjaan tertentu, atau ekonomis atau untuk tujuan lain seperti menghemat energi (E.G Nawy 1998).

Bahan tambahan seharusnya berguna kalau sudah ada evaluasi yang teliti tentang pengaruhnya pada beton. Khususnya dalam kondisi dimana beton diharapkan akan digunakan dalam hal-hal yang meragukan terutama untuk pekerjaan-pekerjaan khusus, perlu diadakan pemeriksaan pada contoh-contoh yang mewakili agar diperoleh informasi yang dapat dipercaya.

Bahan tambah biasanya diberikan dalam jumlah yang relatif sedikit dan pengawasan yang ketat harus diberikan agar tidak berlebihan yang justru akan dapat memperburuk sifat beton. Sifat-sifat yang diperbaiki itu antara lain percepatan hidrasi atau waktu ikat kemudahan pekerjaan dan kedekatan udara atau porositas (Tjokrodimulyo 1992).

Kuat desak beton dipengaruhi oleh porositas yang terdiri dari pori gel, pori kapiler, dan pori udara. Sehingga semakin besar porositas semakin kecil kuat desak beton yang terjadi (Popovic 1998).

Salah satu bahan tambah untuk beton adalah serat atau juga disebut beton serat. Serat dapat berupa asbestos, gelas, plastic, baja, atau serat tumbuh-tumbuhan. Dengan adanya serat, ternyata beton menjadi tahan retak dan tahan benturan. Tetapi penggunaan serat tidak banyak menambah kuat tekan beton hanya menambah daktilitasnya (Tjokrodimulyo 1992).

Pada peneliti terdahulu telah melakukan percobaan untuk memperbaiki sifat-sifat yang kurang baik pada beton dengan cara penambahan berbagai macam bahan tambah yang bersifat kimiawi dan non kimiawi.

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh bahan tambah pada kekuatan beton dicoba berbagai macam variasi penambahan bahan tambah pada campuran betonnya.

Berikut beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, antara lain :

2.1.1 A Widodo dan Bobby Satriohadi (2001)

Penelitian yang dilakukan oleh A Widodo dan Bobby S bertujuan untuk mengetahui kuat desak dan kuat lentur beton dengan memanfaatkan tepung kaca sebagai bahan campuran. Pada penelitian ini menggunakan 4 variasi yang berbeda dengan prosentase penambahan tepung kaca yaitu 2.5 %, 5 %, 7.5 % dan 10 %. Digunakan tulangan polos dengan perincian Ø12 mm untuk tulangan tarik. Ø8

mm untuk tulangan baja desak sedangkan untuk tulangan sengkang dipakai O6 mm.

Dari hasil pengujian didapat bahwa penambahan tepung kaca dengan prosentase 10 % dari berat semen pada adukan beton mampu meningkatkan kekuatan balok beton bertulang sebesar 38,8 % dan meningkatkan kekakuan balok beton bertulang sebesar 17,96 %. Dan penambahan tepung kaca dengan prosentase 10 % juga dapat meningkatkan mutu semen Portland dari jenis I menjadi jenis II.

2.1.2 Nurokhman (2002)

Penelitian yang dilakukan Nurokhman membahas tentang kenaikan kuat tekan dan kuat lentur beton yang disebabkan oleh pengaruh penambahan serat limbah gelas seiring dengan kenaikan prosentase penambahan seratnya. Dalam penelitian ini menggunakan 4 variasi benda uji, tiap variasi mempunyai prosentase penambahan serat yang berbeda yaitu 0 %, 5 %, 10 %, 15 %.

Pada penelitian ini, pengujian dilakukan pada umur beton 28 hari. Dan hasil yang didapat dari penelitian ini adalah bahwa kuat tekan tertinggi pada serat limbah gelas 15 % yaitu sebesar 26,5 Mpa atau meningkat 39,8 % terhadap beton normal, dan kuat lentur tertinggi pada penambahan serat 15 % yaitu 5,949 Mpa atau meningkat 105,9 % terhadap beton normal. Dan dari hasil penelitian tersebut belum memperoleh nilai yang optimum sehingga perlu dilakukan penelitian yang lebih lanjut dengan variasi prosentase penambahan filler lebih besar dari sebelumnya.

2.1.3 E. Yosefto & P. Alamanda Deva (2002)

Penelitian yang dilakukan E. Yosefto & P. A Deva bertujuan untuk mengetahui kuat desak dan kuat tarik beton dengan menggunakan filler marmer dan tanpa filler marmer, dengan variasi prosentase penambahan 0.5 %, 1 %, 1.5 %, dan 2 % dari berat beton. Dari hasil pengujian didapat bahwa kenaikan kuat desak beton yang paling optimum diperoleh pada prosentase 1.5 % dan untuk kenaikan kuat tarik yang paling baik yaitu pada penambahan serat dengan prosentase 0.5 % dari berat beton. Tetapi pada beton dengan menggunakan filler marmer lebih dari 0,5 % pada beton, terjadi penurunan kuat tarik.

2.2 Tinjauan Limbah Gelas Sebagai Filler

Gelas adalah bahan yang keras, rapuh, dan biasanya transparan. Kekuatan tekan yang baik dan sifat tahan listrik yang tinggi serta sifat tahan terhadap semua asam kecuali asam florida. Gelas adalah zat padat amorf yang terbentuk sewaktu transformasi dari cair menjadi kristal. Bahan cair dalam gelas terjadi jika tanah kersik berbentuk pasir kwarsa dan batu api ditumbuk atau pasir yang dilebur bersama-sama dengan zat kimia (soda, potas, kapur, magnesium). Titik transisi termodinamika yang disebut transisi gelas memisahkan gelas cair dingin. (Saito S 1999).

Silika merupakan konstituen pembentuk gelas yang paling banyak digunakan. Hampir semua bahan gelas yang berada dipasaran terbuat dari tiga komponen, yaitu 1. pembentuk gelas, 2. Senyawa antara (intermediates) dan 3. Modifier

Senyawa antara yang kadang-kadang ditambahkan dalam perbandingan yang cukup tinggi, dapat mengkaitkan diri dengan jaringan struktur dasar gelas, hingga dapat mempertahankan kontinuitas struktural. Yang termasuk senyawa antara meliputi oksida seperti Al_2O_3 , ZrO_2 , Sb_2O_3 , TiO_2 , PbO dan ZnO .

Tujuan dari penambahan modifier kedalam gelas adalah untuk merubah (memodifikasi) sifat-sifat gelas sesuai dengan yang diinginkan. Oksida-oksida Ca, Ba, Mg, Li, Na, dan K digunakan sebagai modifier. Tambahan lain adalah flux yang dapat menurunkan temperature pelelehan (peleburan) gelas, dan stabilisator yang merangsang penggelasan (vitrification).

Menurut Saito S (1999), gelas dapat diklasifikasikan menurut komposisi kimia sebagai berikut :

a. Gelas lembaran

Merupakan gelas kapur soda dengan komponen utamanya adalah SiO_2 , Na_2O dan CaO serta Al_2O_3 , MgO , dan SO_3 sebagai subkomponen. Komposisi gelas lembaran seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 agak berbeda tergantung cara produksinya. Hal ini disebabkan oleh perbedaan viskositas yang diperlukan untuk berbagai proses pencetakan.

b. Gelas wadah

Merupakan gelas kapur soda dan gelas timbale dengan komponen utamanya hampir sama dengan gelas lembaran yaitu SiO_2 , Na_2O , dan CaO , contohnya peralatan makan. Yang pertama dipakai untuk piring dan mangkuk yang dibuat dengan mesin pres, dan untuk produksi masa dibuat oleh mesin otomatis cetak, sedangkan yang kedua dipakai untuk peralatan

Tabel 2.1 Klasifikasi Gelas Berdasarkan Penggunaannya
 (Sumber : Pengetahuan Bahan Teknik, Surdia T & Saito S, 1999)

| Macam | Nama | Penggunaan |
|--|---|--|
| Gelas rata : Gelas rata umum Gelas rata khusus Gelas rata berbentuk | Gelas rata biasa, gelas rata berukir, gelas lebar Gelas kawat, gelas penyerap panas Gelas beralur, gelas kerut berkawat | Kaca jendela, cermin |
| Gelas Wadah : Gelas peralatan makan | Botol bermulut besar, botol bermulut sempit Gelas, gelas bergagang, piring, mangkuk | Berbagai wadah |
| Gelas Optik : | Gelas mahkota (crown), gelas batu api (flint), gelas barium, gelas lantan, gelas fosfat, gelas yang mengandung fluor | Berbagai instrumen optik |
| Gelas Fisiokimia : Gelas umum Gelas kedokteran untuk termometer | Gelas kuarsa, gelas borosilikat, gelas silikat tinggi, gelas ampul, gelas botol obat | Untuk penggunaan fisiko kimia dan kedokteran |
| Gelas Listrik : Gelas penerangan Gelas tabung elektronik | Gelas penerangan, gelas lampu fluoresensi, gelas lampu busur merkuri, lampu uap natrium Gelas untuk tabung sinar katoda, tabung pemancar, tabung sinar-X dan tabung khusus Gelas mikaleks, gelas isolator gelas | Peralatan listrik |
| Gelas alat listrik berat Gelas Pengkapsul : Serat Gelas | Gelas monofilamen, gelas filamen panjang, gelas untuk komunikasi foto | Berbagai pengkapsulan Isolator, komunikasi foto |

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Dari Gelas Wadah
 (Sumber : Pengetahuan Bahan Teknik, Surdia T & Saito S, 1999)

| Jenis | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MgO | CaO | Na ₂ O | Na ₂ O | K ₂ O | SO ₄ | BaO | F ₂ | B ₂ O ₃ | PbO |
|----------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----|------|-------------------|-------------------|------------------|-----------------|------|----------------|-------------------------------|------|
| Gelas presan | 74.67 | 0.38 | 0.04 | - | 5.14 | 19.14 | 19.14 | 0.41 | - | - | - | - | - |
| | 75.13 | 0.41 | 0.04 | - | 5.68 | 16.41 | 16.41 | 1.11 | - | 1.11 | - | - | - |
| Gelas kristal timbal | 67.2 | - | - | - | - | 9.5 | 9.5 | 7.1 | - | - | - | - | 14.8 |
| | 51.1 | 0.5 | - | - | - | 1.7 | 1.7 | 7.6 | - | - | - | - | 38.3 |

dibentuk dengan peniupan tangan dan untuk berbagai benda kerajinan. Tabel 2.2 menunjukkan komponen kimia utama dari produk tersebut diatas.

c. Gelas Optik

Merupakan gelas yang memiliki unsur kimia lebih khusus dengan jenis mencapai lebih dari 200 macam.

d. Gelas fisiokimia dan gelas kedokteran

Merupakan gelas yang dipergunakan dalam bidang fisiokimia dan bidang kedokteran, yang harus memiliki ketahanan kimia yang tinggi, tahan panas, dan tahan termal yang baik. Bahan yang mempunyai sifat tersebut adalah gelas kuarsa, gelas silikat tinggi, gelas borosilikat, dan gelas aluminosilikat.

e. Gelas listrik

Merupakan gelas yang utamanya untuk penerangan yaitu untuk bola lampu dan gelas timbale yang berkadar 20 – 30 % PbO dipakai untuk komponen bagian dalam.

Dari pengklasifikasian gelas tersebut, diambil kesimpulan bahwa gelas wadah sebagai bahan tambahan dalam campuran adukan beton dengan alasan dalam komposisi kimianya lebih seragam dan mudah didapat dilingkungan sekitar.

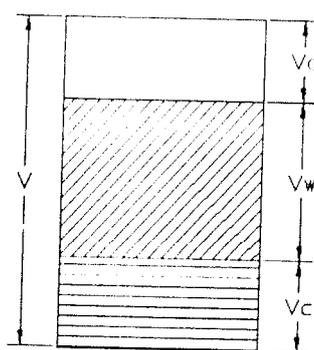
Gelas mempunyai sifat khas yaitu gelas pada temperature kamar. Kekuatan lentur gelas kuarsa yang diperkirakan tanpa retakan berkisar 570

kg/mm². Selain itu gelas memiliki sifat-sifat antara lain kerapatan besar, pada temperatur biasa kekasaran besar, tidak larut dalam air dan sangat tahan terhadap asam, gas, dan uap, penghantar kalor yang jelek, dan gelas dapat mempertahankan kejernihan, warna, kilapan dan sifatnya keras dalam jangka waktu yang sangat panjang. Sutikno S 1995 (dalam Nurokhman 2002).

Usaha pemanfaatan limbah gelas yang dapat dilakukan adalah dengan mengolahnya menjadi tepung gelas. Cara pembuatan tepung gelas adalah dengan melewatkan gelas-gelas bekas diantara dua buah roda gilingan besi (*grinding machine*) atau menumbuknya secara manual hingga benar-benar hancur.

Untuk mendapatkan keseragaman butiran yang dihasilkan, maka pada tepung gelas tersebut dilanjutkan dengan proses sortasi yang dilakukan dengan cara melewatkannya pada ayakan goyang, dan diameter lobang-lobang ayakan goyang ini diatur sesuai dengan ukuran yang diinginkan.

Menurut Popovic (1998) (didalam A Widodo 2001), porositas terbentuk pada saat hidrasi semen berlangsung. Komposisi volume udara, air dan semen pada saat hidrasi semen dapat digambarkan seperti tampak pada Gambar 2.1

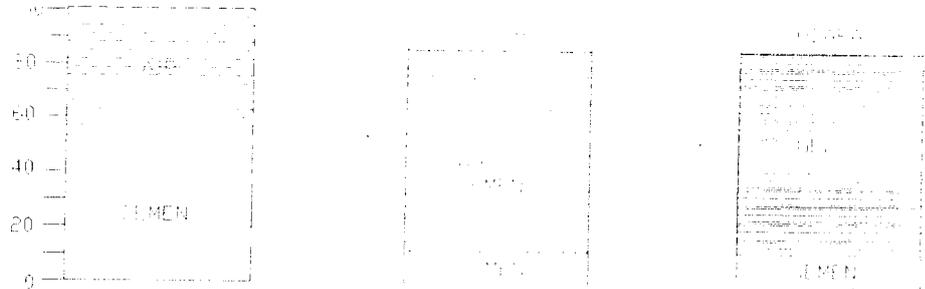


Gambar 2.1 Skema Pasta Semen

Dari gambar 2.1 hubungan antara volume pasta semen (V), volume udara (V_a), volume air (V_w), dan volume semen (V_c) dapat didekati dengan persamaan :

$$V = V_a + V_w + V_c \quad \dots(2.1)$$

Proses pembentukan porositas pada saat hidrasi semen dapat digambarkan seperti tampak pada Gambar 2.2

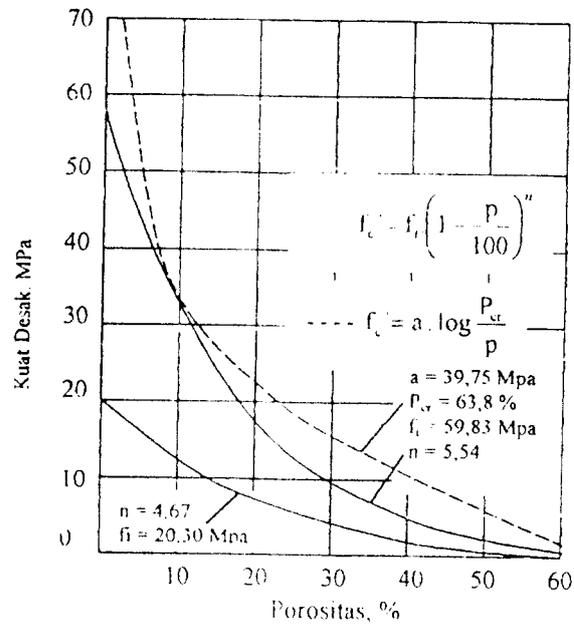


Gambar 2.2 Skema Hidrasi Semen

Dari Gambar 2.2 pada saat hidrasi semen berlangsung, proses pencampuran antara air dan semen menghasilkan gel yang diikuti dengan naiknya air semen ke permukaan (*bleeding*) melalui pori kapiler. Jumlah pori kapiler yang terbentuk dalam hidrasi semen dihitung dengan persen yang didekati dengan persamaan :

$$P = \frac{V_w + V_a + V_p - V_g}{V} \quad \dots(2.2)$$

Porositas merupakan fungsi dari kuat desak beton, hubungan dua parameter tersebut dapat digambarkan dalam bentuk kurva seperti tampak pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Hubungan Kuat Desak Dan Porositas

didekati dengan persamaan :

$$f'_c = f_i \left(1 - \frac{p}{100}\right)^n \quad \dots(2.3)$$

Dan

$$f'_c = a \log \frac{P_{cr}}{p} \quad \dots(2.4)$$

Dari persamaan (2.3) dan (2.4) tampak bahwa semakin besar porositas (p), kuat desak beton (f'_c) makin berkurang. Oleh karena itu untuk menempuh kualitas beton yang baik, pori pada beton harus dikurangi dengan memberikan bahan pengisi (*filler*) yang berukuran sangat kecil.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 UMUM

Karakteristik dari beton harus dipertimbangkan dalam hubungan dengan kualitas yang dituntut untuk suatu tujuan konstruksi tertentu. Pendekatan praktis yang paling baik untuk mengusahakan kesempurnaan semua sifat beton akan berarti pemborosan bilamana dipandang dari segi ekonomi. Yang paling diharapkan dari segi konstruksi adalah dapat memenuhi harapan maksimal, dengan tetap mengikuti variasi sifat-sifat beton sehingga kekuatan harus semaksimal mungkin.

Kekuatan beton terletak pada daerah tekannya dimana beton dapat menahan tegangan tekan yang besar atau dikatakan beton mempunyai kualitas tinggi. Kuat tekan yang tinggi dari beton tidak diimbangi dengan kuat tariknya. Beton mempunyai kuat tarik yang rendah dari kuat tekannya.

3.2 KOMPOSISI BETON

Menurut Tjokrodimulyo 1992, beton diperoleh dengan cara mencampurkan semen Portland, air dan agregat (dan kadang-kadang ditambah

dengan bahan-bahan tambah yang bervariasi mulai dari bahan kimia, serat sampai bahan buangan non kimia) pada perbandingan tertentu. Pengerasan beton terjadi oleh peristiwa kimia antara air dan semen, hal ini berjalan selama waktu yang panjang dan akibatnya campuran itu selalu bertambah keras setara dengan umurnya.

Beton yang sudah keras dapat dianggap sebagai batu tiruan dengan rongga antara butiran yang besar (agregat kasar, kerikil atau batu pecah) diisi dengan butiran yang lebih kecil (agregat halus, pasir, dan pori-pori antara agregat halus ini diisi oleh semen dan air (pasta semen). Pasta semen selain mengisi pori-pori diantara butiran-butiran agregat halus juga bersifat sebagai perekat/pengikat dalam proses pengerasan, sehingga butiran-butiran agregat saling terekat dan terbentuklah suatu masa yang kompak/padat.

1. Semen Portland

Semen Portland ialah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (PUBI-1982).

Menurut SII 0031-81 (dalam Tjokrodimulyo, 1996), semen Portland dibagi menjadi 5 jenis sebagai berikut :

Jenis I : Semen untuk penggunaan umum tidak memerlukan persyaratan khusus

Jenis II : Semen untuk beton tahan sulfat dan mempunyai hidrasi sedang

Jenis III : Semen untuk beton dengan kekuatan awal tinggi (cepat mengeras)

Jenis IV : Semen untuk beton yang memerlukan panas hidrasi rendah

Jenis V : Semen untuk beton yang tahan terhadap sulfat

Jenis-jenis semen tersebut mempunyai laju kenaikan kekuatan yang berbeda. Fungsi semen adalah untuk merekatkan butiran-butiran agregat agar terjadi suatu masa yang kompak/padat, walaupun semen hanya kira-kira mengisi 10 % - 30 % dari volume beton (Tjokrodimulyo, 1996).

Kandungan silikat dan aluminat pada semen merupakan unsur utama pembentuk semen yang mana apabila bereaksi dengan air akan menjadi media perekat. Media perekat ini kemudian akan memadat dan membentuk massa yang keras. Proses hidrasi terjadi bila semen bersentuhan dengan air. Proses ini berlangsung dua arah yakni keluar dan kedalam, maksudnya hasil hidrasi mengendap dibagian luar dan inti semen yang belum terhidrasi dibagian dalam secara bertahap terhidrasi (Tjokrodimulyo, 1996).

Jumlah kandungan semen berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Jika terjadi faktor air semen sama (nilai slump berbeda) beton dengan jumlah kandungan semen tertentu mempunyai kuat tekan tertinggi. Pada jumlah semen terlalu sedikit berarti jumlah air juga sedikit sehingga adukan beton sulit dipadatkan sehingga kuat tekan beton rendah. Namun jika jumlah semen berlebihan berarti jumlah air juga berlebihan sehingga beton mengandung banyak pori dan akibatnya kuat tekan beton rendah.

Jika nilai slump sama (nilai faktor air semen berubah), beton dengan kandungan semen lebih banyak mempunyai kuat tekan lebih tinggi. Hal ini karena pada nilai slump sama jumlah air hampir sama sehingga penambahan semen berarti pengurangan nilai faktor air semen yang berakibat penambahan kuat tekan beton.

2. Air

Tujuan utama dari penggunaan air adalah agar terjadi proses hidrasi yakni reaksi kimia antara semen dan air yang menyebabkan campuran ini menjadi keras setelah melewati beberapa waktu tertentu.

Pemakaian air untuk beton sebaiknya memenuhi syarat air sebagai berikut:
(Tjokrodimulyo, 1996)

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

3. Agregat

Agregat adalah butiran alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat kira-kira mempunyai sebanyak 70 % volume mortar atau beton. Walaupun hanya sebagai bahan pengisi, akan tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar/betonna, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar atau beton (Tjokrodimulyo, 1996)

Cara membedakan jenis agregat yang paling banyak dilakukan adalah didasarkan pada ukuran butiran-butirannya. Agregat halus adalah pasir alami sebagai hasil disintegrasi alami dari batu atau pasir yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir sebesar 5 mm, agregat kasar adalah

kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu antara 5 mm sampai 40 mm.

Agregat sebagai bahan konstruksi sebaiknya dipilih yang memenuhi persyaratan sebagai berikut : (PUBI, 1982)

- a. Berbutir tajam, kuat dan bersudut
- b. Bersih tidak mengandung tanah atau kotoran lain
- c. Harus tidak mengandung garam yang menghisap air dari udara
- d. Tidak mengandung zat-zat organis
- e. Bergradasi baik
- f. Bersifat kekal tidak hancur atau berubah karena cuaca

Besar ukuran maksimum agregat mempengaruhi kuat tekan betonnya. Pada pemakaian ukuran butir agregat maksimum lebih besar memerlukan jumlah pasta lebih sedikit untuk mengisi rongga-rongga antar butirnya, berarti sedikit pula pori-pori betonnya (karena pori-pori beton sebagian besar berada dalam pasta tidak dalam agregat) sehingga kuat tekannya lebih tinggi. Namun sebaliknya, karena butir-butir agregatnya besar maka luas permukaannya menjadi lebih sempit sehingga lekatan antara permukaan agregat dan pastanya kurang kuat. Lagipula karena butirannya besar menyebabkan sangat menghalangi susutan pastanya, sehingga retakan-retakan kecil pada pasta disekitar agregat lebih mudah terjadi.

3.3 KUAT TEKAN BETON

Sebagaimana telah kita ketahui bahwa beton memiliki kemampuan menahan tekan yang relatif besar, dan selama ini keruntuhan atau kegagalan beton

sebagian besar disebabkan oleh rusaknya ikatan pasta semen dan agregat. Besarnya kuat beton dipengaruhi kekasaran dan bentuk batuan.

Menurut Tjokrodimulyo 1996, kekuatan tekan adalah nilai tekan maksimum yang dapat dipikul persatuan luas. Kuat tekan biasanya berhubungan dengan sifat-sifat lain, artinya bila kuat tekannya tinggi/ baik maka sifat-sifat lainnya juga baik. Kekuatan tekan beton yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tertentu, dihitung dengan rumus :

$$f_c = \frac{P}{A} \quad \dots(3.1)$$

dimana : f_c = Kuat tekan beton yang terjadi (Mpa)

P = Beban yang diberikan (N)

A = Luas permukaan silinder beton (mm^2)

Menurut Tjokrodimulyo 1996, faktor-faktor yang sangat mempengaruhi kuat tekan beton adalah :

1. Faktor Air Semen

Faktor air semen adalah perbandingan antara berat air dan berat semen dalam campuran beton.

2. Jenis Semen

Tiap jenis semen akan memberikan kuat tekan yang berbeda-beda jika digunakan dalam campuran adukan beton.

3. Jumlah Semen

Pada beton dengan f.a.s sama, kandungan lebih banyak belum tentu mempunyai kekuatan lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena jumlah air yang banyak . demikian pula pastinya, menyebabkan kandungan pori lebih banyak daripada

beton dengan kandungan semen yang lebih sedikit. Jumlah semen dalam beton mempunyai nilai optimum tertentu yang memberikan kuat tekan tinggi.

4. Umur Beton

Kekuatan beton akan meningkat sejalan dengan bertambahnya umur yang dihitung sejak beton dibuat. Laju kenaikan beton mula-mula cepat, kemudian lajunya semakin lambat sebagai standar kekuatan beton adalah 28 hari.

5. Sifat Agregat

Sifat agregat yang paling berpengaruh terhadap kekuatan beton adalah kekasaran permukaan dan ukuran maksimum butir agregat.

3.4 KUAT TARIK BETON

Kuat tekan dan kuat tarik beton tidak berbanding lurus. Setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya. Suatu perkiraan kasar dapat dipakai bahwa nilai kuat tarik bahan beton normal hanya berkisar antara 9 % - 15 % dari kuat tekannya. Kuat tarik bahan beton juga ditentukan dengan menggunakan *modulus of rupture*, ialah tegangan tarik lentur beton yang timbul pada pengujian hancur beton polos (tanpa tulangan) sebagai pengukur kuat tarik sesuai teori.

Kuat tarik bahan beton juga ditentukan melalui pengujian *split cylinder* yang umumnya memberikan hasil yang lebih baik dan lebih mencerminkan kuat tarik yang sebenarnya. Pengujian tersebut menggunakan benda uji silinder beton, diletakkan pada arah memanjang diatas alat penguji kemudian beban tekan diberikan merata arah tegak dari atas pada seluruh panjang silinder. Apabila kuat

tarik terlampaui, benda uji terbelah menjadi 2 bagian dari ujung ke ujung. Tegangan tarik yang timbul sewaktu benda uji terbelah disebut *split cylinder strength* dihitung dengan rumus :

$$f_t = \frac{2P}{\pi.L.D} \quad \dots (3.2)$$

dimana : f_t = Kuat tarik belah (Mpa)

P = Beban waktu belah (N)

L = Panjang benda uji (mm)

D = Diameter benda uji

3.5 KUAT LENTUR BETON

Pengujian kuat lentur dilakukan dengan membuat pembebanan satu titik pada tengah balok sehingga didapatkan tegangan lentur maksimum pada balok yang diuji. Lentur yang terjadi adalah lentur murni dari sebuah balok dengan suatu momen lentur yang tidak dipengaruhi oleh gaya lintang (gaya-gayanya sama dengan nol). lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut ini. Balok beton apabila ditekan dibebani suatu gaya P tertentu seperti pada gambar dibawah belum mengalami deformasi, dan akan berdeformasi berupa pelengkungan bila P telah bekerja.

a.



b.



c.



Gambar 3.1 Balok Dalam Keadaan Lentur Murni

- a. Balok dengan gaya simetris
- b. Diagram gaya lintang
- c. Diagram Momen

Momen Lentur (M) Konstan berdasarkan gaya yang bekerja dapat diperoleh dengan :

$$M = \frac{1}{4} . PL \quad \dots(3.3)$$

Tegangan lentur yang terjadi pada balok berhubungan dengan tahanan momen (W). Tahanan momen /modulus elastis tampang pada balok tampang persegi adalah :

$$W = \frac{1}{6} . b . h^2 \quad \dots(3.4)$$

Tegangan lentur balok dapat diperoleh dengan rumus :

$$\sigma_{lt} = \frac{M}{W} = \frac{3Pl}{2bh^2} \quad \dots(3.5)$$

3.6 MODULUS ELASTISITAS

Seperti pada sebagian besar bahan struktur, beton juga berperilaku elastis bila dikenal lebih awal. Modulus elastisitas beton adalah nilai banding antara tegangan dan regangan beton yang ditunjukkan oleh besarnya sudut. Kemiringan diagram tegangan regangan beton pada kondisi elastis. Modulus elastis beton tergantung dari modulus elastis bahan penyusunnya dan perbandingan bahan tersebut didalamnya.

Modulus elastis tidak berkaitan langsung dengan sifat-sifat beton lainnya, meskipun kekuatan yang lebih tinggi biasanya mempunyai harga E_c yang lebih tinggi juga. Untuk beton biasa modulus elastis berkisar antara 25 sampai 36 KN/mm^2 .

Menurut E.G Nawy, 1998, nilai modulus elastis dapat ditentukan dengan persamaan :

$$E_c = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \dots(3.6)$$

Dimana :

σ = tegangan pada 0,40 kuat tekan uji

ε = regangan yang dihasilkan pada pengujian = $\frac{\Delta l}{l}$

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 BAHAN PENELITIAN

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini terdiri dari :

1. Air

Air yang digunakan diambil dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Universitas Islam Indonesia. Pemeriksaan air dilaksanakan secara visual, tampak jernih dan tidak berbau.

2. Semen

Sebagai bahan pengikat digunakan semen Portland tipe 1 merk Nusantara kemasan 50 kg netto. Pengamatan dilakukan secara visual terhadap kemasan kantong, tertutup rapat, butirannya halus, serta tidak terjadi penggumpalan.

3. Agregat

Agregat yang digunakan adalah

1. Agregat kasar : batu pecah diameter maksimum 20 mm. Berasal dari daerah Clereng Kulon Progo
2. Agregat halus : pasir yang berasal dari daerah Merapi

4. Limbah Gelas

Diperoleh dari pecahan piring, gelas dan mangkuk yang berwarna bening, kemudian dihancurkan dan digiling menjadi serbuk yang halus serta lolos saringan nomor 200 ASTM (*American Society for Testing Materials*).

4.2 PERALATAN PENELITIAN

Peralatan yang digunakan adalah :

1. Ayakan uji

Ayakan uji digunakan untuk menganalisa gradasi butir pasir halus dan kasar. Ayakan uji terdiri dari serangkaian saringan uji dengan ukuran maksimum 20 mm, kemudian berturut-turut 19,1 mm; 10 mm; 4,8 mm; 2,2 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm.

2. Mesin *Siever*

Mesin *Siever* digunakan untuk menggerakkan susunan ayakan yang bekerja secara mekanik dengan lama pengayakan bisa diatur.

3. Timbangan

Timbangan digunakan untuk mengukur berat bahan penyusun beton (semen, agregat dan air), serat, dan benda uji.

4. Mesin uji beban merk *Control*

Mesin uji beban digunakan merk *control* untuk menguji benda uji terhadap beban desak dan tarik. Kapasitas mesin uji sebesar 2000 KN dengan ketelitian 5 KN.

5. Dial indicator

Dial indicator digunakan untuk mengukur dan mengamati perpindahan benda uji akibat beban yang diberikan pada pengujian desak.

6. Cetakan benda uji

Cetakan benda uji berupa cetakan silinder beton dengan ukuran tinggi 20 cm dan diameter 10 cm yang dapat dibelah menjadi dua bagian.

7. Kerucut konik

Kerucut konik digunakan untuk memeriksa keadaan jenuh kering muka pada pasir. Kerucut ini terbuka pada kedua ujungnya dengan diameter atas 3,8 cm dan diameter bawah 8,9 cm serta tinggi 7,6 cm. Pasir yang diperiksa dimasukkan ke dalam kerucut sambil ditumbuk dengan tongkat baja yang beratnya 336 gram.

8. Kaliper dan Mister

Kaliper digunakan untuk mengukur dimensi benda uji, sedangkan mistar digunakan untuk mengukur nilai slump suatu adukan.

9. Pikhnometer

Pikhnometer digunakan untuk mengukur berat jenis limbah gelas dan berat jenis pasir. Pikhnometer ini berkapasitas 1000 cc.

10. Gelas ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur volume air yang digunakan untuk membuat adukan beton. Kapasitas gelas ukur yang digunakan adalah gelas ukur dengan kapasitas 1000 cc.

11. Cetok

Cetok digunakan untuk memindahkan adukan beton ke silinder beton dan menghaluskan permukaan benda uji yang baru dicetak.

12. Oven (pengering)

Oven digunakan dalam pengujian berat jenis pasir, dan pengujian bahan yang lain yang memerlukan keadaan kering tungku.

13. Molen (mesin pengaduk beton)

Molen digunakan untuk mencampur bahan-bahan penyusun beton sebelum dicetak dalam silinder beton.

14. Mesin uji Los Angeles

Mesin Los Angeles digunakan untuk menguji kekerasan agregat kasar, apakah kekerasannya telah memenuhi aturan yang disyaratkan.

15. Kerucut Abrams

Kerucut Abrams digunakan untuk menguji nilai slump suatu adukan. Alat ini dilengkapi dengan batang baja panjang 60 cm untuk penusukan. Dimensi kerucut ini adalah diameter atas 10 cm, diameter bawah 20 cm dan tingginya 30 cm.

4.3 PELAKSANAAN PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian dimulai dari pemeriksaan bahan susun beton, pembuatan benda uji hingga pengujian kuat tekan, kuat tarik, dan kuat lentur beton. Secara garis besar penelitian ini meliputi tahap-tahap sebagai berikut :

1. Tahap persiapan bahan

a. Pemeriksaan berat jenis

1. Agregat halus/pasir

Piknometer berisi air penuh ditimbang dan dicatat beratnya sebagai W_1 , pasir dalam keadaan SSD (*saturated surface dry*) sebesar 500 gram (W_2) dimasukkan kedalam piknometer, kemudian piknometer diisi air sampai penuh. Piknometer dikocok-kocok agar gelembung udara yang terperangkap dalam pasir dapat keluar sehingga pori terisi oleh air. Setelah itu piknometer diisi air sampai penuh dan kemudian ditimbang (W_3). Piknometer tersebut kemudian direndam dalam air supaya pasirnya mengendap. Setelah proses pengendapan selesai, pasir dikeluarkan seluruhnya dan dikeringkan di oven tanpa ada yang tercecer. Pasir kering mutlak ditimbang beratnya sebagai W_4 .

$$B_j = \frac{W_2}{(W_1 + W_2) - W_3} \quad \dots(4.1)$$

Keterangan :

W_1 = berat piknometer berisi air

W_2 = berat pasir dalam keadaan SSD

W_3 = berat piknometer berisi air dan pasir

2. Agregat kasar/batu pecah

Contoh batu pecah dalam keadaan SSD ditimbang sebesar W_1 , kemudian ditimbang didalam air dan dicatat besarnya sebagai

W₂. Kerikil kemudian dimasukkan kedalam oven dan setelah kondisi kering mutlak ditimbang beratnya sebagai W₃.

$$B_j = \frac{W_1}{(W_1 - W_2)} \quad \dots(4.2)$$

W₁ = berat kerikil dalam keadaan SSD

W₂ = berat kerikil dalam air

3. Filler limbah gelas

Piknometer berisi air penuh ditimbang dan dicatat beratnya sebagai (W₁). tepung gelas seberat 300 gr (W₂) dimasukkan kedalam piknometer kemudian piknometer diisi air hampir penuh. Piknometer dikocok-kocok agar gelembung udara yang terperangkap dapat keluar sehingga pori terisi oleh air. Setelah itu piknometer diisi air dan kemudian ditimbang (W₃).

$$B_j = \frac{W_2}{(W_1 + W_2) - W_3} \quad \dots(4.3)$$

Keterangan :

W₁ = berat piknometer berisi air

W₂ = berat gelas

W₃ = berat piknometer berisi air dan gelas

b. Pemeriksaan Gradasi

1. Agregat halus/ pasir

Pasir ditimbang beratnya dalam keadaan kering mutlak sebanyak 500 gram, kemudian diayak dengan susunan ayakan berturut-turut : 4,76 mm; 2,38 mm; 0,59 mm; 0,279 mm; 0,149

mm; dan 0,074 mm. Setelah diayak, pasir yang tertinggal ditimbang dan dicatat beratnya. Berdasarkan catatan tersebut dapat dihitung persentase jumlah kumulatif butir yang tertinggal dan yang lewat masing-masing ayakan, sehingga grafik distribusi dapat digambarkan.

2. Agregat kasar/ batu pecah

Batu pecah diayak menggunakan saringan 38,1 mm; 25,4 mm; 19,1 mm; 12,7 mm; 9,52 mm; 4,76 mm; 2,38 mm; 0,59 mm; 0,279 mm; 0,149 mm; dan 0,074 mm. Setelah dilakukan pengayakan dengan alat getar batu pecah dikelompokkan sesuai dengan ukuran butirnya 5 mm – 10 mm dan 10 mm – 20 mm.

c. Pemeriksaan semen secara visual

a. Pemeriksaan semen

b. Butiran semen, keadaannya halus dan tidak menggumpal

d. Pemeriksaan air secara visual untuk memeriksa bau, warna dan rasa

e. Pemeriksaan limbah gelas secara visual, supaya dipastikan butirannya halus dan seragam dengan lolos saringan no.200

f. Tahap perhitungan limbah gelas

Hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 3.

2. Tahap Pembuatan Benda Uji

Sebelum dilakukan pengecoran pada pembuatan benda uji, perlu dipersiapkan bahan susun pasir, kerikil, dan semennya. Juga cetakan untuk

pembuatan benda uji disiapkan. Cetakan ini terbuat dari besi berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm, dan ukuran 40x10x10 cm untuk cetakan balok. Benda uji berbentuk silinder digunakan untuk pengujian tarik, desak dan modulus elastisitas. Sedangkan benda uji balok digunakan untuk pengujian lentur.

Perencanaan adukan dilakukan dengan berdasarkan pada pedoman yang ada didalam *Design of Normal Mixer*, di Indonesia dimuat dalam buku standar No. SK-SNI. T-15-1990-03, Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal.

Tabel 4.1 Komposisi Bahan Satu Kali Adukan (18 silinder)

| Variasi | Kebutuhan Bahan Adukan Beton Variasi | | | | |
|---------|--------------------------------------|------------|-------------|-----------|------------|
| | Semen(Kg) | Pasir (Kg) | Kerikil(Kg) | Air (ltr) | Gelas (Kg) |
| Normal | 20.771 | 27.341 | 34.759 | 9.537 | - |
| 15% | 17.655 | 27.341 | 34.759 | 9.537 | 3.116 |
| 17.5% | 17.136 | 27.341 | 34.759 | 9.537 | 3.635 |
| 20% | 16.617 | 27.341 | 34.759 | 9.537 | 4.154 |
| 22.5% | 16.097 | 27.341 | 34.759 | 9.537 | 4.673 |
| 25% | 15.578 | 27.341 | 34.759 | 9.537 | 5.193 |

Tabel 4.2 Komposisi Bahan Satu Kali Adukan (3 balok)

| Variasi | Kebutuhan Bahan Adukan Beton Variasi | | | | |
|---------|--------------------------------------|------------|-------------|-----------|------------|
| | Semen(Kg) | Pasir (Kg) | Kerikil(Kg) | Air (ltr) | Gelas (Kg) |
| Normal | 8.82 | 11.61 | 14.76 | 4.05 | - |
| 15% | 7.497 | 11.61 | 14.76 | 4.05 | 1.323 |
| 17.5% | 7.276 | 11.61 | 14.76 | 4.05 | 1.544 |
| 20% | 7.056 | 11.61 | 14.76 | 4.05 | 1.764 |
| 22.5% | 6.835 | 11.61 | 14.76 | 4.05 | 1.985 |
| 25% | 6.615 | 11.61 | 14.76 | 4.05 | 2.205 |

Rancangan adukan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 2.

Proses pembuatan adukan beton dengan bahan tambah limbah gelas adalah sebagai berikut :

- a. Setelah mixer dibersihkan dimasukkan kerikil dan pasir kedalam mixer, biarkan mixer berputar selama maksimal 2 menit, sehingga campuran kerikil dan pasir merata.
- b. Tambahkan semen Portland sebanyak kedalam mixer sedikit demi sedikit dan tambahkan air sedikit saja, dan biarkan mixer berputar selama 3 menit, sehingga campuran beton homogen dan kering.
- c. Setelah campuran homogen tambahkan limbah gelas kedalam adukan sedikit demi sedikit, penyebarannya dilakukan dengan tangan, biarkan mixer mengaduk selama 2 menit.
- d. Masukkan air lagi sedikit demi sedikit hingga seluruh kebutuhan air masuk kedalam mixer dan proses ini berlangsung selama 2 menit dengan kecepatan konstan.
- e. Dilakukan pengujian slump
- f. Pemasukan dilakukan secara manual. Dengan cara adukan beton diisikan kedalam cetakan silinder dengan tiga tahapan pemasukan, tiap 1/3 tinggi cetakan ditusuk 25 kali, tusukan memasuki sedikit lapisan sebelumnya, kemudian muka atasnya diratakan.
- g. Benda uji silinder beton dibuat masing-masing 18 buah setiap variasi dan benda uji balok beton dibuat masing-masing 3 buah setiap variasi.
- h. Selesai pembuatan sample benda uji disimpan, mengikuti standar perawatan beton yang ada.
- i. Pada umur beton 28 hari dilakukan pengujian kuat tekan, kuat tarik, modulus elastisitas dan lentur.

3. Tahap Perawatan benda uji

Untuk menjaga penurunan kekuatan yang terjadi pada benda uji dilakukan perawatan sebagai berikut :

- a. Menjaga benda uji dari penguapan, sebagai antisipasi agar tidak terhentinya proses hidrasi supaya berlangsung sempurna
- b. Benda uji simpan ditempat datar (rata) dan tidak bergetar, serta terhindar dari berhubungan langsung dengan air
- c. Setelah 24 jam benda uji dikeluarkan dari cetakan, kemudian dituliskan kode. Kemudian benda uji direndam dalam air selama waktu yang telah ditentukan untuk pengujian
- d. Membersihkan kotoran yang terdapat pada benda uji sebelum pengujian dilakukan

4. Tahap pengujian

a. Uji Kuat Tekan

Langkah-langkah yang ditempuh dalam pengujian kuat tekan beton adalah

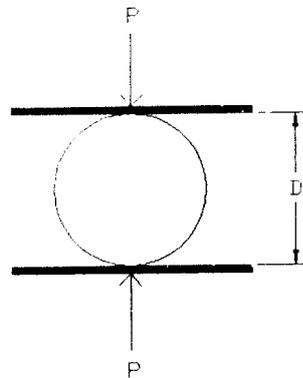
1. Setelah silinder beton, direndam dalam air selama 28 hari, tinggi dan diameternya diukur, setelah itu ditimbang beratnya, kemudian diletakkan pada alas pembebanan uji kuat tekan beton
2. Mesin uji dihidupkan, pembebanan diberikan dari 0 KN hingga benda uji hancur dan besarnya beban maksimal dicatat sesuai pembacaan

3. Setelah didapat data, kemudian diperoleh nilai kuat tekan beton dengan rumus :

$$f_c = \frac{P}{A} \quad \dots(4.4)$$

b. Uji Kuat Tarik

Kuat tarik beton ditentukan melalui pengujian *split cylinder* (pecah belah silinder) yang benda uji silinder 10 x 20 cm, diletakkan pada arah memanjang diatas alat penguji, kemudian ditekan. Apabila kuat tarik melampaui benda uji terbelah menjadi 2 bagian.



Nilai uji kuat tarik diperoleh dengan rumus :

$$f_t = \frac{2P}{\pi \cdot L \cdot D} \quad \dots(4.5)$$

dimana : P = beban

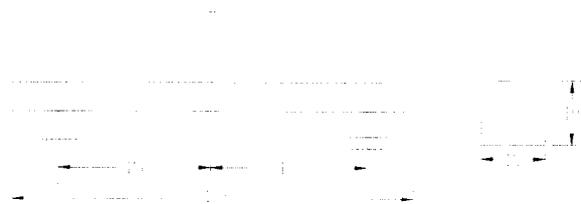
πD = keliling lingkaran

L = panjang

Benda uji yang dibutuhkan dalam pengujian kuat tarik belah ini sebanyak 3 buah, selinder beton untuk setiap variasinya.

c. Uji Kuat Lentur

Benda uji yang dipakai dalam uji lentur pada penelitian ini menggunakan prisma beton dengan luas penampang 10 x 10 cm dan panjang 40 cm.



Gambar 4.1 Pengujian Lentur Prisma Beton

Dengan substitusi persamaan pada momen lentur (M) dan tahanan momen (W) diperoleh regangan lentur dengan persamaan :

$$\sigma_{lt} = \frac{3PL}{2bh^2} \quad \dots(4.6)$$

Prosedur pengujian kuat lentur beton dilakukan dengan cara :

- a. Benda uji balok berukuran 40 x 10 x 10 cm yang telah siap diuji ditimbang beratnya dan diukur panjang lebar serta tingginya dengan menggunakan kaliper dan penggaris

- b. Memberi tanda dengan spidol pada benda uji sebagai titik perletakan tumpuan dan titik pembebanan
 - c. Meletakkan benda uji pada tumpuan sesuai dengan tanda yang telah diberikan
 - d. Pemberian beban pada benda uji secara perlahan-lahan
 - e. Pembebanan skala jarum petunjuk pada mesin uji
- d. Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas dilakukan melalui tahap-tahap :

1. Benda uji yang telah ditimbang dan dilengkapi dengan alat pencatat penurunan (Δt) diletakkan pada alas pembebanan mesin uji kuat desak beton kemudian didesak sebesar sepertiga beban yang mampu ditahan oleh benda uji ($1/3 P$). Besarnya P didapat dari rata-rata beban maksimum yang mampu ditahan benda uji yang telah didesak dengan mesin uji desak pada pengujian kuat desak untuk masing-masing variasi.
2. Setelah itu mesin uji dinormalkan kembali dan benda uji mulai diberi pembebanan secara berangsur-angsur sambil dicatat penurunannya pada tiap 10 KN, dilakukan sampai beban maksimal dan benda uji rusak.

Modulus elastisitas diperoleh dengan cara membagi tegangan dengan regangan. Tegangan didapat dengan membagi beban pada tiap tahap kenaikan dengan luas daerah benda uji yang didesak,

sedangkan regangan didapat dari perbandingan antara penurunan yang terjadi (Δt) dengan tinggi benda uji (t). Satuan dari masing-masing disesuaikan dahulu. Dari perbandingan tegangan-regangan hasil pengujian tersebut kemudian dibandingkan dengan rumus $E = 4700 \cdot \sqrt{f_c}$. Menurut E. G Nawy (1998), secara matematis mencari modulus elastisitas pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

$$E_c = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \dots(4.7)$$

Dimana :

σ = tegangan pada 0.40 kuat tekan uji

ε = regangan yang dihasilkan pada tegangan

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 BAHAN PENYUSUN BETON

5.1.1 Gradasi Agregat

Dari hasil pemeriksaan terhadap pasir Merapi Sleman, diperoleh modulus halus butir sebesar 2,8982 sehingga masuk pada gradasi pasir daerah II dimana pasir tersebut tergolong pasir agak kasar. Data selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 1.6. Pasir Merapi yang tergolong pasir agak kasar tersebut dapat digunakan sebagai bahan penyusun beton karena pasir tersebut memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan oleh *British Standard*. Dimana menurut *British Standard* kekasaran pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar dan kasar. Jika masuk kedalam empat kelompok tersebut maka dapat digunakan sebagai bahan penyusun beton. Dan dari hasil penelitian didapat modulus halus butir agregat kasar sebesar 6,6446. Menurut Kardiyono, modulus halus butir untuk kerikil berkisar antara 5 sampai 8. Makin besar berarti makin besar pula butir-butir agregatnya. Karena modulus halus butir hasil penelitian 6,6446 berada diantara 5 sampai 8 maka termasuk kedalam nilai yang telah ditentukan. Sedangkan untuk gradasi campuran dengan

campuran kerikil 56 % dan pasir 44 % dapat ditentukan bahwa menurut persyaratan *British Standard* yang juga dipakai di Indonesia saat ini dengan diameter agregat maksimum 20 mm gradasi agregat campuran beton kasar.

5.1.2 Berat Jenis Agregat

Dari pemeriksaan berat jenis agregat diperoleh bahwa berat jenis pasir dalam kondisi SSD sebesar $2,36 \text{ gr/cm}^3$ dan untuk batu pecah sebesar $2,41 \text{ gr/cm}^3$. Sehingga betonnya disebut beton normal. Hasil lengkap pemeriksaan ini dapat dilihat pada Lampiran 1.1 dan Lampiran 1.2.

5.1.3 Berat Jenis Limbah Gelas

Berat jenis limbah gelas dilakukan satu kali pemeriksaan, memberikan hasil sebesar $1,4925 \text{ gr/cm}^3$. Hasil pemeriksaan berat jenis limbah gelas dapat dilihat pada Lampiran 1.10.

5.2 WORKABILITAS

Tingkat kemudahan pada pengerjaan beton dipengaruhi oleh jumlah air yang dipakai. Semakin banyak jumlah air, maka semakin mudah pengerjaan beton. Tingkat kemudahan ini digambarkan oleh nilai hasil percobaan slump (*slump test*) yang merupakan derajat kelecikan atau keenceran adukan semakin besar nilai slump.

Adapun pada penelitian ini nilai slump ditetapkan 10 cm. Dengan adanya substitusi limbah gelas maka campuran beton semakin kental dan mengurangi

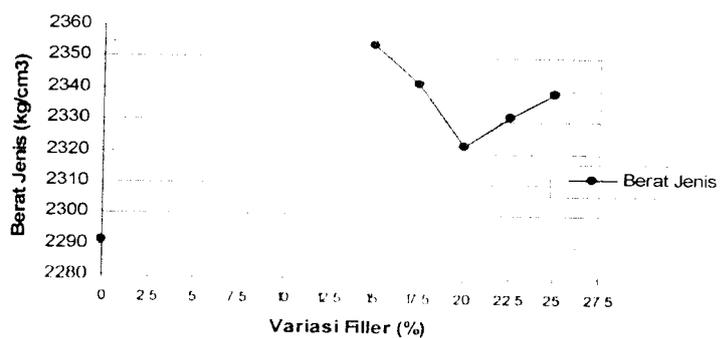
workabilitas. Karena itu untuk menjaga tingkat workabilitas dan mempertahankan nilai slump agar tetap konstan, dilakukan penambahan air.

5.3 BERAT JENIS BETON

Dari pemeriksaan terhadap silinder beton yaitu dengan cara mengukur diameter, tinggi, dan berat benda uji, diperoleh berat jenis benda uji dengan cara membagi berat silinder dengan volume silinder beton. Data berat jenis untuk masing-masing benda uji dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan data lengkap dapat dilihat pada Lampiran 4.

Tabel 5.1 Berat Jenis Beton Rerata Untuk Uji Desak

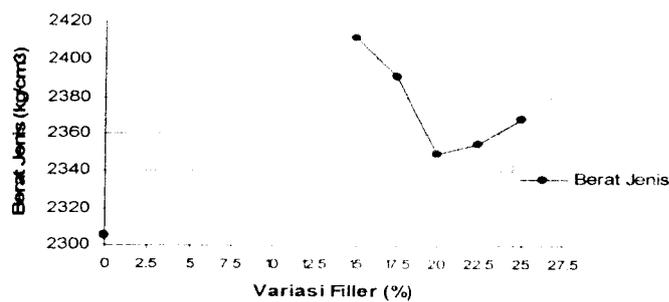
| No | Variasi Filler (%) | Berat Jenis (kg/cm ³) |
|----|--------------------|-----------------------------------|
| 1 | 0 | 2291.244 |
| 2 | 15 | 2354.163 |
| 3 | 17.5 | 2341.824 |
| 4 | 20 | 2322.245 |
| 5 | 22.5 | 2331.628 |
| 6 | 25 | 2338.83 |



Gambar 5.1 Hubungan Berat Jenis Dengan Variasi Filler

Tabel 5.2 Berat Jenis Beton Rerata Untuk Uji Tarik

| | Variasi Filler (%) | Berat Jenis (kg/cm ³) |
|---|--------------------|-----------------------------------|
| 1 | 0 | 2305.596 |
| 2 | 15 | 2411.876 |
| 3 | 17.5 | 2391.123 |
| 4 | 20 | 2349.304 |
| 5 | 22.5 | 2355.018 |
| 6 | 25 | 2368.038 |



Gambar 5.2 Hubungan Berat Jenis Dengan Variasi Filler

Dari Tabel 5.2 dan Gambar 5.2 hubungan antara variasi filler dengan berat jenis beton, diperoleh suatu kurva yang cenderung naik. Hal ini karena pori-pori pada beton terisi penuh oleh limbah gelas, menyebabkan beton menjadi lebih padat dan berat beton bertambah. Sehingga dengan bertambahnya berat beton tersebut, maka dapat meningkatkan berat jenis betonnya.

Meskipun ada berat jenis yang menurun, tapi masih tetap diatas berat jenis beton normalnya. Hal ini mungkin disebabkan karena kurangnya pemadatan sehingga beton menjadi porous dan berat jenis betonnya menjadi kecil. Tjokrodimuljo (1998) mengatakan apabila dalam beton terjadi rongga-rongga atau



porous akibat kurangnya pemadatan maka berat jenisnya akan mengalami penurunan.

5.4 HASIL PENELITIAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, didapatkan data primer berupa kuat desak silinder, kuat tarik, kuat lentur dan modulus elastisitas dengan dan tanpa campuran limbah gelas. Data tersebut dianalisis untuk memperoleh kekakuan dari beban dan lendutan serta faktor kekakuan dari momen dan kelengkungan.

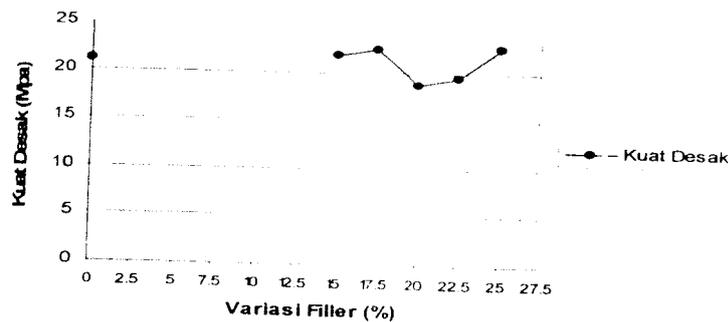
5.4.1 HASIL UJI KUAT DESAK BETON

Pengujian kuat desak beton dilakukan terhadap 13 benda untuk tiap-tiap variasi dan beton normalnya. Kuat desak beton didapat dengan cara merata kuat desak hasil uji. Adapun data kuat desak rerata silinder dapat dilihat pada Lampiran 4. Dari hasil kuat desak beton, dapat dilihat pada Tabel 5.3 yang dapat memberikan hubungan prosentase limbah gelas terhadap penambahan atau penurunan kuat desak beton sebagai berikut :

Tabel 5.3 Perubahan Kuat Desak Beton Filler Terhadap Beton Normal

| No | Variasi Filler (%) | Kuat Desak (Mpa) | Penambahan / Penurunan |
|----|--------------------|------------------|------------------------|
| 1 | 0 | 21.089 | 0 % |
| 2 | 15 | 21.899 | 3.841 % |
| 3 | 17.5 | 22.454 | 6.473 % |
| 4 | 20 | 18.719 | -11.238 % |
| 5 | 22.5 | 19.470 | -7.677 % |
| 6 | 25 | 22.603 | 7.179 % |

Data hasil pengujian kuat Desak, selanjutnya digambarkan dalam bentuk grafik untuk diketahui pengaruh substitusi variasi gelas terhadap kuat desak.



Gambar 5.3 Hubungan Variasi Filler Dengan Kuat Desak

Berdasarkan Tabel 5.3 dan Gambar 5.3 dapat diketahui bahwa terjadi kenaikan kuat desak beton pada variasi 15 % sebesar 3,841 % dari beton normal yaitu 21,899 MPa dan kenaikan pada variasi 17,5 % sebesar 6,475 % terhadap beton normal yaitu 22,454 MPa. Dan kekuatan kuat desak tertinggi diperoleh pada variasi 25 % sebesar 7,179 % terhadap beton normalnya yaitu 22,603 MPa.

Dengan demikian penggunaan limbah gelas sebagai pengganti sebagian berat semen dapat meningkatkan kuat desaknya pada batas-batas penggantian tertentu. Hal ini terjadi karena pada variasi-variasi tersebut pori-pori beton terisi penuh oleh filler limbah gelas sehingga kepadatan meningkat. Penelitian yang dilakukan Nurokhman (2002) mendapatkan hasil penambahan desak terbesar pada konsentrasi penambahan limbah gelas sebesar 15 % yaitu 26,80 Mpa dari beton normalnya. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan filler limbah gelas dapat memperbaiki kuat desaknya. Dan penelitian yang dilakukan oleh Bobby S dan A Widodo diperoleh peningkatan kuat desak beton sebesar 38,8 % dari beton

normalnya pada konsentrasi penambahan tepung kaca dengan prosentase 10 %. Hal ini dikarenakan pada konsentrasi penambahan tepung kaca sebesar 10 % silica pada kandungan tersebut masih berfungsi baik sebagai pengikat pada pasta semen. Dengan membandingkan hasil penelitian sebelumnya didapatkan kesimpulan bahwa dengan penambahan filler limbah gelas dapat meningkatkan kuat desak betonnya.

Adapun yang mempengaruhi peningkatan kekuatan tersebut menurut A. Widodo (2001), kandungan silica (SiO_2) pada tepung kaca atau gelas mempunyai kemampuan untuk bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) pada saat berlangsungnya proses hidrasi semen yang akan membentuk gel kalsium silikat hidrat ($\text{CaO.SiO}_2.H_2O$). Dengan demikian SiO_2 mengurangi jumlah kalsium hidroksida yang merupakan zat sisa hasil reaksi yang dapat menyebabkan menurunnya kekuatan beton.

Penurunan kekuatan desak beton terjadi pada variasi 20 % sebesar 11,238 % terhadap beton normalnya yaitu 18,719 MPa. Dan pada variasi 22,5 % sebesar 7,677 % terhadap beton normalnya yaitu 19,470 MPa. Hal ini terjadi karena penambahan air yang kurang terkontrol pada adukan beton, sehingga faktor air semen bertambah dan dapat menurunkan kuat desak beton.

Kuat desak yang direncanakan pada umur 28 hari yaitu sebesar 22,5 MPa tidak tercapai, didapat beton normal sebesar 21,089 MPa. Hal ini dapat disebabkan karena faktor teknis pembuatan atau pencampuran. Dan kuat desak optimum yang dicari juga belum didapat karena kekuatan desak tertinggi diperoleh pada variasi 25 %.

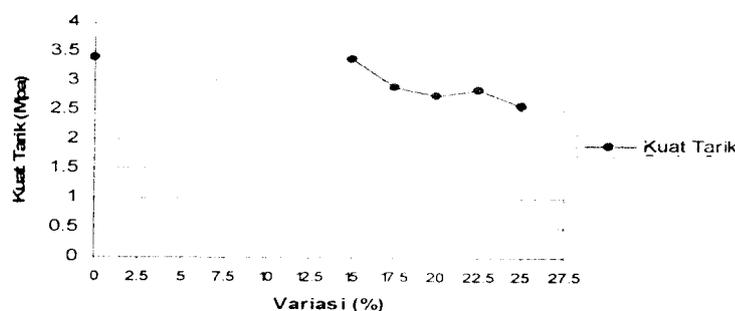
5.4.2 HASIL UJI KUAT TARIK BETON

Pengujian kuat tarik silinder beton dilakukan setelah beton berumur 28 hari. Untuk beton normal diambil 3 benda uji tiap variasi dan beton normalnya. Pengujian tarik dilakukan dengan uji belah silinder (*tensile splitting cylinder*). Kuat tarik beton diperoleh dengan cara merata nilai kuat tarik silinder beton. Adapun data kuat tarik rerata silinder dapat dilihat pada Lampiran 5.

Tabel 5.4 Perubahan Kuat Tarik Beton Filler Terhadap Beton Normal

| No | Variasi Filler (%) | Kuat Tarik (Mpa) | Penambahan Penurunan |
|----|--------------------|------------------|----------------------|
| 1 | 0 | 3.399 | 0 % |
| 2 | 15 | 3.364 | -1.030 % |
| 3 | 17.5 | 2.895 | -14.828 % |
| 4 | 20 | 2.753 | -19.006 % |
| 5 | 22.5 | 2.842 | -16.387 % |
| 6 | 25 | 2.565 | -24.537 % |

Selanjutnya untuk mengetahui pengaruh substitusi limbah gelas terhadap kuat tarik dapat digambarkan dalam bentuk grafik hubungan variasi limbah gelas dengan kuat tarik dibawah.



Gambar 5.4 Hubungan Variasi Filler Dengan Kuat Tarik

Dari Tabel 5.4 dan Gambar 5.4 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan kekuatan tariknya. Untuk variasi 15 % sebesar 3,364 MPa atau 1,030 %, untuk

17,5 % sebesar 2,895 MPa atau 14,828 %, untuk 20 % sebesar 2,753 MPa atau 19,006 %, untuk 22,5 % sebesar 2,842 MPa atau 16,387 %.

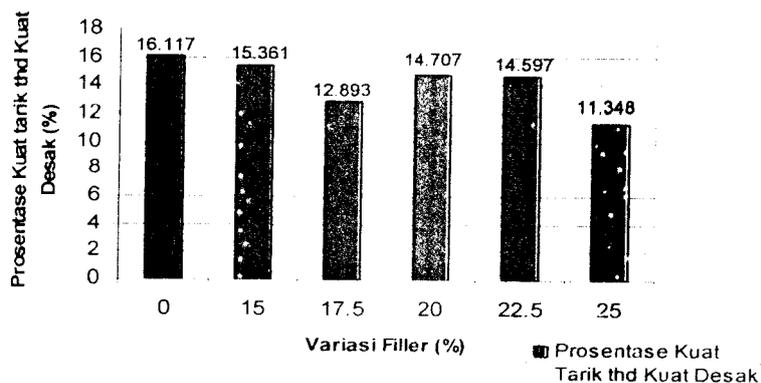
Dan penurunan terbesar terjadi pada variasi 25 % sebesar 2,565 MPa atau 24,537 %. Hal ini terjadi karena semakin banyak konsentrasi filler yang digunakan akan mengurangi lekatan antara pasta semen dengan agregatnya akibat kurang aktifnya fungsi silica pada limbah gelas. Sehingga kekuatan dari silinder betonnya akan semakin berkurang. Penelitian yang dilakukan oleh Yosefto dan Alamanda (2002) beton dengan variasi filler marmer lebih dari 0,5 % dari berat beton mengalami penurunan kuat tarik karena semen sudah tidak dapat mengikat / menyelimuti filler marmer. Hal ini karena filler marmer bertambah banyak, maka luasan campuran betonpun bertambah sehingga semen tidak mampu mengikat / menyelimuti campuran beton. Maka dapat disimpulkan bahwa kuat tarik beton akan menurun seiring dengan bertambahnya filler pada adukan beton.

Untuk mengetahui besar prosentase kuat tarik terhadap kuat desak beton pada umur 28 hari dapat dilihat pada Tabel 5.5 dibawah ini.

Tabel 5.5 Prosentase Kuat Tarik Terhadap Kuat Desak Beton Untuk Berbagai Variasi Filler

| No | Variasi Filler (%) | Kuat Tarik (Mpa) | Kuat Desak (Mpa) | Penambahan / Penurunan |
|----|--------------------|------------------|------------------|------------------------|
| 1 | 0 | 3.399 | 21.089 | 16.117 % |
| 2 | 15 | 3.364 | 21.899 | 15.361 % |
| 3 | 17.5 | 2.895 | 22.454 | 12.893 % |
| 4 | 20 | 2.753 | 18.719 | 14.707 % |
| 5 | 22.5 | 2.842 | 19.470 | 14.597 % |
| 6 | 25 | 2.565 | 22.603 | 11.348 % |

Gambaran hubungan prosentase kuat tarik terhadap kuat desak beton untuk berbagai variasi dapat dilihat pada Gambar 5.5 dibawah ini



Gambar 5.5 Hubungan Prosentase Kuat Tarik Terhadap Kuat Desak Untuk Berbagai Variasi

Dari Tabel 5.5 dan Gambar 5.5 dapat dilihat bahwa penurunan terbesar kuat tarik terhadap kuat desaknya terjadi pada variasi 25 % sebesar 11,348 %. Hal ini menunjukkan bahwa penurunan kuat tarik terjadi seiring dengan peningkatan kuat desaknya.

Pada pengamatan tampang pecah dan retak benda uji setelah dilakukan pengujian menunjukkan bahwa beton normal pecah secara mendadak dan terbelah menjadi sempurna menjadi 2 bagian disertai dengan adanya bunyi ledakan. Sedangkan pada beton filler limbah gelas retak silinder terjadi secara perlahan-lahan tanpa adanya bunyi ledakan. Hal ini terjadi karena energi tarikan ditahan oleh filler-filler yang ada didalam beton.

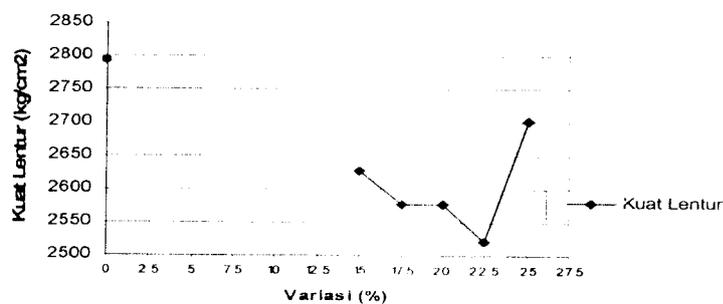
5.4.3 HASIL UJI KUAT LENTUR BETON

Pengujian kuat lentur dilakukan terhadap benda uji balok sebanyak 3 buah untuk setiap variasi. Pengujian dilakukan dengan 2 tumpuan dan satu titik pembebanan, ditengah-tengah bentang, sehingga didapat momen maksimum. Kuat lentur diperoleh dengan cara merata-ratakan nilai kuat lentur balok beton. Adapun data kuat lentur beton dapat dilihat pada Lampiran 6.

Tabel 5.6 Prosentase Perubahan Kuat Lentur Beton Filler Terhadap Beton Normalnya

| No | Variasi Filler (%) | Kuat Lentur (Kg/cm ²) | Penambahan (%) |
|----|--------------------|-----------------------------------|----------------|
| 1 | 0 | 2794.416 | 0 % |
| 2 | 15 | 2627.747 | -5.964 % |
| 3 | 17.5 | 2578.764 | -7.717 % |
| 4 | 20 | 2578.426 | -7.729 % |
| 5 | 22.5 | 2520.916 | -9.787 % |
| 6 | 25 | 2703.154 | -3.266 % |

Data hasil pengujian kuat lentur, selanjutnya digambarkan dalam bentuk grafik untuk mengetahui pengaruh substitusi variasi gelas terhadap kuat lentur.



Gambar 5.6 Hubungan Kuat Lentur Dengan Variasi Filler

Dari Tabel 5.6 dan Gambar 5.6 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan kuat lentur pada terhadap beton normalnya. Penurunan tertinggi terjadi pada variasi

22.5 % yaitu sebesar 9,787 %. Hal ini dikarenakan kurang terkontrolnya penambahan air pada adukan beton yang mengakibatkan faktor air semen meningkat sehingga kekuatan beton menurun. Sedangkan pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Bobby S dan A Widodo (2002) dengan penambahan tepung kaca pada balok bertulang dapat meningkatkan kuat lenturnya sebesar 17,96 %. Begitu juga yang dilakukan oleh Nurokhman (2002) penambahan limbah gelas dapat memperbaiki nilai kuat lentur dan mengalami kenaikan lebih dari 100 % yaitu sebesar 105,9 % terhadap beton normalnya.

Pada penelitian tersebut terjadi peningkatan kuat lentur karena menggunakan tulangan, sehingga sangat berpengaruh terhadap kekuatan betonnya. Sebagaimana diketahui bahwa baja tulangan tahan terhadap kuat tarik tetapi tidak bisa menahan desak sedangkan beton tahan terhadap desak, tetapi tidak kuat menahan tarik. Oleh sebab itu beton bertulang merupakan suatu komposit yang dapat menutupi masing-masing kelemahan beton dan tulangnya, sehingga dapat meningkatkan kekuatan betonnya.

5.4.4 HASIL UJI MODULUS ELASTISITAS

Modulus elastisitas merupakan sifat yang dimiliki oleh beton yang berhubungan dengan mudah tidaknya beton tersebut mengalami regangan (perpanjangan maupun perpendekan) saat mendapat beban. Semakin besar nilai modulus elastis maka semakin kecil regangan yang terjadi karena nilai modulus elastis berbanding terbalik dengan nilai regangan. Nilai modulus elastis ini akan ditentukan oleh kemiringan kurva pada grafik tegangan - regangan. Dimana kurva

ini dipengaruhi oleh tegangan beton dan regangan beton. Semakin tegak suatu kurva dan semakin panjang garis linier yang panjang, berarti beton tersebut memiliki kuat desak yang besar pula.

Dengan semakin bertambahnya beton maka makin berkurangnya kekakuan material sehingga kurva tidak akan linier lagi, karena dengan semakin tegaknya kurva perubahan yang terjadi pada sampel sangat kecil sehingga dapat dikatakan sampel dalam keadaan kaku.

Dari grafik yang terjadi, diperlukan pengoreksian terhadap nilai regangan, agar nilai regangan pertama mulai dari 0. Angka koreksi besarnya tergantung dari perpanjangan garis linier pertama, besarnya angka ini yang akan menentukan pergeseran kekiri atau kekanan dari nilai regangan pada hasil pengujian beton yang nantinya akan didapatkan dari nilai regangan yang baru atau nilai regangan koreksi. Sehingga regangan koreksi :

$$\epsilon_k = k \pm \epsilon$$

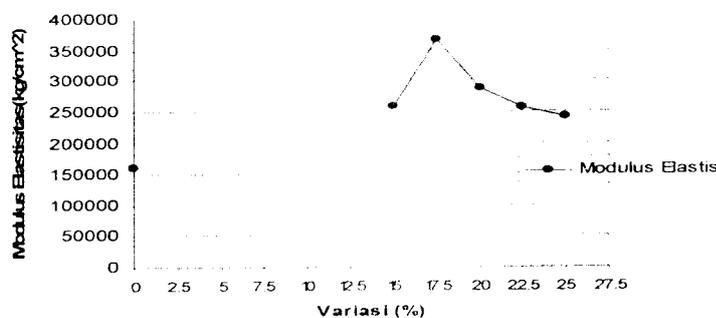
Modulus elastisitas yang terjadi dapat dilihat pada grafik yang digambarkan dari angka regangan koreksi, dengan menarik garis sejajar sumbu x hingga berpotongan dengan grafik regangan. Dari titik perpotongan ini ditarik garis sejajar sumbu y sehingga didapatkan nilai regangannya.

Pada penelitian ini pengujian modulus elastisitas beton dilakukan pada umur 28 hari dan 2 buah benda uji untuk masing-masing variasi. Adapun hasil pengujian modulus elastisitas dengan dan tanpa campuran limbah gelas seperti pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton Dengan Filler

| No | Variasi Filler (%) | Modulus Elastisitas (Kg/cm ²) | Penambahan (%) |
|----|--------------------|---|----------------|
| 1 | 0 | 161537.100 | 0 |
| 2 | 15 | 257853.168 | 59.625 |
| 3 | 17.5 | 366727.273 | 127.024 |
| 4 | 20 | 287073.460 | 77.714 |
| 5 | 22.5 | 255925.258 | 58.431 |
| 6 | 25 | 241219.996 | 49.328 |

Dari data hasil pengujian kuat tarik, selanjutnya digambarkan dalam bentuk grafik untuk diketahui pengaruh substitusi variasi limbah gelas terhadap modulus elastisitas.



Gambar 5.7 Hubungan Variasi Filler Dengan Modulus Elastisitas

Berdasarkan Gambar 5.7 dan Tabel 5.7 menunjukkan bahwa akibat substitusi filler limbah gelas kedalam adukan beton akan meningkatkan nilai modulus elastisitas. Modulus elastisitas terbesar dicapai oleh kandungan filler limbah gelas variasi 17.5 % yang mengalami peningkatan lebih dari 100 % yaitu sebesar 27,539 kg/cm² atau 156.438 %. Kuat modulus elastisitas untuk beton normal berdasarkan rumus empiris $4700\sqrt{f_c}$ adalah 222940.58 Kg/cm². Sedangkan hasil daari penelitian adalah 161537.100 Kg/cm². Dari hasil tersebut terdapat selisih yang cukup besar yaitu -38.012 %. Hal tersebut karena

keterbatasan sampel dan pemilihan sampel yang kurang tepat. Selain itu disebabkan juga kurangnya ketelitian pembacaan dial pada saat pengujian.

Hal yang terpenting yang perlu diperhatikan dalam pengujian tegangan-regangan adalah kondisi permukaan benda uji silinder. Permukaan yang lebih rata akan menghasilkan nilai modulus elastisitas yang cukup representatif karena distribusi beban akan tersebar secara merata keseluruhan permukaan benda uji.

Seperti yang telah diuraikan diatas bahwa semakin tegak suatu kurva dan memiliki garis linier yang panjang maka nilai modulus elastisitas beton akan meningkat seiring dengan meningkat pula kuat desaknya. Hal ini dapat dilihat bahwa kuat desak pada variasi 17,5 % mengalami kuat desak yang cukup tinggi yaitu 22,454 MPa atau sekitar 6,475 % meningkat dari beton normalnya. Selain itu kurva tegangan-regangan juga dipengaruhi oleh karakteristik agregat yang digunakan dan faktor pengujian seperti alat uji dan kecepatan pembebanan. Daerah terlemah pada beton adalah daerah antara pasta semen dengan agregat kasar. Penggunaan agregat kasar batu pecah yang memiliki permukaan kasar akan mengurangi hal tersebut, sehingga meningkatkan kuat tekan dan memperkecil deformasi yang terjadi akibat pembebanan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai perilaku struktur dan balok dengan substitusi limbah gelas yang telah diuraikan, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Substitusi limbah gelas dengan prosentase 25 % dari berat semen pada adukan beton mampu meningkatkan kuat desak silinder beton sebesar 7,179 %, yaitu dari 21.089 Mpa pada beton normal menjadi 22,603 Mpa.
2. Kuat tarik beton menurun seiring dengan bertambahnya prosentase substitusi filler limbah gelas.
3. Kuat lentur beton menurun seiring dengan bertambahnya prosentase substitusi filler limbah gelas.
4. Substitusi limbah gelas dengan prosentase 17,5 % dari berat semen pada adukan beton mampu meningkatkan modulus elastisitas sebesar 127,024 % yaitu dari 161537.100 kg/cm² pada beton normalnya menjadi 366727.273 kg/cm².

6.2 SARAN

Untuk memperoleh pengetahuan lebih mendalam mengenai beton dengan substitusi limbah gelas maka perlu diadakan penelitian lebih lanjut, dan beberapa saran yang diberikan diantaranya yaitu :

1. Untuk penelitian mendatang agar permukaan silinder diratakan agar pada saat pengujian pembebanannya lebih merata.
2. Untuk penelitian selanjutnya agar mendapatkan hasil yang lebih valid jumlah sample balok untuk tiap variasi perlu ditambah.
3. Pada saat pengujian perlu diperhatikan ketelitian pengamatan dalam membaca "Dial" dan munculnya retak awal sehingga didapat data yang lebih valid.
4. Perlu dicoba untuk pengujian kekuatan beton pada umur yang berbeda.
5. Pengawasan lebih teliti pada pelaksanaan penimbangan, pencampuran serta pengadukan bahan.
6. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik nilai slump diusahakan relatif sama.
7. Sebaiknya dalam melakukan pekerjaan ini lebih berhati-hati, karena pecahan limbah gelas sangat tajam dan dapat mudah melukai anggota badan.

DAFTAR PUSTAKA

- Murdock J.L & Brook M.K, 1986. Bahan dan Praktek Beton Erlangga, Jakarta
- Surdia T & Saito S, 1999, Pengetahuan Bahan Teknik PT Pradnya Paramita,
Jakarta
- Widodo A & Satriohadi B, 2001. Pengaruh Tepung Kaca Terhadap Kuat Desak
Beton Tugas Akhir UII Yogyakarta
- Tjokrodimulyo K, 1996, Teknologi Beton. Penerbit Nafiri, Yogyakarta
- Nawy E. G, 1998, Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar, PT Refika Aditama,
Bandung
- Yosefto E & Alamanda D, 2002. Pengaruh Filler Marmer Terhadap Kuat Desak
dan Kuat Tarik Beton, Tugas Akhir, UII, Yogyakarta
- Nurokhman, 2002, Pemanfaatan Limbah Gelas Untuk Bahan Susun Beton Serat,
Jurnal Wahana Teknik, Yogyakarta

LAMPFRAN



KARTU PRESENSI KONSULTASI
TUGAS AKHIR MAHASISWA

PERIODE KE IV (Juni 05 - Nop.05)

TAHUN Akademik 2004 - 2005

Sampai Akhir Nopember 05

| NO | N A M A | NO.MHS. | BID.STUDI |
|----|-------------------|------------|--------------|
| 1. | Osiyendi | 00 511 288 | Teknik Sipil |
| 2. | Yuyun Sri Mulyani | 00 511 304 | Teknik Sipil |

JUDUL TUGAS AKHIR

Manfaat Penggunaan Pecahan Limbah Gelas Sebagai Bahan Tambahan dalam campuran Adukan Beton

Dosen Pembimbing I : Iman Noor,Ir.H.MSCE

Dosen Pembimbing II : Iman Noor,Ir.H.MSCE



Jogjakarta , 2-Juni-05

a.n. Dekan

Ir.H.Munadhir, MS

Catatan :

Seminar : _____

Sidang : _____

Pendadaran : _____

LAMPIRAN 1

Pemeriksaan Agregat



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax : (0274) 895330 Yogyakarta 55584

HASIL PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

Penguji : Osiyendi Ditest tanggal : 08 Juni 2005
Yuyun Srimulyani
Pasir asal : Merapi, Kaliurang
Keperluan : Tugas Akhir

| | |
|--|-------------------------|
| Berat pasir kondisi jenuh kering muka | 500 gram |
| Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt) | 960 gram |
| Berat piknometer berisi air (B) | 672 gram |
| Berat jenis jenuh kering muka $[500 / (B+500-Bt)]$ | 2,36 gr/cm ³ |

Yogyakarta, 10 Juni 2005


LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Lampiran 1.1



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax : (0274) 895330 Yogyakarta 55584

HASIL PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

Penguji : Osiyendi Ditest tanggal : 08 Juni 2005
Yuyun Srimulyani
Kerikil asal : Kali Clereng, Kulonprogo
Keperluan : Tugas Akhir

| | |
|--|-------------------------|
| Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (B) | 5000 gram |
| Berat kerikil dalam air (Ba) | 2925 gram |
| Berat jenis jenuh kering muka $[B / (B - Ba)]$ | 2,41 gr/cm ³ |

Yogyakarta, 10 Juni 2005


LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK UII

Lampiran 1.2



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jln. Kaliurang Km. 14.4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax (0274) 895330 Yogyakarta 55584

HASIL PEMERIKSAAN BUTIRAN YANG LEWAT AYAKAN NO.200

Penguji : Osiyendi Ditest tanggal : 08 Juni 2005
Yuyun Srimulyani
Pasir asal : Merapi, Kaliurang
Keperluan : Tugas Akhir

| | |
|--|------------|
| Berat agregat awal sebelum dicuci (W1) | 500 gram |
| Berat setelah dicuci (W2) | 492,9 gram |
| Berat yang lewat ayakan no.200 (W1-W2) | 7,1 gram |
| Berat yang lewat ayakan no.200 $[(W1-W2)/W1] \times 100\%$ | 1,42 % |

Yogyakarta, 10 Juni 2005


LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

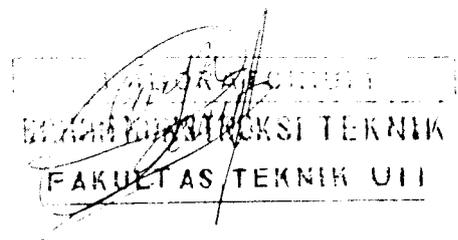
Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax. (0274) 895330 Yogyakarta 55584

HASIL PEMERIKSAAN BERAT VOLUME AGREGAT HALUS

Penguji : Osiyendi
 : Yuyun Srimulyani
Pasir asal : Merapi, Kaliurang
Keperluan : Tugas Akhir
Ditests tanggal : 08 Juni 2005

| | |
|---|---------------------------|
| Berat tabung (W1) | 4600 gram |
| Berat tabung + agregat kering tungku (W2) | 7600 gram |
| Berat agregat bersih (W2-W1) | 3000 gram |
| Volume tabung (V) | 1570 cm ³ |
| Berat volume [(W2-W1) / V] | 1,91 gram/cm ³ |

Yogyakarta, 10 Juni 2005





**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

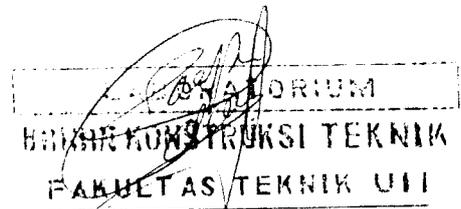
Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax (0274) 895330 Yogyakarta 55584

HASIL PEMERIKSAAN BERAT VOLUME AGREGAT KASAR

Penguji : Osiyendi Ditest tanggal : 08 Juni 2005
Yuyun Srimulyani
Kerikil asal : Kali Clereng, Kulonprogo
Keperluan : Tugas Akhir

| | |
|---|---------------------------|
| Berat tabung (W1) | 4600 gram |
| Berat tabung + agregat kering tungku (W2) | 7100 gram |
| Berat agregat bersih (W2-W1) | 2500 gram |
| Volume tabung (V) | 1570 cm ³ |
| Berat volume [(W2-W1) / V] | 1,59 gram/cm ³ |

Yogyakarta, 10 Juni 2005





**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax (0274) 895330 Yogyakarta 55584

DATA MODULUS HALUS BUTIR (MHB) AGREGAT HALUS

Penguji : Osiyendi Ditest tanggal : 08 Juni 2005
Yyun Srimulyani
Pasir asal : Merapi, Kaliurang
Keperluan : Tugas Akhir

| Lubang ayakan (mm) | Berat tertinggal (gram) | Berat tertinggal (%) | Berat tertinggal komulatif (%) | Persen lolos komulatif (%) |
|-----------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| 40,00 | | | | |
| 20,00 | | | | |
| 10,00 | | | | |
| 4,80 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 2,40 | 87,1 | 5,85 | 5,85 | 94,15 |
| 1,20 | 296,1 | 19,87 | 25,72 | 74,28 |
| 0,60 | 640,5 | 42,98 | 68,7 | 31,3 |
| 0,30 | 336,3 | 22,57 | 91,27 | 8,73 |
| 0,15 | 104,5 | 7,01 | 98,28 | 1,72 |
| Sisa | 25,7 | 1,72 | - | - |
| Jumlah | 1490,2 | 100 | 289,82 | - |

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{289,82}{100} = 2,8982$$

Yogyakarta, 10 Juni 2005


LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK UII

Lampiran 1.6



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jln. Kaliurang Km. 14.4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax : (0274) 895330 Yogyakarta 55584

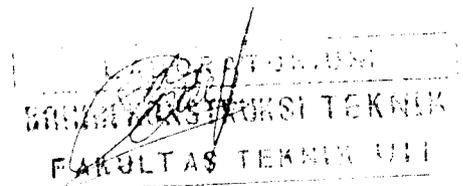
DATA MODULUS HALUS BUTIR (MIIB) AGREGAT KASAR

Penguji : Osiyendi Ditest tanggal : 08 Juni 2005
Yuyun Srimulyani
Kerikil asal : Kali Clereng, Kulonprogo
Keperluan : Tugas Akhir

| Lubang ayakan (mm) | Berat tertinggal (gram) | Berat tertinggal (%) | Berat tertinggal komulatif (%) | Persen lolos komulatif (%) |
|-----------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| 40,00 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 20,00 | 146,8 | 7,69 | 7,69 | 92,31 |
| 10,00 | 937,6 | 49,08 | 56,77 | 43,23 |
| 4,80 | 825,7 | 43,23 | 100 | 0 |
| 2,40 | | | 100 | |
| 1,20 | | | 100 | |
| 0,60 | | | 100 | |
| 0,30 | | | 100 | |
| 0,15 | | | 100 | |
| Sisa | | | - | |
| Jumlah | 1910,1 | 100 | 664,46 | |

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{664,46}{100} = 6,6446$$

Yogyakarta, 10 Juni 2005



Lampiran 1.7



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax (0274) 895330 Yogyakarta 55584

GRADASI PASIR

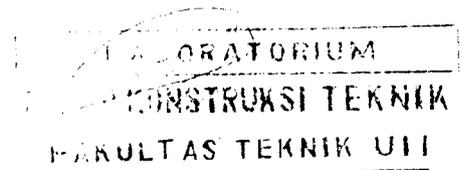
| Lubang ayakan (mm) | Persen butir agregat yang lewat ayakan | | | |
|-----------------------|--|-----------|------------|-----------|
| | Daerah I | Daerah II | Daerah III | Daerah IV |
| 10 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 4,80 | 90-100 | 90-100 | 90-100 | 95-100 |
| 2,40 | 60-95 | 75-100 | 85-100 | 95-100 |
| 1,20 | 30-70 | 55-90 | 75-100 | 90-100 |
| 0,60 | 15-34 | 35-59 | 60-79 | 80-100 |
| 0,30 | 5-20 | 8-30 | 12-40 | 15-50 |
| 0,15 | 0-10 | 0-10 | 0-10 | 0-15 |

Keterangan : Daerah I : Pasir kasar
Daerah II : Pasir agak kasar
Daerah III : Pasir agak halus
Daerah IV : Pasir halus

Hasil analisa ayakan masuk daerah : 2 (dua)

Jenis pasir : agak kasar

Yogyakarta, 10 Juni 2005



Lampiran 1.8



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax : (0274) 895330 Yogyakarta 55584

GRADASI KERIKIL

| Lubang ayakan (mm) | Persen berat butir agregat yang lewat ayakan | |
|--------------------|--|--------|
| | Besarnya butir maksimum | |
| | 40 mm | 20 mm |
| 40,00 | 90-100 | 100 |
| 20,00 | 30-70 | 95-100 |
| 10,00 | 10-35 | 25-55 |
| 4,80 | 0-5 | 0-10 |

Hasil analisa ayakan, besar butir maksimum masuk 20 mm.

Yogyakarta, 10 Juni 2005

LABORATORIUM
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Lampiran 1.9



HASIL PEMERIKSAAN BERAT JENIS LIMBAH GLAS

Penguji : Osiyendi
Yuyun Srimulyani

Ditests tanggal : 08 Juni 2005

| | |
|--|---------------------------|
| Berat Gelas | 300 gram |
| Berat piknometer berisi gelas dan air (Bt) | 751 gram |
| Berat piknometer berisi air (B) | 652 gram |
| Berat jenis jenuh kering muka $[300 / (B + 300 - Bt)]$ | 1,4925 gr/cm ³ |

Yogyakarta, 10 Juni 2005

LABORATORIUM
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK UII

LAMPIRAN 2

Perhitungan Campuran Beton

PERHITUNGAN CAMPURAN BETON MIX DESIGN
Dengan Metode DOE (Departement of Environtment)

- f_c = 22,5 MPa
- Jenis Semen = biasa
- Jenis Kerikil = batu pecah
- Ukuran Maks Kerikil = 20 mm
- Nilai Slump = 100 mm = 10 cm
- Jenis Pasir = agak kasar (Golongan 2)
- Berat Jenis Pasir = 2,36 t/m³
- Berat Jenis Kerikil/Split = 2,41 t/m³

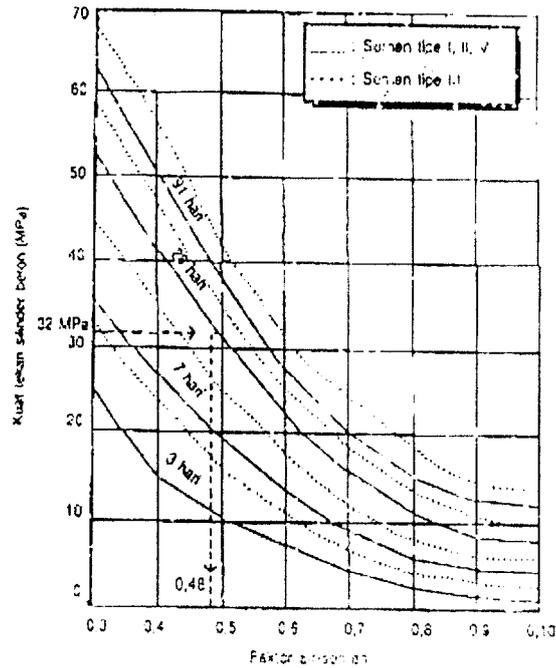
1. Menetapkan kuat tekan beton yang disyaratkan pada 28 hari yaitu $f_c = 22,5$ Mpa
2. Menetapan nilai deviasi standar (S) = 5,6 Mpa

| Tingkat pengendalian mutu | Sd (MPa) |
|---------------------------|----------|
| Memuaskan | 2,8 |
| Sangat baik | 3,5 |
| Baik | 4,2 |
| Cukup | 5,6 |
| Jelek | 7,0 |
| Tanpa kendali | 8,4 |

3. Perhitungan nilai tambah (M) = 12 MPa
4. Menetapkan kuat tekan rata-rata yang direncanakan
 $f_{cr} = f_c + M$
 $= 22,5 + 12$
 $= 34,5$ MPa
5. Menetapkan jenis semen
 Digunakan jenis semen biasa
6. Menetapkan jenis agregat
 Digunakan jenis kerikil batu pecah

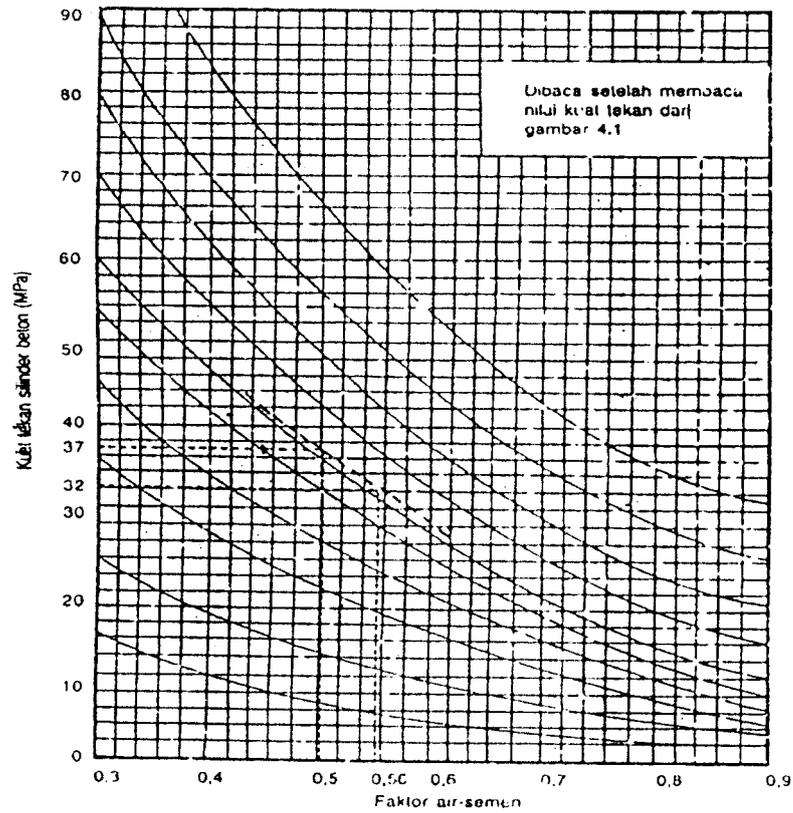
7. Menetapkan faktor air semen (FAS)

Cara 1 : Dari gambar hubungan fas dan kuat tekan rata-rata silinder beton dibawah dengan $f_{cr} = 34.5$ Mpa pada umur 28 hari didapat 0.46



Cara 2 : Dari tabel perkiraan kuat tekan beton dengan fas = 0.50 jenis semen I, batu pecah pada umur 28 hari dan dilihat dalam gambar mencari fas didapat 0.52

| Jenis semen | Jenis agregat kasar (kerikil) | Umur beton (hari) | | | |
|-------------|-------------------------------|-------------------|----|----|----|
| | | 3 | 7 | 28 | 91 |
| I,II,III | Alami | 17 | 23 | 33 | 40 |
| | Batu pecah | 19 | 27 | 37 | 45 |
| IV | Alami | 21 | 28 | 38 | 44 |
| | Batu pecah | 25 | 33 | 44 | 48 |



Cara 3 : Didapat nilai fas 0,50

Diambil yang terkecil yaitu 0,46

8. Menetapkan nilai slump = 100 mm
9. Menetapkan kebutuhan air (A) = 225 liter

| Besarnya ukuran maks kerikil (mm) | Jenis batuan | Slump (mm) | | | |
|-----------------------------------|--------------|------------|-------|-------|--------|
| | | 0-10 | 10-30 | 30-60 | 60-180 |
| 10 | Alami | 150 | 180 | 205 | 225 |
| | Batu pecah | 180 | 205 | 230 | 250 |
| 20 | Alami | 135 | 160 | 180 | 195 |
| | Batu pecah | 170 | 190 | 210 | 225 |
| 40 | Alami | 115 | 140 | 160 | 175 |
| | Batu pecah | 155 | 175 | 190 | 205 |

10. Menetapkan kebutuhan semen

$$= \frac{\text{air}}{\text{fas}} = \frac{225}{0,46} = 489,130 \text{ kg} \approx 490 \text{ kg}$$

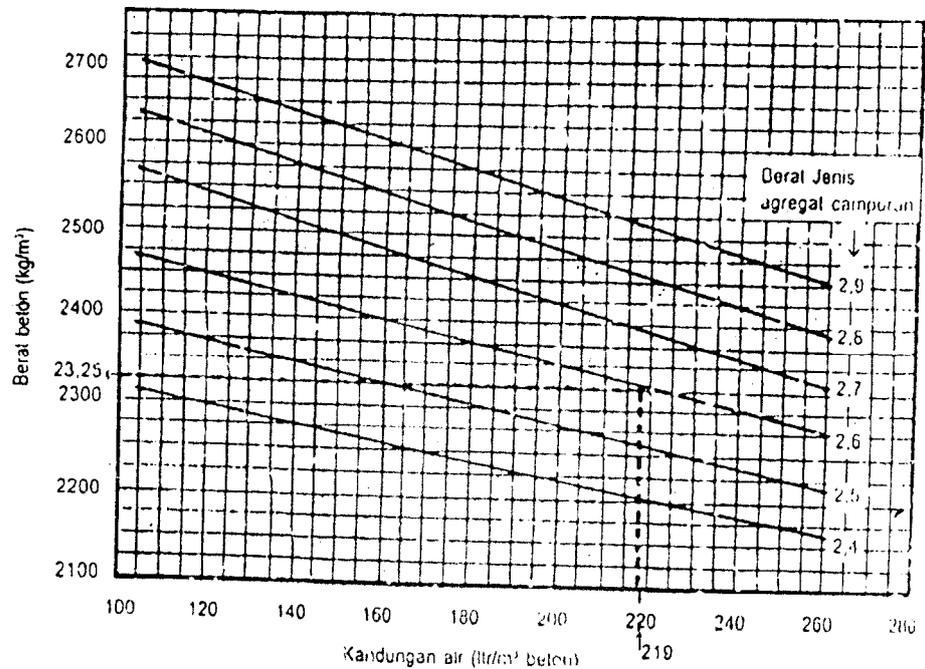
11. Perbandingan pasir dan kerikil

Dari grafik persentase agregat halus terhadap agregat keseluruhan untuk ukuran butir maksimum 20 mm didapat 44 %

12. Menentukan berat jenis agregat campuran pasir dan kerikil

$$\frac{44}{100} \cdot 2,36 + \frac{56}{100} \cdot 2,41 = 2,388$$

13. Menentukan berat jenis beton = 2180 kg/m³



14. Menentukan kebutuhan pasir dan kerikil

$$= 2180 - 225 - 490 = 1465 \text{ kg}$$

15. Menentukan kebutuhan pasir

$$= 44 \% \cdot 1465 = 644.6 \text{ kg dibulatkan } 645 \text{ kg}$$

16. Menentukan kebutuhan kerikil

$$= 1465 - 645 = 820 \text{ kg}$$

Kesimpulan :

Untuk 1 m³ beton dibutuhkan

- a. Air = 225 liter
- b. Semen = 490 kg
- c. Pasir = 645 kg
- d. Kerikil = 820 kg

LAMPIRAN 3

*Perhitungan Kebutuhan Limbah Gelas
dan Cara Penghalusan*

PERHITUNGAN KEBUTUHAN LIMBAH GELAS

Berat tepung limbah gelas merupakan substitusi dari berat semen.

Berat semen per 1 m^3 adalah 490 kg.

Hasil perhitungan tepung limbah gelas dalam berbagai variasi per 1 m^3 dalam adukan

| Variasi Adukan | Kebutuhan Tepung Gelas per 1 m^3 (kg) |
|----------------|---|
| 15 % | 73,5 |
| 17,5 % | 85,75 |
| 20 % | 98 |
| 22,5 % | 110,25 |
| 25 % | 122,5 |

Kebutuhan gelas = $15 \% \times 490 = 73,5 \text{ kg}$

Hasil perhitungan kebutuhan tepung limbah gelas dalam berbagai variasi per satu kali adukan (mix design)

Ukuran silinder = 10 cm x 20 cm

Volume silinder (V) = $\frac{1}{4} \pi d^2 t$

$$= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (0,1)^2 \cdot 0,2$$

$$= 0,00157 \text{ m}^3$$

FORMULIR FOTOKOPI
PERPUSTAKAAN FTSP UII

UNTUK MHS UII NON FTSP

NAMA :
NO. MHS. :
ASAL PT/ INST./ LEM. IDENTITAS :

| NO | JUDUL PUSTAKA | PENGARANG | HLM. | JUMLAH |
|----|---------------|-----------|------|--------|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |

Mengetahui
Petugas Perpustakaan

Yogyakarta.....
Pemohon,



Ukuran Balok = 40 cm x 10 cm x 10 cm

Volume balok (Vb) = P x L x T

$$= 0,4 \times 0,1 \times 0,1$$

$$= 0,004 \text{ m}^3$$

Benda uji yang dibutuhkan per adukan, per variasi :

- Silinder = 18 buah

- Balok = 3 buah

Contoh perhitungan tepung gelas tiap satu kali adukan adalah

- Silinder = $73,5 \times 18 \times 0,00157 \times 1,5 = 3,116 \text{ kg}$

- Balok = $73,5 \times 3 \times 0,004 \times 1,5 = 1,323 \text{ kg}$

Tabel kebutuhan tepung gelas tiap variasi untuk balok dan silinder dalam 1 kali adukan

| Variasi | Kebutuhan Gelas untuk silinder (kg) | Kebutuhan gelas untuk balok (kg) |
|---------|-------------------------------------|----------------------------------|
| 15 % | 3,116 | 1,323 |
| 17,5 % | 3,635 | 1,544 |
| 20 % | 4,154 | 1,764 |
| 22,5 % | 4,673 | 1,985 |
| 25 % | 5,193 | 2,205 |

Jadi kebutuhan tepung limbah gelas seluruhnya :

$$= 20,771 + 8,821 = 29,592 \text{ kg}$$

PROSES PENGHALUSAN LIMBAH GELAS

Untuk mencapai kehalusan yang diinginkan yaitu #200 ASTM proses yang dilakukan melalui beberapa tahap antara lain :

1. Mula-mula limbah yang akan digunakan dibersihkan dari campuran material-material lainnya..
2. Limbah gelas yang sudah bersih kemudian dipecah menjadi beberapa bagian agar mudah dimasukkan ke dalam mesin pemecah batu (*stone crusher*).
3. Pecahan Gelas yang sudah hancur kemudian dimasukkan ke dalam mesin penghalus (*ball mill*) di dalam *ball mill* dimasukkan beberapa batangan baja dengan tinggi \pm 25 cm dan diameter \pm 2 cm. agar kehalusan yang diinginkan bisa maksimal.
4. Setelah menjadi bubuk. limbah gelas ini kemudian disaring dengan menggunakan satu set saringan dengan ukuran #40, #65, #150, #200 . kemudian digetarkan menggunakan mesin *vibrator*.
5. Bubuk limbah gelas yang sudah halus (#200 ASTM) diambil dan dimasukkan ke dalam kantong plastik. sedangkan yang masih belum halus (#40, #65, #150) dimasukkan kembali ke dalam mesin *ball mill* digiling kembali dan dilakukan penyaringan ulang, begitu seterusnya sampai bubuk gelas yang dibutuhkan terpenuhi.

LAMPIRAN 4

Pengujian Kuat Desak

HASIL PENGUJIAN KUAT DESAK

| No | Kode Benda Uji | Umur (hari) | Diameter (cm) | Tinggi (cm) | Berat (kg) | Luas (m ²) | Volume (m ³) | B _j (kg/cm ³) | Beban max (KN) | f _c (Mpa) | Konversi | f _c (Mpa) |
|----|----------------|-------------|---------------|-------------|------------|------------------------|--------------------------|--------------------------------------|----------------|----------------------|----------|----------------------|
| 1 | BN | 28 | 10.44 | 19.98 | 3.95 | 0.009 | 0.002 | 2310.633 | 178 | 20.804 | 1.04 | 21.636 |
| 2 | | 28 | 10.45 | 19.655 | 3.9 | 0.009 | 0.002 | 2314.671 | 157 | 18.315 | 1.04 | 19.047 |
| 3 | | 28 | 10.49 | 20.1 | 3.95 | 0.009 | 0.002 | 2274.995 | 160 | 18.522 | 1.04 | 19.263 |
| 4 | | 28 | 10.354 | 20.115 | 4 | 0.008 | 0.002 | 2362.947 | 167 | 19.844 | 1.04 | 20.638 |
| 5 | | 28 | 10.49 | 19.785 | 3.95 | 0.009 | 0.002 | 2311.215 | 185 | 21.417 | 1.04 | 22.273 |
| 6 | | 28 | 10.475 | 20.25 | 3.95 | 0.009 | 0.002 | 2264.615 | 162 | 18.808 | 1.04 | 19.560 |
| 7 | | 28 | 10.495 | 20.09 | 3.95 | 0.009 | 0.002 | 2273.959 | 185 | 21.396 | 1.04 | 22.252 |
| 8 | | 28 | 10.395 | 19.975 | 3.9 | 0.008 | 0.002 | 2301.755 | 198 | 23.342 | 1.04 | 24.276 |
| 9 | | 28 | 10.495 | 20.305 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2278.361 | 180 | 20.818 | 1.04 | 21.651 |
| 10 | | 28 | 10.415 | 20.085 | 3.95 | 0.009 | 0.002 | 2309.602 | 190 | 22.313 | 1.04 | 23.206 |
| 11 | | 28 | 10.49 | 21.55 | 4.05 | 0.009 | 0.002 | 2175.640 | 182 | 21.069 | 1.04 | 21.912 |
| 12 | | 28 | 10.495 | 19.635 | 3.95 | 0.009 | 0.002 | 2326.653 | 160 | 18.505 | 1.04 | 19.245 |
| 13 | | 28 | 10.575 | 19.725 | 3.95 | 0.009 | 0.002 | 2281.128 | 162 | 18.454 | 1.04 | 19.192 |
| 1 | BS 15% | 28 | 10.4 | 19.76 | 4 | 0.008 | 0.002 | 2384.167 | 160 | 18.844 | 1.04 | 19.598 |
| 2 | | 28 | 10.41 | 20.356 | 4.1 | 0.009 | 0.002 | 2367.665 | 180 | 21.159 | 1.04 | 22.006 |
| 3 | | 28 | 10.41 | 19.856 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2368.084 | 180 | 21.159 | 1.04 | 22.006 |
| 4 | | 28 | 10.454 | 19.71 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2365.586 | 149 | 17.368 | 1.04 | 18.063 |
| 5 | | 28 | 10.495 | 19.89 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2325.898 | 140 | 16.192 | 1.04 | 16.839 |
| 6 | | 28 | 10.48 | 20.21 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2295.628 | 183 | 21.226 | 1.04 | 22.075 |
| 7 | | 28 | 10.49 | 19.855 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2332.220 | 160 | 18.522 | 1.04 | 19.263 |
| 8 | | 28 | 10.495 | 19.9 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2324.729 | 207 | 23.941 | 1.04 | 24.898 |
| 9 | | 28 | 10.48 | 20 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2319.732 | 187 | 21.689 | 1.04 | 22.557 |

| | | | | | | | | | | | | |
|----|----------|----|--------|--------|-----|-------|-------|----------|-----|--------|------|--------|
| 10 | | 28 | 10.44 | 20.256 | 4.1 | 0.009 | 0.002 | 2365.699 | 222 | 25.947 | 1.04 | 26.985 |
| 11 | | 28 | 10.48 | 20.39 | 4.1 | 0.009 | 0.002 | 2332.246 | 225 | 26.097 | 1.04 | 27.141 |
| 12 | | 28 | 10.42 | 19.856 | 4.1 | 0.009 | 0.002 | 2422.629 | 175 | 20.532 | 1.04 | 21.353 |
| 13 | | 28 | 10.11 | 20.254 | 3.9 | 0.008 | 0.002 | 2399.837 | 169 | 21.063 | 1.04 | 21.905 |
| 1 | BS 17.5% | 28 | 10.55 | 20.9 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2190.479 | 237 | 27.125 | 1.04 | 28.210 |
| 2 | | 28 | 10.31 | 20.8 | 4 | 0.008 | 0.002 | 2304.675 | 168 | 20.134 | 1.04 | 20.939 |
| 3 | | 28 | 10.495 | 19.99 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2314.263 | 175 | 20.240 | 1.04 | 21.049 |
| 4 | | 28 | 10.41 | 19.98 | 4.1 | 0.009 | 0.002 | 2412.222 | 205 | 24.098 | 1.04 | 25.062 |
| 5 | | 28 | 10.35 | 19.86 | 4 | 0.008 | 0.002 | 2395.137 | 174 | 20.692 | 1.04 | 21.520 |
| 6 | | 28 | 10.35 | 19.81 | 4.1 | 0.008 | 0.002 | 2461.212 | 184 | 21.881 | 1.04 | 22.756 |
| 7 | | 28 | 10.33 | 19.93 | 3.9 | 0.008 | 0.002 | 2336.076 | 165 | 19.698 | 1.04 | 20.486 |
| 8 | | 28 | 10.49 | 19.86 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2331.633 | 170 | 19.680 | 1.04 | 20.467 |
| 9 | | 28 | 10.41 | 19.79 | 3.9 | 0.009 | 0.002 | 2316.582 | 180 | 21.159 | 1.04 | 22.006 |
| 10 | | 28 | 10.31 | 20.31 | 4.1 | 0.008 | 0.002 | 2419.285 | 165 | 19.774 | 1.04 | 20.565 |
| 11 | | 28 | 10.35 | 20.7 | 4 | 0.008 | 0.002 | 2297.943 | 200 | 23.784 | 1.04 | 24.735 |
| 12 | | 28 | 10.41 | 20.33 | 4.1 | 0.009 | 0.002 | 2370.693 | 170 | 19.984 | 1.04 | 20.783 |
| 13 | | 28 | 10.36 | 20.7 | 4 | 0.008 | 0.002 | 2293.509 | 189 | 22.432 | 1.04 | 23.330 |
| 1 | BS 20% | 28 | 10.49 | 19.89 | 3.9 | 0.009 | 0.002 | 2269.913 | 155 | 17.944 | 1.04 | 18.661 |
| 2 | | 28 | 10.49 | 20 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2315.311 | 117 | 13.545 | 1.04 | 14.086 |
| 3 | | 28 | 10.42 | 19.89 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2359.501 | 185 | 21.705 | 1.04 | 22.574 |
| 4 | | 28 | 10.39 | 20.056 | 4.1 | 0.008 | 0.002 | 2412.341 | 152 | 17.937 | 1.04 | 18.654 |
| 5 | | 28 | 10.356 | 19.91 | 3.9 | 0.008 | 0.002 | 2326.696 | 131 | 15.560 | 1.04 | 16.183 |
| 6 | | 28 | 10.49 | 19.956 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2320.416 | 145 | 16.786 | 1.04 | 17.457 |
| 7 | | 28 | 10.056 | 20.9 | 4 | 0.008 | 0.002 | 2410.980 | 170 | 21.416 | 1.04 | 22.272 |
| 8 | | 28 | 10.49 | 19.85 | 3.9 | 0.009 | 0.002 | 2274.487 | 153 | 17.712 | 1.04 | 18.421 |
| 9 | | 28 | 10.49 | 20.155 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2297.505 | 161 | 18.638 | 1.04 | 19.384 |
| 10 | | 28 | 10.41 | 19.92 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2360.476 | 152 | 17.868 | 1.04 | 18.583 |

| | | | | | | | | | | | | |
|----|----------|----|--------|--------|------|-------|-------|----------|-----|--------|------|--------|
| 11 | | 28 | 10.49 | 20 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2315.311 | 153 | 17.712 | 1.04 | 18.421 |
| 12 | | 28 | 10.49 | 19.856 | 3.9 | 0.009 | 0.002 | 2273.800 | 166 | 19.217 | 1.04 | 19.986 |
| 13 | | 28 | 10.454 | 20.7 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2252.449 | 154 | 17.951 | 1.04 | 18.669 |
| 1 | BS 22.5% | 28 | 10.355 | 19.985 | 3.9 | 0.008 | 0.002 | 2318.412 | 145 | 17.227 | 1.04 | 17.916 |
| 2 | | 28 | 10.49 | 19.855 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2332.220 | 182 | 21.069 | 1.04 | 21.912 |
| 3 | | 28 | 10.475 | 19.775 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2348.366 | 152 | 17.647 | 1.04 | 18.353 |
| 4 | | 28 | 10.355 | 19.855 | 4 | 0.008 | 0.002 | 2393.427 | 220 | 26.137 | 1.04 | 27.182 |
| 5 | | 28 | 10.455 | 19.857 | 3.9 | 0.009 | 0.002 | 2288.934 | 115 | 13.402 | 1.04 | 13.938 |
| 6 | | 28 | 10.453 | 19.855 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2348.759 | 203 | 23.667 | 1.04 | 24.614 |
| 7 | | 28 | 10.475 | 20.352 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2281.787 | 115 | 13.351 | 1.04 | 13.885 |
| 8 | | 28 | 10.475 | 20.212 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2297.592 | 153 | 17.763 | 1.04 | 18.473 |
| 9 | | 28 | 10.355 | 19.885 | 4 | 0.008 | 0.002 | 2389.816 | 160 | 19.009 | 1.04 | 19.769 |
| 10 | | 28 | 10.485 | 19.755 | 3.9 | 0.009 | 0.002 | 2287.605 | 177 | 20.510 | 1.04 | 21.330 |
| 11 | | 28 | 10.475 | 20.255 | 4.1 | 0.009 | 0.002 | 2350.033 | 145 | 16.834 | 1.04 | 17.507 |
| 12 | | 28 | 10.355 | 20.055 | 4 | 0.008 | 0.002 | 2369.559 | 156 | 18.533 | 1.04 | 19.275 |
| 13 | | 28 | 10.475 | 20.15 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2304.662 | 157 | 18.227 | 1.04 | 18.956 |
| 1 | BS 25% | 28 | 10.41 | 20.28 | 4.05 | 0.009 | 0.002 | 2347.556 | 195 | 22.923 | 1.04 | 23.839 |
| 2 | | 28 | 10.43 | 19.83 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2362.104 | 172 | 20.141 | 1.04 | 20.947 |
| 3 | | 28 | 10.455 | 19.854 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2347.979 | 172 | 20.045 | 1.04 | 20.947 |
| 4 | | 28 | 10.44 | 19.99 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2338.711 | 265 | 30.972 | 1.04 | 32.211 |
| 5 | | 28 | 10.57 | 20.9 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2182.198 | 170 | 19.383 | 1.04 | 20.159 |
| 6 | | 28 | 10.58 | 20.13 | 4.1 | 0.009 | 0.002 | 2317.923 | 190 | 21.623 | 1.04 | 22.488 |
| 7 | | 28 | 10.46 | 20.4 | 4.1 | 0.009 | 0.002 | 2340.026 | 170 | 19.793 | 1.04 | 20.585 |
| 8 | | 28 | 10.67 | 19.83 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2257.038 | 195 | 21.819 | 1.04 | 22.692 |
| 9 | | 28 | 10.356 | 19.91 | 4 | 0.008 | 0.002 | 2386.355 | 165 | 19.599 | 1.04 | 20.383 |
| 10 | | 28 | 10.48 | 19.76 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2347.907 | 200 | 23.197 | 1.04 | 24.125 |
| 11 | | 28 | 10.41 | 19.81 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2373.583 | 177 | 20.807 | 1.04 | 21.639 |

| | | | | | | | | | | | | |
|----|--|----|-------|--------|-----|-------|-------|----------|-----|--------|------|--------|
| 12 | | 28 | 10.31 | 20.27 | 4.1 | 0.008 | 0.002 | 2424.059 | 171 | 20.493 | 1.04 | 21.313 |
| 13 | | 28 | 10.41 | 20.256 | 4.1 | 0.009 | 0.002 | 2379.354 | 185 | 21.747 | 1.04 | 22.617 |

Contoh Perhitungan untuk mencari kuat desak benda uji silinder

$$P = 178 \text{ KN}$$

$$= 17800 \text{ kg}$$

$$d = 10.44 \text{ cm} = 0.1044 \text{ m}$$

$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 3.14 \cdot (0.1044 \text{ m})^2$$

$$= 0.00855 \text{ m}^2 = 85.5 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{tk} = \frac{P}{A} \cdot K$$

$$= \frac{17800}{85.5} \cdot 1.04$$

$$= 216.56 \text{ kg cm}^2$$

K = factor konversi (Murdock, L. J, 1986)

LAMPIRAN 5

Pengujian Kuat Tarik

HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK

| No | Kode Benda Uji | Diameter (cm) | Tinggi (cm) | Berat (kg) | Luas (m) | Volume (m) | BJ (kg/cm ³) | Beban max (KN) | Kuat Tarik (Mpa) | Kuat Tarik Rata-rata |
|----|----------------|---------------|-------------|------------|----------|------------|--------------------------|----------------|------------------|----------------------|
| 1 | BN | 10.425 | 20.355 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2303.388 | 140 | 4.202 | |
| 2 | | 10.475 | 20.350 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2282.012 | 124 | 3.705 | 3.399 |
| 3 | | 10.480 | 19.900 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2331.389 | 75 | 2.291 | |
| 1 | BS 15% | 10.390 | 20.100 | 4.1 | 0.008 | 0.002 | 2407.061 | 103 | 3.141 | |
| 2 | | 10.355 | 20.205 | 4.1 | 0.008 | 0.002 | 2410.766 | 118 | 3.592 | 3.364 |
| 3 | | 10.353 | 20.154 | 4.1 | 0.008 | 0.002 | 2417.801 | 110 | 3.358 | |
| 1 | BS 17.5% | 10.360 | 19.820 | 4 | 0.008 | 0.002 | 2395.340 | 75 | 2.326 | |
| 2 | | 10.470 | 20.700 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2245.570 | 112 | 3.292 | 2.895 |
| 3 | | 10.300 | 20.160 | 4 | 0.008 | 0.002 | 2382.459 | 100 | 3.067 | |
| 1 | BS 20% | 10.410 | 20.700 | 4.1 | 0.009 | 0.002 | 2328.319 | 100 | 2.956 | |
| 2 | | 10.454 | 20.155 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2313.356 | 101 | 3.053 | 2.753 |
| 3 | | 10.357 | 19.690 | 3.9 | 0.008 | 0.002 | 2352.238 | 72 | 2.249 | |
| 1 | BS 22.5% | 10.425 | 19.725 | 4.1 | 0.009 | 0.002 | 2436.380 | 107 | 3.314 | |
| 2 | | 10.450 | 20.175 | 4 | 0.009 | 0.002 | 2312.833 | 72 | 2.175 | 2.842 |
| 3 | | 10.495 | 19.995 | 3.9 | 0.009 | 0.002 | 2255.842 | 100 | 3.035 | |
| 1 | BS 25% | 10.590 | 20.590 | 4.1 | 0.009 | 0.002 | 2261.861 | 80 | 2.337 | |
| 2 | | 10.380 | 20.300 | 4.1 | 0.008 | 0.002 | 2387.940 | 85 | 2.569 | 2.565 |
| 3 | | 10.357 | 19.840 | 4 | 0.008 | 0.002 | 2394.312 | 90 | 2.790 | |

LAMPIRAN 6

Pengujian Kual Lentur

HASIL PENGUJIAN KUAT LENTUR

| No | Benda Uji | Kode | Panjang (cm) | Lebar (cm) | Tinggi (cm) | Berat (kg) | Beban max (N) | oilt (kg/cm ²) | oilt rata-rata |
|----|-----------|------|--------------|------------|-------------|------------|---------------|----------------------------|----------------|
| 1 | BN | LN1 | 40.2 | 10.057 | 10.29 | 9.7 | 1310 | 148.361 | |
| 2 | | LN2 | 39.9 | 10.14 | 10.17 | 9.75 | 1180 | 134.678 | 139.417 |
| 3 | | LN3 | 40.15 | 10.155 | 10.26 | 9.95 | 1200 | 135.211 | |
| 1 | BS 15% | LS1 | 40.2 | 10.15 | 10.255 | 9.35 | 1085 | 122.586 | |
| 2 | | LS2 | 40.25 | 10.11 | 10.31 | 9.4 | 1140 | 128.092 | 130.739 |
| 3 | | LS3 | 40.15 | 10.156 | 10.09 | 9.6 | 1215 | 141.540 | |
| 1 | BS 17.5% | LS4 | 40.1 | 10.2 | 10 | 9.8 | 970 | 114.403 | |
| 2 | | LS5 | 40 | 9.85 | 10.1 | 9.25 | 1010 | 120.621 | 128.592 |
| 3 | | LS6 | 40.2 | 9.55 | 9.9 | 9.35 | 1170 | 150.751 | |
| 1 | BS 20% | LS7 | 39.9 | 10.1 | 10.1 | 9.1 | 1065 | 123.731 | |
| 2 | | LS8 | 39.9 | 10.1 | 10 | 9.2 | 1045 | 123.848 | 128.896 |
| 3 | | LS9 | 40.2 | 10.1 | 10 | 9.1 | 1165 | 139.108 | |
| 1 | BS 22.5% | LS10 | 40.1 | 10.2 | 10.2 | 9.2 | 1140 | 129.232 | |
| 2 | | LS11 | 39.5 | 10 | 10.1 | 9 | 1015 | 117.908 | 126.429 |
| 3 | | LS12 | 40 | 9.95 | 10.2 | 9.3 | 1140 | 132.149 | |
| 1 | BS 25% | LS13 | 40 | 10.15 | 10 | 9.65 | 1400 | 165.517 | |
| 2 | | LS14 | 40 | 10.1 | 10.3 | 9.6 | 1130 | 126.551 | 140.971 |
| 3 | | LS15 | 40.2 | 10.21 | 10.1 | 9.5 | 1130 | 130.845 | |

LAMPIRAN 7

Pengujian Modulus Elastisitas

Modulus Elastisitas Beton Normal

Tinggi (Lo) = 20.775 cm

Diameter (d) = 10.333 cm

Luas (Ao) = $\frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} * 3.14 * 10.333^2 = 83.807 \text{ cm}^2$

Berat = 4.0 kg

| Beban KN | Kg | Al. (10 ⁻³) | | | Tegangan (kg/cm ²) | Regangan (10 ⁻³) | Koreksi Reg+k |
|-------------|----------|-------------------------|-----------|-----------|-----------------------------------|---------------------------------|------------------|
| | | Sampel 17 | Sampel 18 | Rata-rata | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 1019.71 | 12 | 12 | 12 | 12.167 | 0.578 | 0.686 |
| 20 | 2039.42 | 20 | 18 | 19 | 24.335 | 0.915 | 1.386 |
| 30 | 3059.13 | 31 | 33 | 32 | 36.502 | 1.540 | 2.102 |
| 40 | 4078.84 | 45 | 45 | 45 | 48.669 | 2.166 | 2.834 |
| 50 | 5098.55 | 52 | 56 | 54 | 60.837 | 2.599 | 2.607 |
| 60 | 6118.26 | 59 | 59 | 59 | 73.004 | 2.840 | 4.350 |
| 70 | 7137.97 | 69 | 69 | 69 | 85.172 | 3.321 | 5.138 |
| 80 | 8157.68 | 79 | 79 | 79 | 97.339 | 3.803 | 4.971 |
| 90 | 9177.39 | 90 | 100 | 95 | 109.506 | 4.573 | 6.779 |
| 100 | 10197.1 | 104 | 138 | 121 | 121.674 | 5.824 | 7.637 |
| 110 | 11216.81 | 196 | 196 | 196 | 133.841 | 9.434 | 8.523 |
| 120 | 12236.52 | 225 | 225 | 225 | 146.008 | 10.830 | 9.440 |
| 130 | 13256.23 | 230 | 230 | 230 | 158.176 | 11.071 | 10.392 |
| 140 | 14275.94 | 234 | 234 | 234 | 170.343 | 11.264 | 11.383 |
| 150 | 15295.65 | 240 | 240 | 240 | 182.510 | 11.552 | 12.418 |
| 160 | 16315.36 | 246 | 246 | 246 | 194.678 | 11.841 | 13.503 |
| 170 | 17335.07 | 250 | 250 | 250 | 206.845 | 12.034 | 14.647 |
| 180 | 18354.78 | 260 | 260 | 260 | 219.012 | 12.515 | 15.860 |
| 190 | 19374.49 | 352 | 352 | 352 | 231.180 | 16.943 | 17.157 |
| 200 | 20394.2 | 367 | 367 | 367 | 243.347 | 17.665 | 18.559 |
| 210 | 21413.91 | 372 | 372 | 372 | 255.515 | 17.906 | 20.094 |

Modulus Elastisitas (Ec) = σ/ϵ

Dimana:

σ = Tegangan pada 0,4 kuat tekan uji

ϵ = Regangan yang dihasilkan oleh tegangan

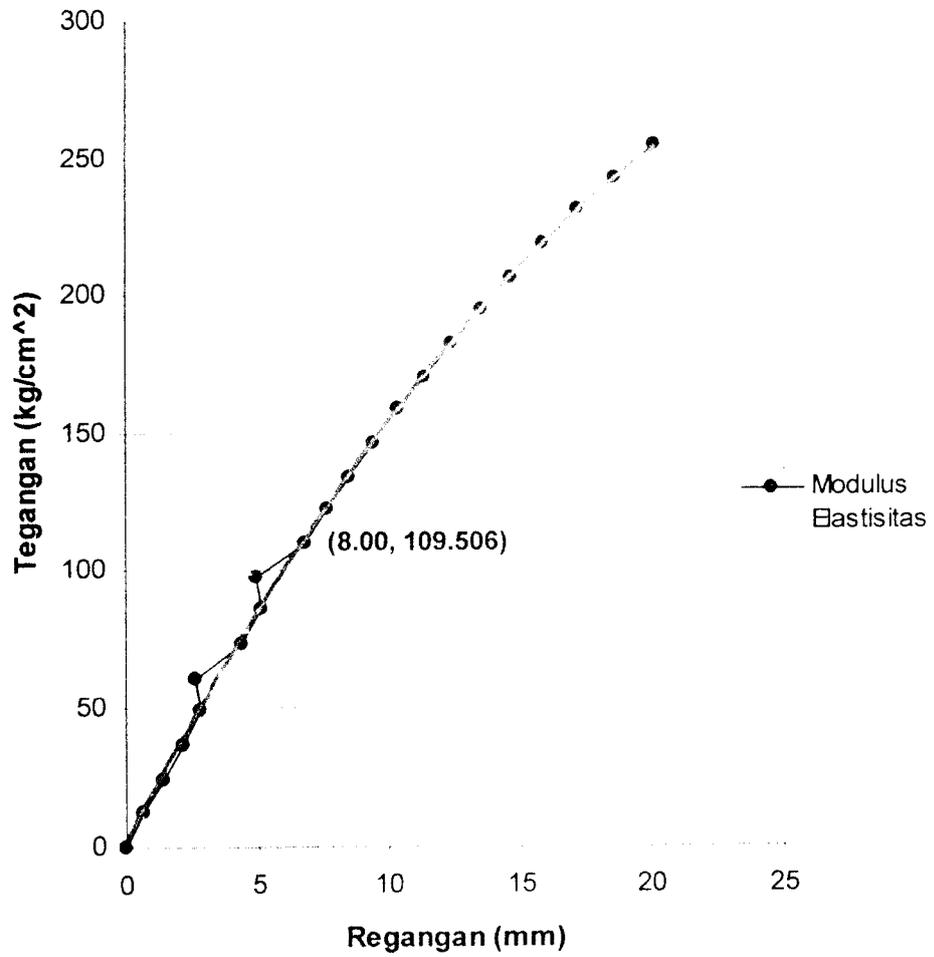
Penyelesaian:

$\sigma = 109.506$

$\epsilon = 6.779$

Maka Ec = 161537.160 Kg/cm²

**Grafik Tegangan Vs Regangan
BN**



Modulus Elastisitas Beton Variasi - BS 15 %

Tinggi (Lo) = 19.902 cm

Diameter (d) = 10.384 cm

Luas (Ao) = $\frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} \times 3.14 \times 10.384^2 = 84.645 \text{ cm}^2$

Berat = 4.1 kg

| Beban KN | Kg | ΔL (10^{-3}) | | | Tegangan (kg/cm ²) | Regangan (10^{-3}) | Koreksi Reg + k |
|-------------|----------|--------------------------|-----------|-----------|-----------------------------------|---------------------------|--------------------|
| | | Sampel 17 | Sampel 18 | Rata-rata | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.000 |
| 10 | 1019.71 | 6 | 5 | 5.5 | 12.047 | 0.276 | 0.415 |
| 20 | 2039.42 | 12 | 12 | 12 | 24.094 | 0.603 | 0.839 |
| 30 | 3059.13 | 17 | 19 | 18 | 36.141 | 0.904 | 1.273 |
| 40 | 4078.84 | 25 | 25 | 25 | 48.188 | 1.256 | 1.718 |
| 50 | 5098.55 | 32 | 34 | 33 | 60.235 | 1.658 | 2.175 |
| 60 | 6118.26 | 39 | 43 | 41 | 72.281 | 2.060 | 2.644 |
| 70 | 7137.97 | 49 | 55 | 52 | 84.328 | 2.613 | 3.127 |
| 80 | 8157.68 | 57 | 65 | 61 | 96.375 | 3.065 | 3.625 |
| 90 | 9177.39 | 65 | 75 | 70 | 108.422 | 3.517 | 4.139 |
| 100 | 10197.1 | 75 | 85 | 80 | 120.469 | 4.020 | 4.672 |
| 110 | 11216.81 | 84 | 96 | 90 | 132.516 | 4.522 | 5.225 |
| 120 | 12236.52 | 96 | 110 | 103 | 144.563 | 5.175 | 5.801 |
| 130 | 13256.23 | 106 | 122 | 114 | 156.610 | 5.728 | 6.402 |
| 140 | 14275.94 | 112 | 142 | 127 | 168.657 | 6.381 | 7.034 |
| 150 | 15295.65 | 135 | 161 | 148 | 180.704 | 7.436 | 7.700 |
| 160 | 16315.36 | 142 | 172 | 157 | 192.750 | 7.889 | 8.407 |
| 170 | 17335.07 | 162 | 200 | 181 | 204.797 | 9.095 | 9.164 |
| 180 | 18354.78 | 172 | 220 | 196 | 216.844 | 9.848 | 9.982 |
| 190 | 19374.49 | 184 | 240 | 212 | 228.891 | 10.652 | 10.881 |
| 200 | 20394.2 | 206 | 260 | 233 | 240.938 | 11.707 | 11.890 |
| 210 | 21413.91 | 231 | 281 | 256 | 252.985 | 12.863 | 13.063 |
| 220 | 22433.62 | 255 | 321 | 288 | 265.032 | 14.471 | 14.521 |
| 230 | 23453.33 | 306 | 362 | 334 | 277.079 | 16.782 | 16.729 |
| 240 | 24473.04 | 362 | | 362 | 289.126 | 18.189 | 19.192 |

Modulus Elastisitas (E_c) = σ/ϵ

Dimana:

σ = Tegangan pada 0,4 kuat tekan uji

ϵ = Regangan yang dihasilkan oleh tegangan

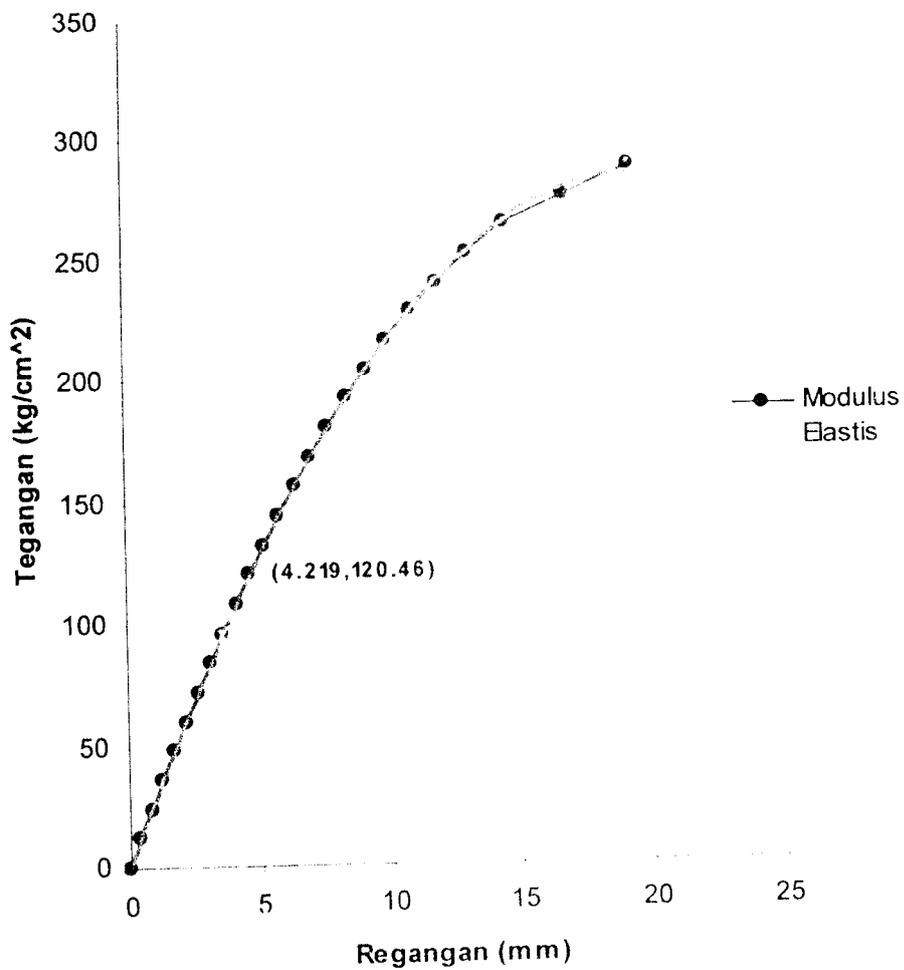
Penyelesaian:

$\sigma = 120.469$

$\epsilon = 4.672$

Maka E_c = 257853.168 Kg/cm²

Grafik Tegangan Vs Regangan BS - 15%



Modulus Elastisitas Beton Variasi - BS 17.5 %

Tinggi (Lo) = 20.03 cm

Diameter (d) = 10.39 cm

Luas (Ao) = $\frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} * 3.14 * 10.39^2 = 84.742 \text{ cm}^2$

Berat = 4.05 kg

| Beban | | AL (10 ⁻³) | | | Tegangan (kg/cm ²) | Regangan (10 ⁻³) | Koreksi Reg + k |
|-------|----------|------------------------|-----|-----------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------|
| | | KN | Kg | Sampel 17 | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 1019.71 | 6 | 9 | 7.5 | 11.850 | 0.374 | 0.293 |
| 20 | 2039.42 | 12 | 15 | 13.5 | 23.700 | 0.674 | 0.592 |
| 30 | 3059.13 | 16 | 22 | 19 | 35.550 | 0.949 | 0.900 |
| 40 | 4078.84 | 23 | 30 | 26.5 | 47.399 | 1.323 | 1.217 |
| 50 | 5098.55 | 27 | 37 | 32 | 59.249 | 1.598 | 1.542 |
| 60 | 6118.26 | 34 | 45 | 39.5 | 71.099 | 1.972 | 1.878 |
| 70 | 7137.97 | 45 | 52 | 48.5 | 82.949 | 2.421 | 2.226 |
| 80 | 8157.68 | 65 | 60 | 62.5 | 94.799 | 3.120 | 2.585 |
| 90 | 9177.39 | 61 | 69 | 65 | 106.649 | 3.245 | 2.959 |
| 100 | 10197.1 | 66 | 78 | 72 | 118.499 | 3.595 | 3.348 |
| 110 | 11216.81 | 75 | 85 | 80 | 130.349 | 3.994 | 3.755 |
| 120 | 12236.52 | 81 | 92 | 86.5 | 142.198 | 4.319 | 4.183 |
| 130 | 13256.23 | 91 | 99 | 95 | 154.048 | 4.743 | 4.635 |
| 140 | 14275.94 | 110 | 110 | 110 | 165.898 | 5.492 | 5.115 |
| 150 | 15295.65 | 112 | 119 | 115.5 | 177.748 | 5.766 | 5.630 |
| 160 | 16315.36 | 121 | 130 | 125.5 | 189.598 | 6.266 | 6.188 |
| 170 | 17335.07 | 132 | 142 | 137 | 201.448 | 6.840 | 6.804 |
| 180 | 18354.78 | 181 | 152 | 166.5 | 213.298 | 8.313 | 7.498 |
| 190 | 19374.49 | 210 | 132 | 171 | 225.148 | 8.537 | 8.314 |
| 200 | 20394.2 | | 215 | 215 | 236.997 | 10.734 | 9.350 |

Modulus Elastisitas (E_c) = σ/ϵ

Dimana:

σ = Tegangan pada 0.4 kuat tekan uji

ϵ = Regangan yang dihasilkan oleh tegangan

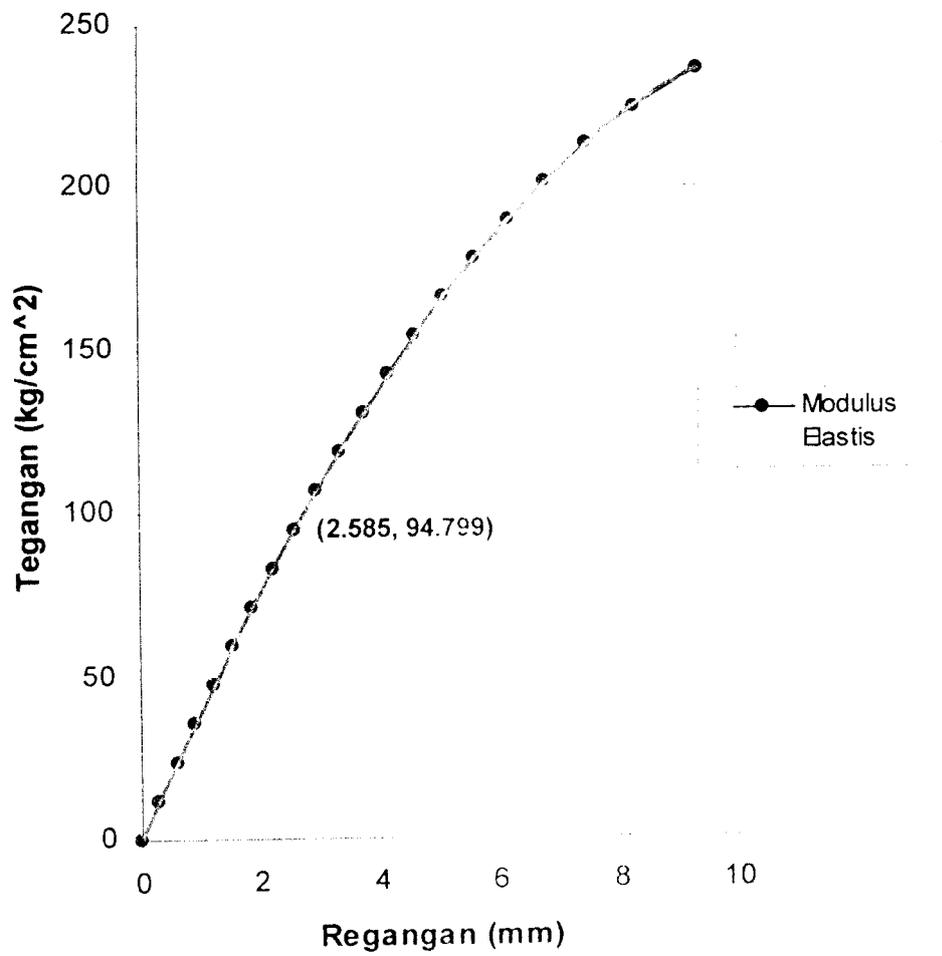
Penyelesaian:

$\sigma = 94.799$

$\epsilon = 2.585$

Maka E_c = 366727.273 Kg/cm²

**Grafik Tegangan Vs Regangan
BS - 17.5%**



Modulus Elastisitas Beton Variasi - BS 20 %

Tinggi (Lo) = 20.48 cm

Diameter (d) = 10.355 cm

Luas (Ao) = $\frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} * 3.14 * 10.355^2 = 84.172 \text{ cm}^2$

Berat = 4.0 kg

| Beban KN | Kg | Δl. (10 ⁻³) | | | Tegangan (kg/cm ²) | Regangan (10 ⁻³) | Koreksi Reg + k |
|-------------|----------|-------------------------|-----------|-----------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------|
| | | Sampel 17 | Sampel 18 | Rata-rata | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 1019.71 | 9 | 7 | 8 | 12.115 | 0.342 | 0.378 |
| 20 | 2039.42 | 17 | 15 | 16 | 24.229 | 0.732 | 0.766 |
| 30 | 3059.13 | 26 | 24 | 25 | 36.344 | 1.172 | 1.166 |
| 40 | 4078.84 | 35 | 31 | 33 | 48.458 | 1.514 | 1.578 |
| 50 | 5098.55 | 45 | 39 | 42 | 60.573 | 1.904 | 2.003 |
| 60 | 6118.26 | 54 | 48 | 51 | 72.687 | 2.344 | 2.444 |
| 70 | 7137.97 | 63 | 51 | 57 | 84.802 | 2.490 | 2.900 |
| 80 | 8157.68 | 74 | 72 | 73 | 96.916 | 3.516 | 3.376 |
| 90 | 9177.39 | 89 | 83 | 86 | 109.031 | 4.053 | 3.872 |
| 100 | 10197.1 | 103 | 95 | 99 | 121.145 | 4.639 | 4.392 |
| 110 | 11216.81 | 113 | 103 | 108 | 133.260 | 5.029 | 4.940 |
| 120 | 12236.52 | 135 | 115 | 125 | 145.374 | 5.615 | 5.522 |
| 130 | 13256.23 | 151 | 123 | 137 | 157.489 | 6.006 | 6.143 |
| 140 | 14275.94 | 171 | 135 | 153 | 169.604 | 6.592 | 6.813 |
| 150 | 15295.65 | 191 | 145 | 168 | 181.718 | 7.080 | 7.547 |
| 160 | 16315.36 | 219 | 165 | 192 | 193.833 | 8.057 | 8.366 |
| 170 | 17335.07 | | 191 | 191 | 205.947 | 9.326 | 9.310 |
| 180 | 18354.78 | | 220 | 220 | 218.062 | 10.742 | 10.463 |

Modulus Elastisitas (E_c) = σ/ϵ

Dimana:

σ = Tegangan pada 0.4 kuat tekan uji

ϵ = Regangan yang dihasilkan oleh tegangan

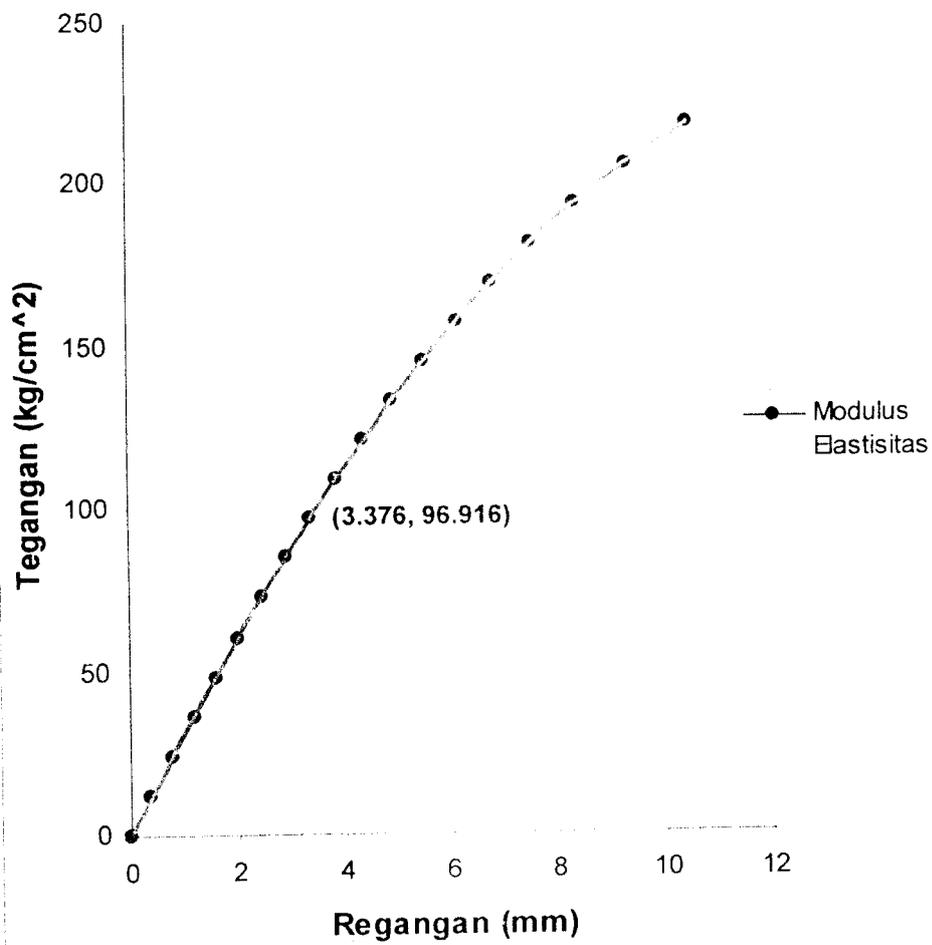
Penyelesaian:

$\sigma = 96.916$

$\epsilon = 3.3760$

Maka E_c = 287073.460 Kg/cm²

**Grafik Tegangan Vs Regangan
BS - 20%**



Modulus Elastisitas Beton Variasi - BS 22.5 %

Tinggi (Lo) = 19.978 cm

Diameter (d) = 10.23 cm

Luas (Ao) = $\frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} * 3.14 * 10.23^2 = 82.153 \text{ cm}^2$

Berat = 3.9 kg

| Beban KN | Kg | AL (10 ⁻³) | | | Tegangan (kg/cm ²) | Regangan (10 ⁻³) | Koreksi Reg + k |
|-------------|----------|------------------------|-----------|-----------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------|
| | | Sampel 17 | Sampel 18 | Rata-rata | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 1019.71 | 9 | 7 | 8 | 12.412 | 0.400 | 0.438 |
| 20 | 2039.42 | 17 | 15 | 16 | 24.825 | 0.801 | 0.887 |
| 30 | 3059.13 | 26 | 24 | 25 | 37.237 | 1.251 | 1.348 |
| 40 | 4078.84 | 35 | 31 | 33 | 49.649 | 1.652 | 1.823 |
| 50 | 5098.55 | 45 | 39 | 42 | 62.062 | 2.102 | 2.312 |
| 60 | 6118.26 | 54 | 48 | 51 | 74.474 | 2.553 | 2.816 |
| 70 | 7137.97 | 63 | 51 | 57 | 86.886 | 2.853 | 3.339 |
| 80 | 8157.68 | 74 | 72 | 73 | 99.299 | 3.654 | 3.880 |
| 90 | 9177.39 | 89 | 83 | 86 | 111.711 | 4.305 | 4.444 |
| 100 | 10197.1 | 104 | 94 | 99 | 124.123 | 4.955 | 5.032 |
| 110 | 11216.81 | 113 | 103 | 108 | 136.536 | 5.406 | 5.648 |
| 120 | 12236.52 | 136 | 114 | 125 | 148.948 | 6.257 | 6.296 |
| 130 | 13256.23 | 151 | 123 | 137 | 161.360 | 6.858 | 6.983 |
| 140 | 14275.94 | 181 | 135 | 158 | 173.773 | 7.909 | 7.717 |
| 150 | 15295.65 | 196 | 144 | 170 | 186.185 | 8.509 | 8.507 |
| 160 | 16315.36 | 219 | 165 | 192 | 198.597 | 9.611 | 9.369 |
| 170 | 17335.07 | | 191 | 191 | 211.010 | 9.561 | 10.330 |
| 180 | 18354.78 | | 220 | 220 | 223.422 | 11.012 | 11.430 |

Modulus Elastisitas (Ec) = σ/ϵ

Dimana:

σ = Tegangan pada 0.4 kuat tekan uji

ϵ = Regangan yang dihasilkan oleh tegangan

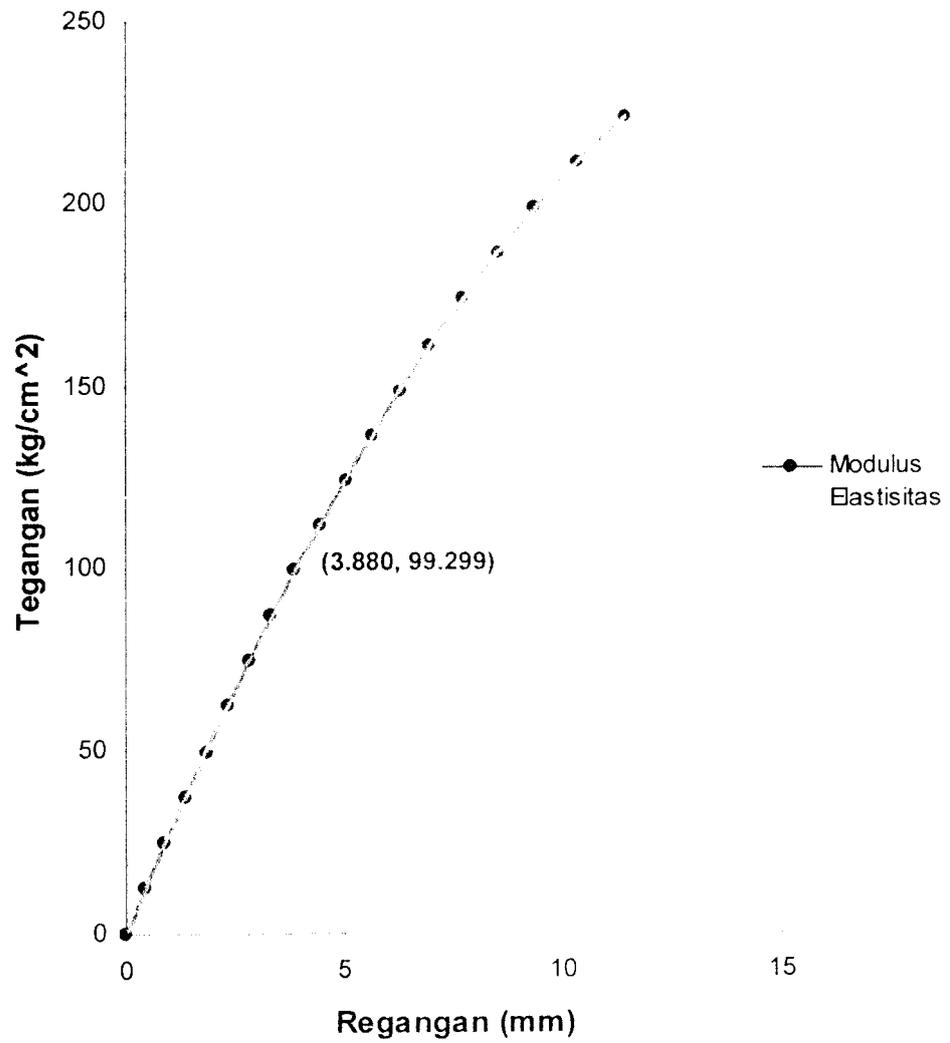
Penyelesaian:

$\sigma = 99.299$

$\epsilon = 3.8800$

Maka Ec = 255925.258 Kg/cm²

Grafik Tegangan Vs Regangan BS - 22.5%



Modulus Elastisitas Beton Variasi - BS 25 %

Tinggi (Lo) = 20.035 cm

Diameter (d) = 10.331 cm

Luas (Ao) = $\frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} * 3.14 * 10.331^2 = 83.783 \text{ cm}^2$

Berat = 3.925 kg

| Beban KN | Kg | AL (10 ⁻³) | | | Legangan (kg/cm ²) | Regangan (10 ⁻³) | Koreksi Reg + k |
|-------------|----------|------------------------|-----------|-----------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------|
| | | Sampel 17 | Sampel 18 | Rata-rata | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.000 |
| 10 | 1019.71 | 11 | 9 | 10 | 12.171 | 0.499 | 0.444 |
| 20 | 2039.42 | 19 | 17 | 18 | 24.342 | 0.898 | 0.900 |
| 30 | 3059.13 | 24 | 24 | 24 | 36.513 | 1.198 | 1.369 |
| 40 | 4078.84 | 34 | 30 | 32 | 48.683 | 1.597 | 1.852 |
| 50 | 5098.55 | 49 | 39 | 44 | 60.854 | 2.196 | 2.351 |
| 60 | 6118.26 | 56 | 46 | 51 | 73.025 | 2.546 | 2.867 |
| 70 | 7137.97 | 63 | 55 | 59 | 85.196 | 2.945 | 3.403 |
| 80 | 8157.68 | 75 | 65 | 70 | 97.367 | 3.494 | 3.959 |
| 90 | 9177.39 | 32 | 76 | 54 | 109.538 | 2.695 | 4.541 |
| 100 | 10197.1 | 62 | 86 | 74 | 121.708 | 3.694 | 5.149 |
| 110 | 11216.81 | 87 | 97 | 92 | 133.879 | 4.592 | 5.791 |
| 120 | 12236.52 | 92 | 110 | 101 | 146.050 | 5.041 | 6.470 |
| 130 | 13256.23 | 100 | 122 | 111 | 158.221 | 5.540 | 7.194 |
| 140 | 14275.94 | 196 | 134 | 165 | 170.392 | 8.236 | 7.975 |
| 150 | 15295.65 | 240 | 146 | 193 | 182.563 | 9.633 | 8.828 |
| 160 | 16315.36 | 234 | 162 | 198 | 194.734 | 9.883 | 9.777 |
| 170 | 17335.07 | 276 | 192 | 234 | 206.904 | 11.680 | 10.864 |
| 180 | 18354.78 | 310 | 212 | 261 | 219.075 | 13.027 | 12.178 |
| 190 | 19374.49 | 410 | 230 | 320 | 231.246 | 15.972 | 13.977 |
| 200 | 20394.2 | | 304 | 304 | 243.417 | 15.173 | 17.288 |
| 210 | 21413.91 | | 361 | 361 | 255.588 | 18.018 | 17.290 |

Modulus Elastisitas (Ec) = σ/ϵ

Dimana:

σ = Tegangan pada 0.4 kuat tekan uji

ϵ = Regangan yang dihasilkan oleh tegangan

Penyelesaian:

$\sigma = 109.538$

$\epsilon = 4.5410$

Maka Ec = 241219.996 Kg/cm²

Grafik Regangan Regangan BS - 25%

