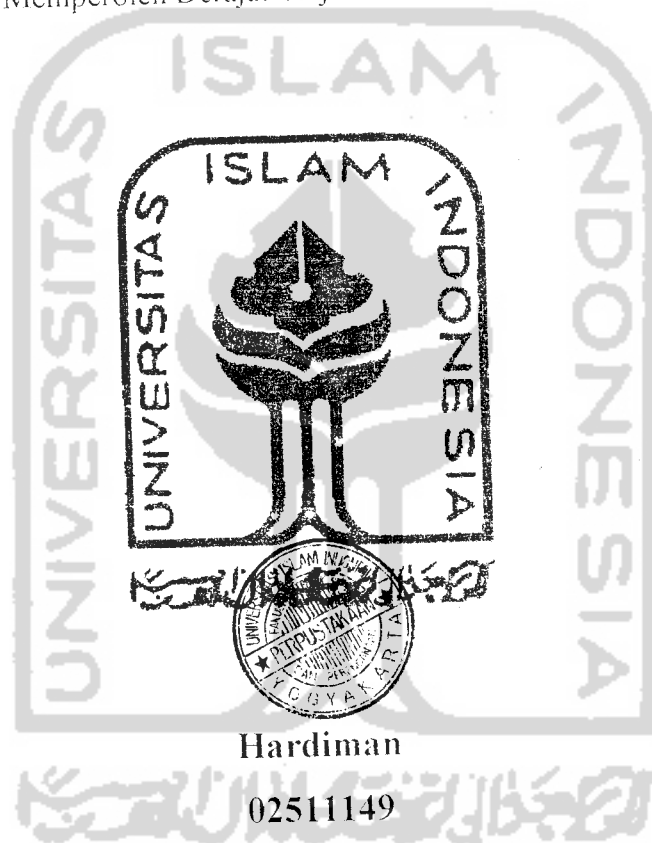


|                       |               |
|-----------------------|---------------|
| PERPUSTAKAAN FTSP UII |               |
| HADIAN/BELI           |               |
| TGL. TERIMA :         | 3 - 12 - 2007 |
| NO. JUDUL :           | 2648          |
| NO. INV. :            | 5120002648001 |
| NO. BOKOR :           | 002648        |

## TUGAS AKHIR

# KARAKTERISTIK BETON NORMAL DENGAN VARIASI PENGURANGAN AIR DAN PENAMBAHAN *SUPERPLASTICIZER* TERHADAP KUAT DESAK BETON DENGAN MUTU 40 MPa

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Jogjakarta Untuk Memenuhi  
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Sipil

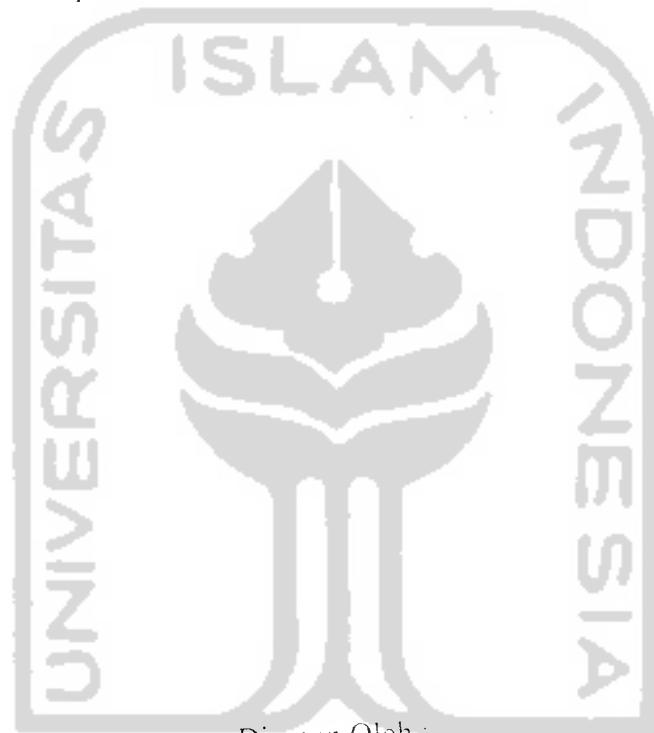


JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
JOGJAKARTA  
2007

PERPUSTAKAAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN  
PERENCANAAN UII JOGJAKARTA

**TUGAS AKHIR**  
**KARAKTERISTIK BETON NORMAL DENGAN**  
**VARIASI PENGURANGAN AIR DAN PENAMBAHAN**  
***SUPERPLASTICIZER* TERHADAP KUAT DESAK**  
**BETON DENGAN MUTU 40 MPa**

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Jogjakarta Untuk Memenuhi  
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Sipil



Disusun Oleh :

**Hardiman**

02.511.149

Disetujui :

Pembimbing :

Ir Helmy Akbar Bale, MT.

Tanggal : 4/5/07

Ir Suharvatmo

Tanggal : 7/5/07

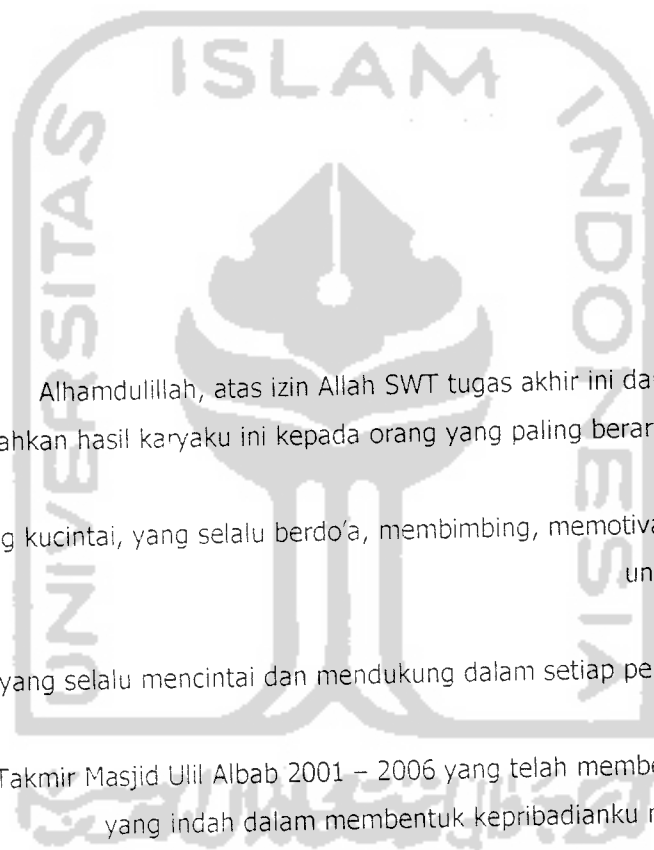
## MOTTO

**Rasululloh sholallohu'alaihi wasallam bersabda :** *"Ada tiga hal, barangsiapa ketiga-tiganya dimiliki seseorang, maka dia akan merasakan manisnya iman : barangsiapa Allah dan rasulNya lebih dia cintai daripada yang lain, barangsiapa yang mencintai seseorang karena Allah, dan barangsiapa tidak suka kalau kembali kepada kekufuran setelah Allah menyelamatkannya darinya sebagaimana ketika dia tidak suka kalau dihempaskan ke dalam neraka"*  
(HR Muslim)

**Rasululloh sholallohu'alaihi wasallam bersabda :** *"Seorang hamba tidak beriman sampai aku menjadi orang yang lebih dicintai dibandingkan dengan keluarganya, hartanya dan seluruh manusia"*  
(HR. Muslim)

**Rasululloh sholallohu'alaihi wasallam bersabda :** *"Salah seorang dari kalian tidak beriman sampai dia mencintai saudaranya"*  
(HR Muslim)

## HALAMAN PERSEMBAHAN



Alhamdulillah, atas izin Allah SWT tugas akhir ini dapat terselesaikan.  
Kupersembahkan hasil karyaku ini kepada orang yang paling berarti dalam hidupku:

Orang tuaku yang kucintai, yang selalu berdo'a, membimbing, memotivasi dan berkorban  
untukku setiap saat.

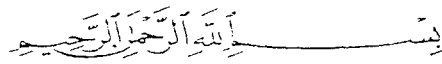
Adik- adikku yang selalu mencintai dan mendukung dalam setiap perjuangan hidupku.

Para Alumni Takmir Masjid Ulil Albab 2001 – 2006 yang telah memberikan warna religi  
yang indah dalam membentuk kepribadianku menjadi lebih baik.

Teknik Sipil FTSP UII, semoga dapat mencetak engineer yang beriman dan bertaqwa  
(IMTAQ) dan memiliki pengetahuan dan kompetensi dalam teknologi (IPTEK).

DR Ade Ilham rohimalloh yang telah memberikan bimbingan dalam menyelesaikan Tugas  
Akhir selama beliau hidup

## KATA PENGANTAR



*Assalamu 'alaikum warohmatullahi wabarokatuh*

Segala puji hanya bagi Alloh, kami memujiNya, memohon pertolongan dan ampunan kepadaNya. Dengan pertolonganNya kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “KARAKTERISTIK BETON NORMAL DENGAN VARIASI PENGURANGAN AIR DAN PENAMBAHAN *SUPERPLASTICIZER* TERHADAP KUAT DESAK BETON DENGAN MUTU 40 MPa”

Sholawat serta salam tidak lupa kita haturkan pada Nabi Muhammad Sholallohu'alaihi wasallam, keluarga, sahabat dan orang-orang yang istiqomah mengikutinya sampai akhir zaman.

Tugas Akhir merupakan *independent study project* yang harus dikerjakan oleh mahasiswa sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana dari almaternya. Salah satu mata kuliah ini bertujuan untuk memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk dapat mempelajari dengan lebih mendalam topik yang mereka dapatkan di bangku kuliah, di bawah bimbingan *supervisor* yang memiliki pengetahuan di bidang tersebut.

Kelancaran dalam pembuatan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Pada kesempatan ini kami mengucapkan terima kasih kepada :

1. Alloh 'Azza wa Jalla dan Rosululloh Sholallohu'alaihi wa sallam yang menunjukkan jalan terbaik bagi manusia, yaitu *thariqoh ilal jannah*.
2. Kedua orang tua kami. Sadiman dan Rohani, adik-adik kami, Sarmayani dan Sunario yang senantiasa memberikan dukungan moril dan materiil.
3. Bapak DR. Ade Ilham rohimahulloh selaku dosen pembimbing pertama dan Bapak Ir Helmy Akbar Bale, MT dan Ir Suharyatmo yang merupakan dosen pembimbing yang menggantikan Bapak DR Ade Ilham rohimahulloh yang telah memberikan bimbingan dalam pembuatan dan

penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih untuk segala motivasi dan bantuannya.

4. Bapak DR Ruzardi selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Terima kasih atas kerjasamanya. Mohon maaf bila ada kesalahan.
5. Bapak Harum Murah Marpaung, SE. Dan Bapak Fathurahmi Ssi yang telah memberikan bimbingan di awal-awal perkuliahan. Terima kasih untuk segala nasehatnya.
6. Seluruh alumni Takmir Masjid Ulil Albab UII yang telah menjadi keluarga kedua dan memberikan kehidupan beragama yang indah.
7. Ust. Sir Bram Novaldi, Ust. Ja'far Umar Thalib, Ust. Afifi Abdul Wadud, Ust. Ridwan Hamidi, Lc.,
8. Semua pihak yang telah membantu kami dalam penyusunan tugas akhir ini.

Kami menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna baik dari segi kualitas maupun kuantitas. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun dari rekan-rekan mahasiswa, dosen dan berbagai pihak sangat diharapkan. Semoga Tugas Akhir ini dapat berguna bagi kita semua. amin.

*Assalamu'alaikum Wr. Wb.*

Jogjakarta, Maret 2007

Penyusun

Hardiman

## ABSTRAKSI

*Beton normal dengan komposisi campurannya masih dapat ditingkatkan lagi kinerjanya dengan mengurangi kandungan air dengan mempertahankan workabilitas menggunakan bahan tambah superplasticizer. Kinerja yang dapat ditingkatkan adalah workabilitas dan kuat tekan beton. Pengurangan kandungan air dilakukan dengan interval 5% yakni 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dengan nilai slump antara 150 mm – 180 mm tanpa terjadi bleeding dan segregasi. Mutu beton yang direncanakan adalah 40 MPa yang diuji pada umur 3 hari, 7 hari, 14 hari, 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan dilakukan pengurangan air dan penambahan superplasticizer, nilai slump lebih besar dari 180 mm sedangkan kuat tekan maksimum terjadi pada pengurangan air sebesar 30%. Pada umur 3 hari didapatkan kuat tekan maksimum sebesar 39,2697 MPa, umur 7 hari didapatkan kuat tekan sebesar 53,6076 MPa, umur 14 hari didapatkan kuat tekan sebesar 59,1584 MPa, umur 28 hari didapatkan kuat tekan sebesar 62,1899 MPa masing-masing dengan penambahan superplasticizer sebesar 2,42%.*

Kata kunci : Kadar air, workabilitas, superplasticizer, Kuat tekan beton

*Normal concrete with their mixed composition may still increased their workability by reduce content of water with maintain workability use additional super plasticizer. Work will be increase is workability and concrete pressure endurance. Reduce the content of water done in interval 150 mm – 180 mm without bleeding and segregation happen. Quality of concrete that planned is 40 MPa is examined on 3, 7, 14, and day 28. Experiment output shows that resizing water content in to smaller amount and adding super plasticizer, slump value bigger than 180 mm while optimum compressive strength occur at water reduction as much as 30 %. In day 3, we get optimum compressive strength 39,2697 Mpa, in day 7 we get optimum compressive strength 53,6076 Mpa, day 12 we get optimum compressive strength 59,1584 Mpa, day 28 we get optimum compressive strength 62,1899 Mpa each with superplasticizer addition 2,42 %.*

Key words : water content, workability, super plasticizer, concrete compressive strength.

## DAFTAR ISI

|                                                   |     |
|---------------------------------------------------|-----|
| HALAMAN JUDUL                                     | i   |
| LEMBAR PENGESAHAN                                 | ii  |
| MOTTO .....                                       | iii |
| PERSEMBAHAN.....                                  | v   |
| KATA PENGANTAR .....                              | vi  |
| ABSTRAKSI .....                                   | ix  |
| DAFTAR ISI .....                                  | x   |
| DAFTAR NOTASI.....                                | xi  |
| DAFTAR TABEL.....                                 | xii |
| DAFTAR GAMBAR .....                               |     |
| DAFTAR LAMPIRAN.....                              |     |
| <br>BAB I                                         |     |
| PENDAHULUAN .....                                 | 1   |
| 1.1. Latar Belakang .....                         | 1   |
| 1.2. Rumusan Masalah .....                        | 2   |
| 1.3. Tujuan Penelitian .....                      | 2   |
| 1.4. Manfaat Penelitian .....                     | 2   |
| 1.5. Batasan Masalah .....                        | 3   |
| <br>BAB II                                        |     |
| TINJAUAN PUSTAKA.....                             | 4   |
| 2.1. Umum .....                                   | 4   |
| 2.2. Hasil Penelitian yang pernah dilakukan ..... | 5   |
| <br>BAB III                                       |     |
| LANDASAN TEORI .....                              | 6   |
| 3.1 Bahan Beton .....                             | 6   |
| 3.1.1 Air .....                                   | 6   |
| 3.1.2 Agregat .....                               | 7   |
| 3.1.3. Semen.....                                 | 9   |

|        |                                                                                                          |    |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|        | 3.2. <i>Superplasticizer</i> .....                                                                       | 10 |
|        | 3.3 Faktor air semen (f.a.s).....                                                                        | 10 |
|        | 3.4 Workabilitas.....                                                                                    | 11 |
|        | 3.5 Kuat tekan.....                                                                                      | 12 |
|        | 3.6 Tegangan-regangan.....                                                                               | 13 |
|        | 3.7 Modulus elastis .....                                                                                | 13 |
|        | 3.8 Perencanaan campuran beton .....                                                                     | 14 |
| BAB IV | METODE PENELITIAN .....                                                                                  | 16 |
|        | 4.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....                                                                    | 16 |
|        | 4.2. Persiapan Bahan dan Alat .....                                                                      | 16 |
|        | 4.2.1 Pengadaan Bahan .....                                                                              | 16 |
|        | 4.2.2. Pengolahan Bahan-Bahan .....                                                                      | 17 |
|        | 4.2.3 Persiapan Alat.....                                                                                | 17 |
|        | 4.3 Benda Uji .....                                                                                      | 18 |
|        | 4.3.1 Jenis Benda Uji.....                                                                               | 18 |
|        | 4.3.2 Jenis-Jenis Pengujian .....                                                                        | 18 |
|        | 4.4 Perawatan .....                                                                                      | 20 |
|        | 4.5 Pengujian Beton Keras.....                                                                           | 20 |
|        | 4.6 Analisis Data.....                                                                                   | 20 |
|        | 4.7 Prosedur Penelitian .....                                                                            | 21 |
| BAB V  | HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....                                                                    | 23 |
|        | 5.1 Umum.....                                                                                            | 23 |
|        | 5.2 Pengaruh Pengurangan air dan Penambahan<br><i>Superplasticizer</i> terhadap workabilitas .....       | 27 |
|        | 5.3 Pengaruh pengurangan air, fas dengan Penambahan<br><i>Superplasticizer</i> terhadap Kuat Tekan ..... | 30 |
|        | 5.4 Pengaruh Umur Beton terhadap Kuat Tekan.....                                                         | 40 |
|        | 5.5 Analisis Hubungan Tegangan-Regangan pada beton<br>uji .....                                          | 49 |
|        | 5.6 Modulus Elastisitas .....                                                                            | 51 |
| BAB VI | KESIMPULAN DAN SARAN .....                                                                               | 53 |

|                      |    |
|----------------------|----|
| 6.1 Umum .....       | 54 |
| 6.2 Kesimpulan.....  | 54 |
| 6.3 Saran-Saran..... | 55 |

## DAFTAR PUSTAKA

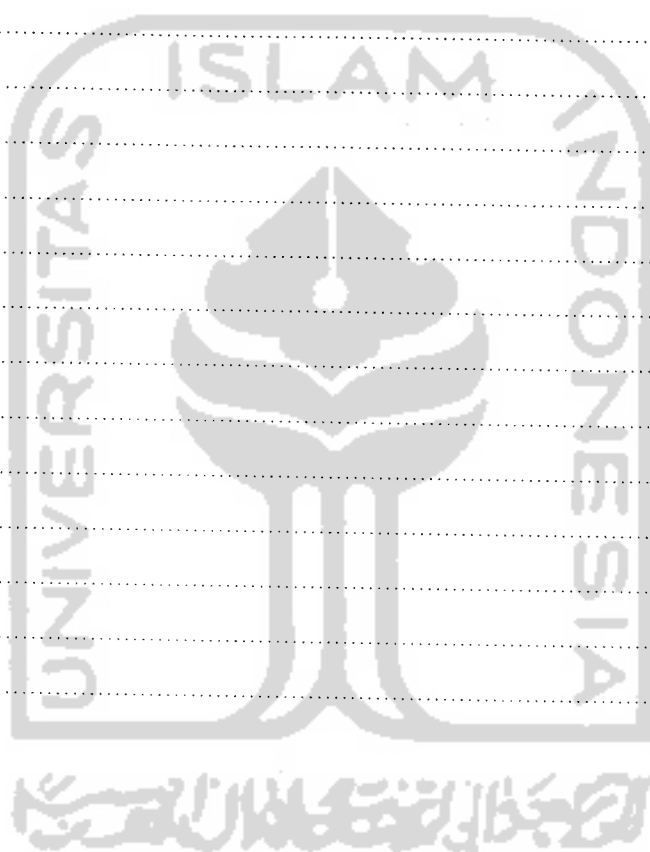


## DAFTAR NOTASI

|            |   |                                                     |
|------------|---|-----------------------------------------------------|
| $A$        | = | Luas                                                |
| $D$        | = | Diameter                                            |
| $f'c$      | = | Kuat Desak Beton                                    |
| $f'cr$     | = | Kuat Desak Beton rata-rata                          |
| $k$        | = | Konstanta (1,64)                                    |
| $L$        | = | Panjang Silinder                                    |
| $m$        | = | Nilai Tambah (Margin)                               |
| $n$        | = | Jumlah Data                                         |
| $P$        | = | Beban                                               |
| $Sd$       | = | Standar Deviasi                                     |
| $FAS$      | = | Faktor Air Semen                                    |
| $Wa$       | = | Berat Air                                           |
| $Ws$       | = | Berat Semen                                         |
| $\epsilon$ | = | Regangan                                            |
| $\sigma$   | = | Tegangan                                            |
| $Ec$       | = | Modulus Elastisitas                                 |
| $A_h$      | = | Jumlah air yang dibutuhkan menurut agregat halusnya |
| $A_k$      | = | Jumlah air yang dibutuhkan menurut agregat kasarnya |
| $B_j$      | = | Berat Jenis                                         |
| $V$        | = | Volume                                              |
| $W$        | = | Berat                                               |

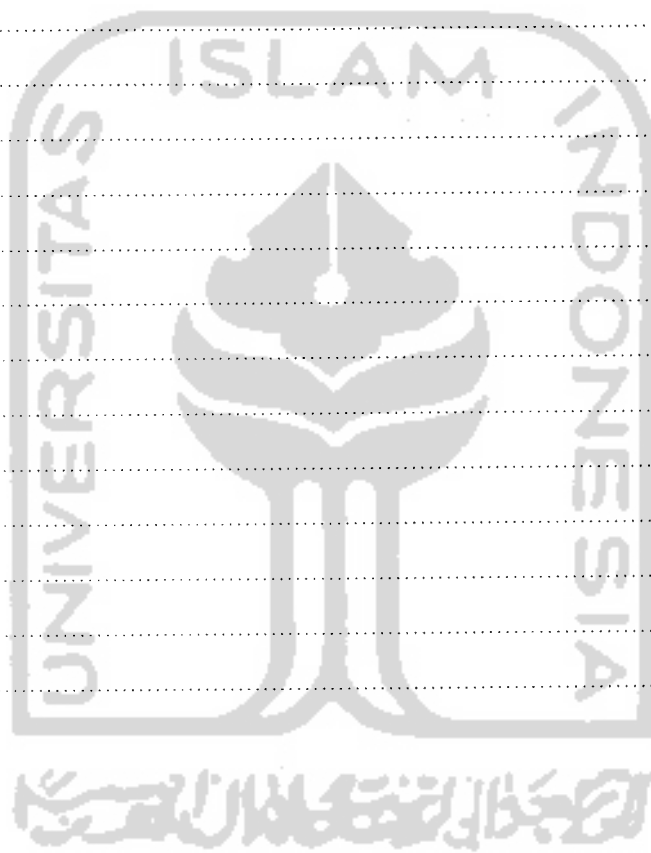
## DAFTAR TABEL

|                  |    |
|------------------|----|
| Tabel 3.1 .....  | 9  |
| Tabel 3.2 .....  | 9  |
| Tabel 3.3 .....  | 10 |
| Tabel 4.1 .....  | 18 |
| Tabel 5.1 .....  | 23 |
| Tabel 5.2 .....  | 24 |
| Tabel 5.3 .....  | 25 |
| Tabel 5.4 .....  | 25 |
| Tabel 5.5 .....  | 26 |
| Tabel 5.6 .....  | 27 |
| Tabel 5.7 .....  | 31 |
| Tabel 5.8 .....  | 32 |
| Tabel 5.9 .....  | 34 |
| Tabel 5.10 ..... | 35 |
| Tabel 5.11 ..... | 38 |
| Tabel 5.12 ..... | 46 |
| Tabel 5.13 ..... | 48 |



## DAFTAR GAMBAR

|                   |    |
|-------------------|----|
| Gambar 4 .....    | 22 |
| Gambar 5.1 .....  | 29 |
| Gambar 5.2 .....  | 30 |
| Gambar 5.3 .....  | 32 |
| Gambar 5.4 .....  | 33 |
| Gambar 5.5 .....  | 35 |
| Gambar 5.6 .....  | 36 |
| Gambar 5.7 .....  | 37 |
| Gambar 5.8 .....  | 37 |
| Gambar 5.9 .....  | 39 |
| Gambar 5.10 ..... | 40 |
| Gambar 5.11 ..... | 41 |
| Gambar 5.12 ..... | 41 |
| Gambar 5.13 ..... | 42 |
| Gambar 5.14 ..... | 43 |
| Gambar 5.15 ..... | 44 |
| Gambar 5.16 ..... | 46 |



## DAFTAR LAMPIRAN

|                  |                             |
|------------------|-----------------------------|
| Lampiran 1 ..... | Konsultasi Tugas Akhir      |
| Lampiran 2 ..... | Perencanaan Kebutuhan Beton |
| Lampiran 3 ..... | Data Kuat Tekan             |
| Lampiran 4 ..... | Data Tegangan Regangan      |
| Lampiran 5 ..... | Berat Volume                |



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Secara umum bahwa pertumbuhan atau perkembangan industri konstruksi di Indonesia cukup pesat khususnya konstruksi beton. Konstruksi beton dapat dijumpai pada pembuatan gedung-gedung, jalan (*rigid pavement*), bendung, saluran dan lainnya. Hampir 60% material yang digunakan pada umumnya dalam pekerjaan konstruksi adalah beton (*concrete*). Beton merupakan material yang tersusun dari agregat yaitu agregat kasar (kerikil), agregat halus (pasir) dan air yang terbungkus oleh semen yang mengisi ruang diantara partikel-partikel sehingga membentuk satu kesatuan (Yohanes, Adianto, Tri Basuki ; 2004).

Salah satu karakteristik beton adalah kuat menahan gaya tekan. Kuat tekan beton dapat ditingkatkan lagi dengan mengurangi air pada campuran beton dan untuk menjaga workabilitas campuran maka ditambahkan bahan tambah. Bahan tambah yang digunakan dalam penelitian ini adalah *superplasticizer* yang merupakan bahan tambah yang digunakan pada campuran beton baik sebelum pengadukan maupun selama proses pengadukan dengan tujuan untuk mendapatkan beton segar yang *workable* dan bersifat mengalir. *Superplasticizer* sering disebut juga bahan tambah pengurang air dosis tinggi (*high reducer rang water reducer*) (Ade Ilham, 2006). Dengan dilakukannya pengurangan air terhadap campuran beton dan penambahan *superplasticizer* untuk menjaga workabilitas atau kelecakan campuran beton dapat meningkatkan kuat tekan beton.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas dapat kita ambil rumusan masalah yaitu :

1. bagaimana menghasilkan beton normal berkinerja tinggi berdasarkan pada metode perancangan yang telah ada,
2. seberapa besar pengurangan jumlah air campuran beton agar dapat menghasilkan kuat tekan paling tinggi dengan mempertahankan workabilitas beton segar (dengan penambahan *superplasticizer*),
3. seberapa besar penambahan *superplasticizer* untuk menghasilkan workabilitas atau kelecakan beton segar lebih besar dari 150 mm tanpa terjadi *bleeding* dan segregasi,
4. bagaimana hubungan antara jumlah air dan kuat tekan beton dengan penambahan *superplasticizer*, kuat tekan beton dan umur beton.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. meningkatkan kelecakan beton segar,
2. meningkatkan kuat tekan beton dengan variasi pengurangan air,
3. mengetahui tegangan-regangan beton pada variasi pengurangan air dengan penambahan *superplasticizer*,
4. menentukan modulus elastis beton pada variasi pengurangan air dengan penambahan *superplasticizer*.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Sesuai dengan tujuan penelitian ini, maka akan diperoleh beberapa manfaat yang akan dihasilkan dari penelitian ini yaitu,

1. campuran yang lebih *workable* setelah ditambahkan *superplasticizer*,
2. meningkatnya kuat tekan beton setelah dilakukan pengurangan air,

3. dapat diketahui nilai-nilai modulus elastis beton dengan variasi pengurangan air dan penambahan *superplasticizer*,

### 1.5 Batasan Masalah

Dengan keterbatasan yang dimiliki dan mempertimbangkan luasnya faktor-faktor yang berpengaruh, maka dalam penelitian ini digunakan batasan-batasan masalah sebagai berikut :

1. metode disain yang akan digunakan adalah metode DOE,
2. kuat tekan yang diteliti adalah 40 MPa,
3. nilai slump asal 30 – 60 mm (sebelum dimodifikasi) akan ditingkatkan menjadi  $\geq 150$  mm tanpa terjadi *bleeding* dan segregasi,
4. pengurangan air dilakukan secara gradual mulai 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%,
5. menggunakan semen jenis I (standar ASTM),
6. ukuran maksimum agregat kasar 20 mm dari Celereng, Kulonprogo,
7. menggunakan *superplasticizer* (SP) sikament NN, jenis *sulfonat naftalin formaldehid* dengan persentase terhadap berat semen,
8. penambahan *superplasticizer* dilakukan sedikit demi sedikit sampai dicapai slump  $\geq 150$  mm tanpa terjadi *bleeding* dan segregasi,
9. pengujian dilakukan dengan uji desak.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Umum

Menurut pedoman beton 1989, *Draft Konsensus* (SKBI.1.4.53,1989: 4-5) beton didefinisikan sebagai campuran semen portland atau sembarang semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah.

Bahan-bahan dalam campuran beton dikelompokkan menjadi dua kelompok yaitu bahan aktif dan bahan pasif. Bahan aktif adalah semen dan air, apabila semen dan air bersentuhan maka akan terjadi proses hidrasi. Bahan pasif atau bahan pengisi dalam campuran beton adalah pasir dan kerikil (agregat) (Kardiyono, 1992).

Kekuatan, keawetan, dan sifat beton yang lain tergantung pada sifat-sifat bahan penyusun beton (air, semen, agregat) yaitu kualitas semen, proporsi semen terhadap campuran, kekuatan dan kebersihan agregat, interaksi atau adhesi antara pasta semen dengan agregat, pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton, penempatan yang benar, penyelesaian dan pemadatan beton, perawatan beton (Nawy, 1985 : 24). Disamping kualitas bahan penyusunnya, kualitas pelaksanaan pun menjadi penting dalam pembuatan beton seperti yang disebutkan oleh Jackson (1977) bahwa kualitas beton didalam struktur tergantung pada pengerjaan ditempat.

Untuk memudahkan pengerjaan beton maka campuran beton diberikan bahan tambah yang dapat meningkatkan workabilitas dengan menggunakan *superplasticizer*. *Superplasticizer* adalah bahan yang mudah larut dalam air atau agen penyebar polimer buatan dan bahan utamanya *formaldehyde condensate salts of melamine* atau *naphthalene sulphonie acid*. *Superplasticizer* disebut juga sebagai pengurang air jumlah tinggi, karena dapat mengurangi jumlah air campuran beton sebanyak 15 sampai 30 persen tanpa mempengaruhi

kelecekannya (Singh dkk., 1992). *Superplasticizer* bertindak memisahkan butir-butir semen yang menggumpal dalam campuran air rendah. Ini berarti melepaskan air untuk memperbaiki kelecakan, karena dapat memberikan keleluasaan bergerakanya air lebih baik di antara butir-butir semen (Cong dkk. 1992).

## 2.2 Hasil Penelitian yang pernah dilakukan

Penelitian Syafruddin dan Hastoro yaitu " Pengaruh Pengurangan Kandungan Air dan Penambahan *Superplasticizer* Pada Komposisi Campuran Beton Kuat Tekan 30 MPa dan 40 MPa. Salah satu tujuan utama penelitian ini adalah meningkatkan kuat tekan beton dengan melakukan pengurangan kadar air dengan penambahan *superplasticizer* untuk mempertahankan workabilitas. Pengurangan kadar air dilakukan pada interval 10% dan penambahan *superplasticizer* dilakukan sedikit demi sedikit dengan persentase penambahan *superplasticizer* untuk  $f'c$  30 MPa yaitu 0%, 0,1%, 0,9%, 1,83%, 3,62% dan  $f'c$  40 MPa yaitu 0%, 0,08%, 0,29%, 0,88%, 1,26%, 6,64%. Peningkatan kekuatan dan kekuatan optimal dicapai pada pengurangan kandungan air 30%. Pengurangan kandungan air 30% menghasilkan reaksi yang tepat antara semen, air, *superplasticizer* sehingga kuat tekan maksimal dapat dicapai. Dalam penelitian Muzammil dan Budiono telah ditentukan variasi penambahan *superplasticizer* sebesar 0%; 0,7%; 1%; 2,5% dan 4% berat semen dari beton mutu 28 MPa.

Pada penelitian ini akan dicari sifat-sifat beton segar dan beton keras yaitu workabilitas dan kuat tekan. Kuat tekan yang direncanakan adalah 40 MPa menggunakan variasi pengurangan air dan penambahan *superplasticizer* dengan nilai *slump* asal 30 – 60 mm (sebelum dimodifikasi) akan ditingkatkan menjadi  $\geq 150$  mm dan pengurangan kadar air dengan interval sebesar 5% dari kandungan air normal.

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Bahan Beton

##### 3.1.1 Air

Air merupakan bahan dasar pembuatan beton yang penting namun harganya paling murah. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan hanya sekitar 25% berat semen saja, namun dalam kenyataannya nilai faktor air-semen yang dipakai sulit kurang dari 0,35. Kelebihan air ini yang dipakai sebagai pelumas. Perlu dicatat bahwa tambahan air untuk pelumas ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton akan rendah serta betonnya porous. Selain itu kelebihan air akan bersama-sama dengan semen bergerak ke permukaan adukan beton segar yang baru saja dituang (*bleeding*) yang kemudian menjadi buih dan merupakan suatu lapisan tipis yang dikenal dengan *laitance* (selaput tipis). Selaput tipis ini akan mengurangi lekatan antara lapis-lapis beton dan merupakan bidang sambung yang lemah (Kardiyono, 1996).

Air yang memenuhi persyaratan sebagai air minum memenuhi syarat pula untuk bahan campuran beton. Secara umum, air yang dapat dipakai untuk bahan pencampur beton adalah air yang bila dipakai akan dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% kekuatan beton yang memakai air suling. Air yang mengandung kotoran akan memperlambat waktu ikatan awal adukan beton dan mengakibatkan lemahnya kekuatan beton setelah mengeras dan daya tahannya menurun (Triono Budi Astanto, 2001). Dalam pemakaian air untuk beton itu sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut :

1. tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter,

2. tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter,
  3. tidak mengandung khlorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter,
  4. tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.
- (Kardiyono, 1996)

### 3.1.2 Agregat

Agregat ialah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton (Kardiyono, 1996). Agregat merupakan salah satu bahan pengisi beton dan komposisi agregat tersebut berkisar 60%-70% dari berat campuran beton. Walaupun fungsinya hanya sebagai pengisi, tetapi karena komposisinya yang cukup besar, agregat inipun menjadi penting. Agregat yang digunakan dalam campuran beton dapat berupa agregat alam atau agregat buatan (*artificial aggregates*). Secara umum, agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya yaitu agregat kasar dan agregat halus. Meskipun demikian, dapat diberikan batasan ukuran antara agregat halus dan agregat kasar yaitu 4,80 mm (*British Standard*) atau 4,75 mm (Standar ASTM). Agregat kasar adalah batuan yang ukuran butirnya lebih besar dari 4,80 mm (4,75 mm) dan agregat halus adalah batuan yang lebih kecil dari 4,80 mm (4,75 mm). Agregat dengan ukuran lebih besar dari 4,80 mm dibagi lagi menjadi dua yaitu : yang berdiameter antara 4,80 mm - 40 mm disebut kerikil beton dan yang lebih dari 40 mm disebut kerikil kasar.

Agregat yang digunakan dalam campuran beton biasanya berukuran lebih kecil dari 40 mm. Agregat yang ukurannya lebih besar dari 40 mm digunakan untuk pekerjaan sipil lainnya, misalnya untuk pekerjaan jalan, tanggul-tanggul penahan tanah, bronjong, atau bendungan dan lainnya. Agregat halus biasanya dinamakan pasir dan agregat kasar dinamakan kerikil, split, batu pecah, kricak, dan lainnya (Tri Mulyono, 2004).

Menurut peraturan di Inggris (*British Standard*) yang juga dipakai di Indonesia saat ini (dalam SK-SNI-T-15-1990-03) kekasaran pasir dapat dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar, dan kasar, sebagaimana tampak pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Gradasi pasir

| Lubang Ayakan (mm) | Persen Berat Butir Yang Lewat Ayakan |           |            |           |
|--------------------|--------------------------------------|-----------|------------|-----------|
|                    | Daerah I                             | Daerah II | Daerah III | Daerah IV |
| 10                 | 100                                  | 100       | 100        | 100       |
| 4,8                | 90-100                               | 90-100    | 90-100     | 95-100    |
| 2,4                | 60-95                                | 75-100    | 85-100     | 95-100    |
| 1,2                | 30-70                                | 55-90     | 75-100     | 90-100    |
| 0,6                | 15-34                                | 35-59     | 60-79      | 80-100    |
| 0,3                | 5-20                                 | 8-30      | 12-40      | 15-50     |
| 0,15               | 0-10                                 | 0-10      | 0-10       | 0-15      |

Sumber : Kardiyo (1996)

Keterangan :

Daerah I = Pasir Kasar

Daerah II = Pasir Agak Kasar

Daerah III = Pasir Agak Halus

Daerah IV = Pasir Halus

Adapun agregat kerikil ditetapkan seperti yang tercantum dalam Tabel 3.2

Tabel 3.2 Gradasi Kerikil

| Lubang (mm) | Persen Berat Butir Yang Lewat Ayakan<br>Besar Butir Maksimum |        |
|-------------|--------------------------------------------------------------|--------|
|             | 40 mm                                                        | 20 mm  |
| 40          | 95-100                                                       | 100    |
| 20          | 30-70                                                        | 95-100 |
| 10          | 10-35                                                        | 25-55  |
| 4,8         | 0-5                                                          | 0-10   |

Sumber : Kardiyo (1996)

### 3.1.3 Semen

Menurut PUBI-1982, semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dicampur dengan gips sebagai bahan tambah.

Fungsi semen adalah untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak atau padat. Selain itu juga untuk mengisi rongga-rongga di antara butiran agregat (Kardiyono, 1992).

Karena bahan dasarnya terdiri dari bahan-bahan yang terutama mengandung kapur, silika, alumina, dan oksida besi, maka bahan-bahan ini menjadi unsur-unsur pokok semen. Adapun susunan unsur semen terlihat pada tabel 3.3

Tabel 3.3 Susunan Unsur-Unsur Semen

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

Sumber : Triono Budi Astanto (2001)

Pada dasarnya semen memiliki empat unsur penting yaitu :

1. trikalsium silikat (C<sub>3</sub>S) atau 3CaO.SiO<sub>2</sub>,
2. dikalsium silikat (C<sub>2</sub>S) atau 2CaO.SiO<sub>2</sub>,
3. trikalsium aluminat (C<sub>3</sub>A) atau 3CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,
4. tetrakalsium aluminoforit (C<sub>4</sub>AF) atau 4CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan pengikatan semen adalah (Kardiono, 1995) :

1. kehalusan semen, semakin halus butiran semen akan semakin cepat waktu pengikatannya,

2. jumlah air, pengikatan semen akan cepat bila jumlah air berkurang,
3. temperatur, waktu pengikatan semen akan cepat bila suhu udara dikelilingnya semakin tinggi,
4. penambahan zat kimia tertentu.

### 3.2 *Superplasticizer*

*Superplasticizer* merupakan bahan tambah kimia (*chemical admixture*) yang mempunyai pengaruh dalam meningkatkan workabilitas beton sampai pada tingkat yang cukup besar (Ade Ilham, Syafruddin dan Hastoro; 2005).

*Plasticizer* dibagi menjadi tiga jenis (Nawy, 1985) :

1. kondensasi *sulfonat melamin formaldehid* dengan kandungan *klorida* sebesar 0,005%,
2. *sulfonat nafthalin formaldehid* dengan kandungan *klorida* yang dapat diabaikan,
3. modifikasi *lignosulfonat* tanpa kandungan *klorida*.

Dari ketiga jenis *superplasticizer*, yang digunakan dalam penelitian ini adalah *superplasticizer* dengan jenis *sulfonat nafthalin formaldehid* yang berfungsi untuk meningkatkan workabilitas dan banyak mengurangi air pada campuran beton sementara *slump* beton bertambah 8 in (208 mm) atau lebih. Dosis yang disarankan adalah 1 sampai 2% dari berat semen. Dosis yang berlebihan dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan tekan pada beton (Nawy, 1985).

### 3.3 Faktor air-semen (fas)

Faktor air-semen merupakan perbandingan antara berat air dengan semen dalam adukan beton. Definisi istilah perbandingan air-semen perlu dijelaskan. Kesulitannya timbul dari adanya air dalam takaran beton yang berasal dari tiga sumber (Murdock dan Brook, 1979) :

1. air yang diserap dalam agregat ( $w_a$ ),
2. air permukaan pada agregat ( $w_s$ ),
3. air yang ditambahkan selama mencampur ( $w_m$ ).

Faktor air-semen sangat mempengaruhi kekuatan beton. Semakin tinggi nilai fas-nya maka semakin rendah mutu kekuatan beton, namun demikian nilai fas yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Nilai fas yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun. Umumnya nilai fas minimum yang diberikan sekitar 0,4 dan maksimum 0,65. Rata-rata ketebalan lapisan yang memisahkan antar partikel dalam beton sangat bergantung pada fas yang digunakan dan kehalusan butir semennya (Tri Mulyono, 2004).

### 3.4 Workabilitas (Kelecakan Beton)

Istilah workabilitas sulit untuk didefinisikan dengan tepat, dan Newinan (1965) mengusulkan agar didefinisikan pada sekurang-kurangnya tiga buah sifat yang terpisah :

1. kompabilitas, atau kemudahan dimana beton dapat dipadatkan dan rongga-rongga udara diambil,
2. mobilitas, atau kemudahan dimana beton dapat mengalir kedalam cetakan disekitar baja dan dituang kembali,
3. stabilitas, atau kemampuan beton untuk tetap sebagai massa yang homogen, koheren dan stabil selama dikerjakan dan digetarkan tanpa terjadi segregasi atau pemisahan butiran dari bahan-bahan utamanya.

Kelecakan beton dapat dilihat dari nilai *slump* yang identik dengan tingkat keplastisan beton. Semakin plastis beton, semakin mudah pengerjaannya. Unsur-unsur yang mempengaruhinya antara lain (Tri Mulyono, 2004) :

1. jumlah air pencampur. Semakin banyak air semakin mudah untuk dikerjakan,

2. kandungan semen. Jika fas tetap, semakin banyak semen berarti semakin banyak kebutuhan air sehingga keplastisannyapun akan lebih tinggi,
3. gradasi campuran pasir-kerikil. Jika memenuhi syarat dan sesuai dengan standar, akan lebih mudah dikerjakan,
4. bentuk butiran agregat kasar. Agregat berbentuk bulat lebih mudah dikerjakan,
5. butir maksimum,
6. cara pemadatan dan alat pemadat,

### 3.5 Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan merupakan salah satu kinerja utama beton. Walaupun dalam beton terdapat tegangan tarik yang kecil, diasumsikan bahwa semua tegangan tekan didukung oleh beton tersebut. Penentuan kekuatan tekan dapat dilakukan dengan menggunakan alat uji tekan dan benda uji berbentuk silinder dengan prosedur uji ASTM C-39 atau kubus dengan prosedur BS-1881 Part 115; Part 116 pada umur 28 hari. (Tri Mulyono, 2004).

Kuat tekan beton dipengaruhi oleh sejumlah faktor, selain oleh perbandingan air semen dan tingkat pemadatannya, Faktor-faktor penting lainnya yaitu (Murdock dan Brock, 1979) :

1. jenis semen dan kualitasnya, mempengaruhi kekuatan rata-rata dan kuat batas beton,
2. jenis dan lekuk-lekuk bidang permukaan agregat.

Kenyataan menunjukkan bahwa penggunaan akan menghasilkan beton dengan kuat desak maupun kuat tarik yang lebih besar daripada penggunaan kerikil halus dari sungai,

3. efisiensi dari perawatan (*curing*).

Kehilangan kekuatan sampai sekitar 40% dapat terjadi bila pengeringan diadakan sebelum waktunya. Perawatan adalah hal yang sangat penting pada pekerjaan lapangan dan pada pembuatan benda uji,

4. suhu.

Pada umumnya kecepatan pengerasan beton bertambah dengan bertambahnya suhu. Pada titik beku kuat tekan akan tetap rendah untuk waktu yang lama.

#### 5. Umur.

Pada keadaan yang normal kekuatan beton bertambah dengan umurnya. Kecepatan bertambahnya kekuatan tergantung pada jenis semen.

### 3.6 Tegangan-Regangan

Kemampuan bahan untuk menahan beban yang didukungnya dan perubahan bentuk atau deformasi yang terjadi pada bahan itu amat tergantung dari sifat tegangan-regangan tersebut (Kardiyono, 1988). Berikut rumus tegangan adalah :

$$\sigma = P/A \quad (3.1)$$

Keterangan :

$\sigma$  = Tegangan (MPa)

P = Kuat tekan (N)

A = Luas permukaan (mm<sup>2</sup>)

### 3.7 Modulus Elastis

Kemiringan suatu garis lurus yang menghubungkan titik pusat dengan suatu harga tegangan ( $0,4 f'_c$ ) disebut modulus elastisitas atau modulus sekan dari beton (Nawy, 1990).

Rumus yang digunakan dalam modulus elastisitas untuk pengujian adalah :

$$E = \sigma / \epsilon \quad (3.2)$$

Keterangan :

$E$  = Modulus elastisitas (MPa)

$\sigma = 0,4 \sigma \text{ maks}$  (MPa)

$\varepsilon$  = Regangan ( $10^{-4}$ )

Adapun rumus modulus elastis teoritis yang ditetapkan oleh SNI adalah :

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'} \quad (3.3)$$

Keterangan :

$E_c$  = Modulus elastis (MPa)

$f_c'$  = tegangan maksimum (MPa)

### 3.8 Perencanaan Campuran Beton

Dalam penelitian kali ini digunakan metode *The British Mix Design Method* atau lebih dikenal di Indonesia dengan cara DOE (*Department Of Environment*). Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut (Sumber : Triono Budi Astanto; 2001) :

1. menetapkan kuat tekan beton yang disyaratkan 28 hari,
2. menetapkan nilai deviasi standar ( $S_d$ ). Standar deviasi ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran betonnya, makin baik mutu pelaksanaan makin kecil nilai deviasi standar,
3. Menetapkan kuat tekan rata-rata yang direncanakan

Rumusnya :

$$f_{cr}' = f_c' + M \quad (3.2)$$

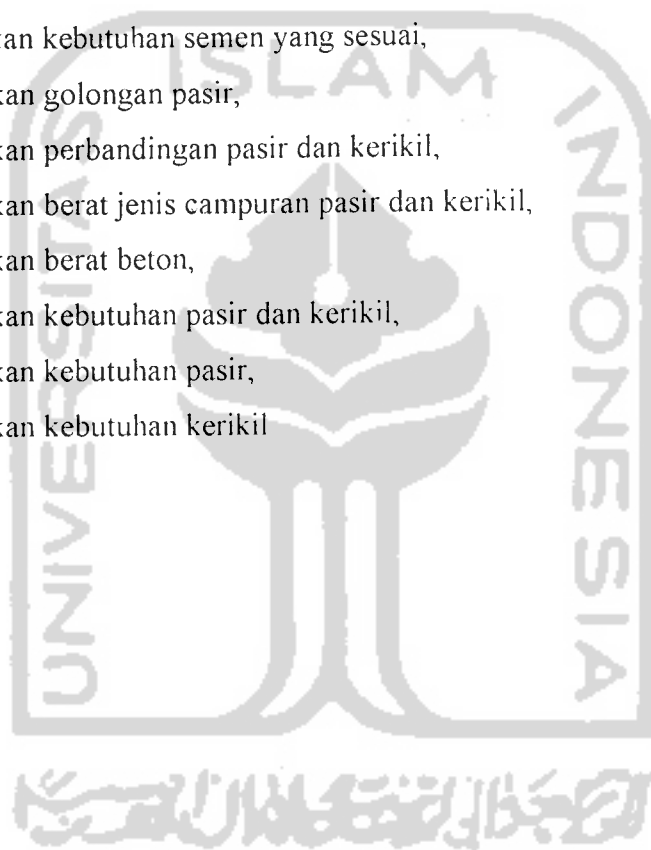
Keterangan :

$f_{cr}'$  = Kuat tekan rata-rata

$f_c'$  = Kuat tekan yang disyaratkan

$M$  = Nilai tambah

4. menetapkan jenis semen,
5. menetapkan jenis agregat (pasir dan kerikil),
6. menetapkan faktor air-semen,
7. menetapkan nilai *slump*,
8. menetapkan kebutuhan air,
9. menetapkan kebutuhan semen,
10. menetapkan kebutuhan semen minimum,
11. menetapkan kebutuhan semen yang sesuai,
12. menentukan golongan pasir,
13. menentukan perbandingan pasir dan kerikil,
14. menentukan berat jenis campuran pasir dan kerikil,
15. menentukan berat beton,
16. menentukan kebutuhan pasir dan kerikil,
17. menentukan kebutuhan pasir,
18. menentukan kebutuhan kerikil



## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

Urutan pelaksanaan penelitian pembuatan benda uji akan dibahas dalam bab ini yang meliputi waktu dan tempat penelitian, persiapan dan pengadaan bahan, pemeriksaan agregat, merencanakan komposisi bahan campuran beton (menggunakan metode DOE), pengadukan, pengujian beton segar, pengawetan, pengujian benda uji yang terdiri dari uji tekan dan tegangan-regangan.

#### **4.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Waktu penelitian dimulai bulan Juni 2006 sampai Desember 2006, selama 7 bulan. Rentang waktu tersebut dibagi dalam 4 kelompok waktu kerja, pertama persiapan, pengadaan bahan, dan uji-uji pendahuluan selama 1 bulan. Kedua, pembuatan benda uji dan perawatan benda uji dibutuhkan waktu selama 2 bulan. Ketiga, persiapan pengujian dan pengujian benda-benda uji selama 2 bulan. Keempat, analisis data, pembuatan laporan, dan publikasi/seminar hasil, selama 2 bulan.

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

#### **4.2 Persiapan Bahan dan Alat**

##### **4.2.1 Pengadaan Bahan**

Mempersiapkan pengadaan bahan-bahan yang berkaitan dengan semua bahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Semen, digunakan semen jenis I yang tersedia di pasaran. Pemilihan jenis ini dilakukan karena paling umum dipakai sebagai bahan campuran beton dan tidak memerlukan persyaratan khusus. Semen ditempatkan pada suatu tempat yang kering dan tidak terkena kelembaban air.

### 4.3 Benda Uji

#### 4.3.1 Jenis Benda Uji

Jenis benda uji yang akan dibuat berkaitan dengan variabel yang ingin dimasukkan pada penelitian ini, yaitu terdiri dari mutu beton, umur beton, persentase pengurangan air, jenis pengujian yang terdiri dari kuat tekan dan diagram tegangan-regangan. Jika dirangkum dan disajikan dalam bentuk tabel, terlihat seperti pada **Tabel 4.1**. Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui jumlah benda uji dan disusun jenis-jenis pengujian.

**Tabel 4.1** Jumlah sampel pengujian

| Variasi<br>Pengurangan<br>air | Uji desak pada umur |           |         |         | Uji tegangan-<br>regangan<br>28 hari |
|-------------------------------|---------------------|-----------|---------|---------|--------------------------------------|
|                               | 3<br>hari           | 7<br>hari | 14 hari | 28 hari |                                      |
| 0%                            | 3                   | 3         | 3       | 5       | 1                                    |
| 5%                            | 3                   | 3         | 3       | 5       | 1                                    |
| 10%                           | 3                   | 3         | 3       | 5       | 1                                    |
| 15%                           | 3                   | 3         | 3       | 5       | 1                                    |
| 20%                           | 3                   | 3         | 3       | 5       | 1                                    |
| 25%                           | 3                   | 3         | 3       | 5       | 1                                    |
| 30%                           | 3                   | 3         | 3       | 5       | 1                                    |
| $\Sigma$                      | 21                  | 21        | 21      | 35      | 7                                    |

\* : Penggunaan *superplasticizer* disesuaikan jumlahnya untuk mencapai nilai slump yang diinginkan

#### 4.3.2 Jenis-jenis pengujian

Untuk mendapatkan data yang lengkap dan menyeluruh akan dilakukan berbagai jenis uji terutama pada beton segar dan beton keras. Pengujian beton segar dilakukan untuk mengetahui kelecakannya, uji yang dilakukan berupa uji slump. Untuk pengujian beton keras meliputi pengujian kuat tekan dan tegangan-regangan.

## 1. Pengujian Slump

Keleccakan beton segar pada beton normal baik metode DOE (*development of environmental*) maupun SK SNI T-15-1990-03 (1990) antara 0 sampai 180 mm yang disediakan dalam empat interval, yaitu 0 -10 mm, 10 – 30 mm, 30 – 60 mm, dan 60 – 180 mm. Keleccakan dengan nilai slump antara 0 – 60 mm sangat rendah, dengan nilai slump sebesar itu memerlukan jumlah air dalam jumlah minimal. Apabila dikehendaki slump lebih besar atau sama dengan 150 mm, maka akan dibutuhkan jumlah air dan semen yang lebih besar.

Dalam penelitian ini, diambil interval nilai slump yang akan dimodifikasi adalah antara 30 – 60 mm dengan alasan bahwa nilai slump tersebut berada di tengah-tengah antara slump terendah dan tertinggi yang tersedia pada metode DOE. Pengurangan terhadap air campuran dilakukan secara gradual dengan interval 5% antara 0 - 30% dan penambahan SP dilakukan sedikit demi sedikit sampai diperoleh nilai slump lebih besar atau sama dengan 150 mm untuk setiap variasi pengurangan air.

## 2. Kekuatan Beton Keras

Kekuatan beton yang dinyatakan dalam kuat tekan, untuk beton normal ini sangat terbatas, yaitu 40 MPa. Sementara penggunaan semen untuk mencapai kekuatan tersebut cukup tinggi. Padahal para peneliti, dengan menggunakan jumlah semen yang sama dan ditambah sedikit bahan tambah (*additive*) dapat menghasilkan mutu beton yang lebih tinggi. Beton normal dengan kadar air tinggi menghasilkan beton yang tidak begitu kedap, kandungan porinya tinggi, sehingga keawetannya terbatas. Kekuatan beton bergantung kepada jumlah air yang diberikan pada campuran beton, lebih rendah jumlah air kekuatan beton lebih tinggi. Ini berarti beton mutu tinggi dapat dihasilkan dengan menggunakan faktor air-semen (f.a.s) yang rendah. Jumlah air rendah pada beton menyebabkan jarak butir-butir halus lebih rapat, maka akan menghasilkan beton yang rapat. Dengan

kata lain akan menghasilkan beton kuat tekan tinggi sekaligus permeabilitasnya rendah, sehingga beton keras akan memiliki tingkat keawetan (*durability*) yang lebih tinggi.

Pengujian beton keras yaitu uji kekuatan beton (*strength*). Kekuatan beton meliputi kuat tekan dan tegangan-regangan.. Uji beton keras juga dilakukan untuk mendapatkan parameter bahan yang meliputi modulus elastis dan diagram tegangan-regangan.

#### **4.4 Perawatan Beton**

Perawatan merupakan salah satu bagian dari proses pembuatan benda uji yang standar untuk menghasilkan beton keras yang diharapkan. Perawatan yang dilakukan terhadap beton adalah dalam rangka memberikan kelembaban agar semen dapat meneruskan proses hidrasi. Perawatan yang baik akan menghasilkan beton yang memiliki kualitas tinggi begitu sebalikny.

Dalam penelitian ini, perawatan beton keras dilakukan mengikuti perawatan standar, yaitu dengan perendaman, dimana benda uji direndam sampai batas umur pengujian. Benda uji dikeluarkan dari perendaman 2 jam sebelum pengujian, hal ini dilakukan agar benda uji tidak dalam keadaan basah ketika diuji.

#### **4.5 Pengujian Beton Keras**

Pengujian beton keras mencakup pengujian kuat tekan. Kuat tekan beton diuji untuk umur 3, 7, 14, dan 28 hari. Selain itu dilakukan juga pengujian tegangan-regangan untuk mendapatkan modulus elastis beton untuk umur 28 hari..

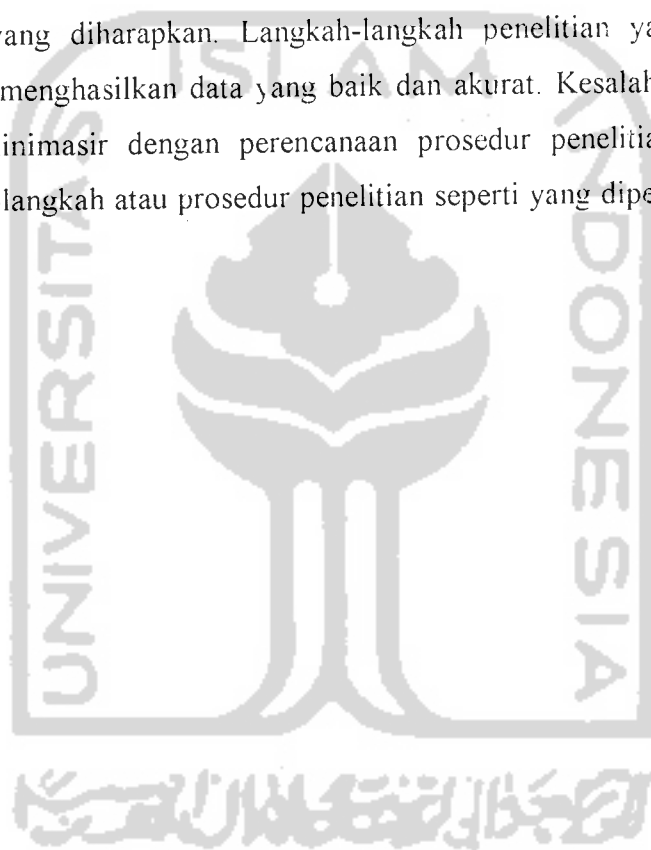
#### **4.6 Analisis data**

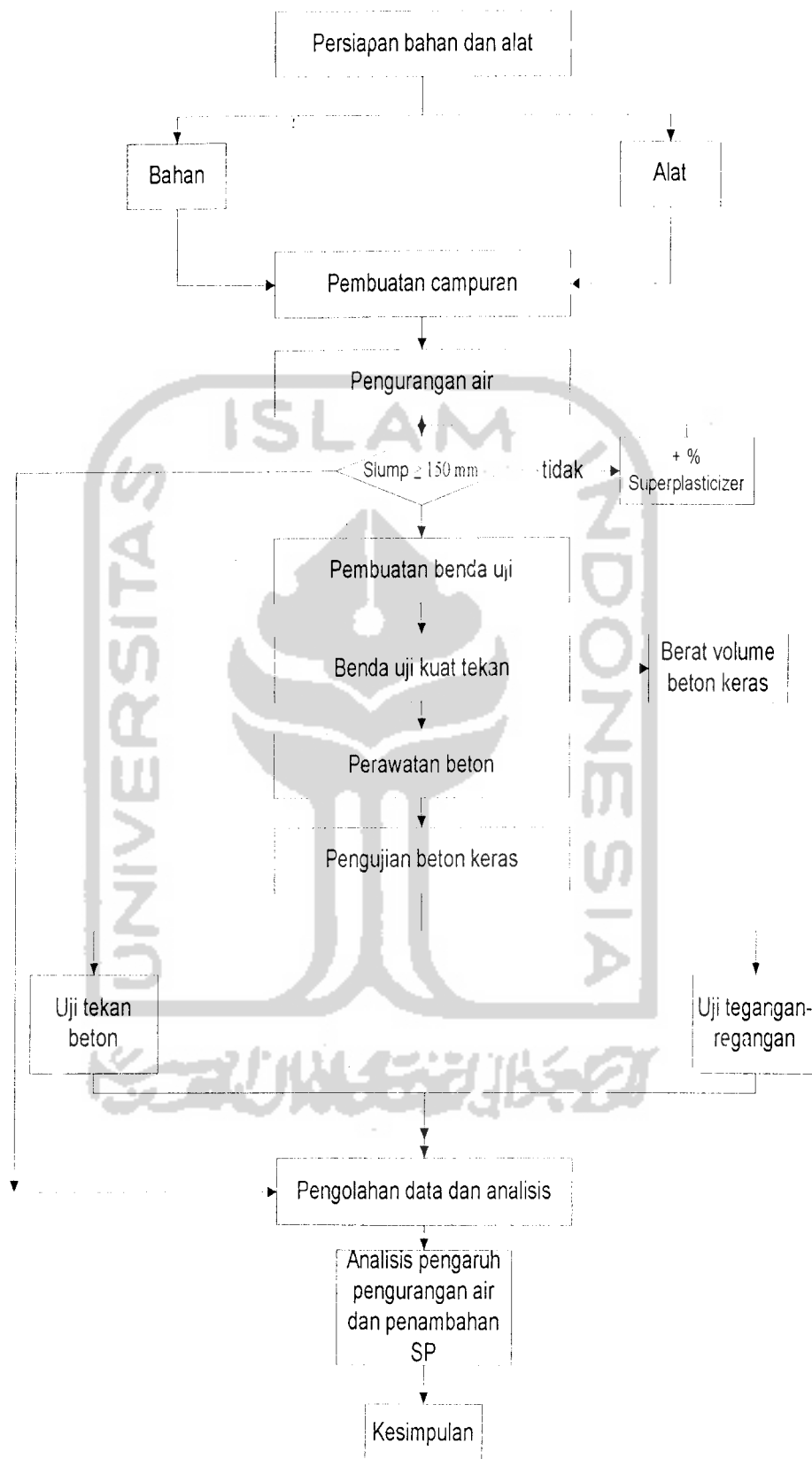
Analisis data dilakukan dengan cara regresi (yang tersedia di dalam Microsoft Excel) terhadap data kuat desak beton yang memiliki kesamaan variasi

pengurangan jumlah air. Hasil regresi ini akan menunjukkan bentuk formula modifikasi disain campuran beton normal yang diinginkan. Alternatif lain bentuk formula modifikasi disajikan dalam bentuk tabel yang menghubungkan kuat desak beton, variasi pengurangan jumlah air dan penambahan *superplasticizer*.

#### 4.7 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian diperlukan untuk menjaga agar jalannya penelitian sesuai dengan yang diharapkan. Langkah-langkah penelitian yang tepat dan sistematis dapat menghasilkan data yang baik dan akurat. Kesalahan yang tidak perlu dapat diminimasir dengan perencanaan prosedur penelitian yang baik. Adapun langkah-langkah atau prosedur penelitian seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 4**





## BAB V

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Umum

Pada bab ini akan membahas hasil penelitian yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII yang meliputi hasil pemeriksaan berat jenis dan kadar air pasir, berat jenis dan kadar air kerikil, berat volume agregat kasar, modulus halus butir agregat halus, gradasi pasir, pengujian beton yaitu nilai slump, kuat desak, dan tegangan-regangan beton.

Adapun hasil dari pemeriksaan berat jenis dan kadar air pasir, berat jenis dan kadar air kerikil, berat volume agregat kasar, modulus halus butir agregat halus dan gradasi pasir seperti yang terlihat pada tabel di bawah ini

**Tabel 5.1** Hasil pemeriksaan berat jenis dan kadar air pasir

| URAIAN                                                                                      | Sampel<br>1 | Sampel<br>2 | Sampel<br>3 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Berat Pasir Kering Mutlak, gram ( Bk )                                                      | 474         | 480         | 478         |
| Berat Pasir Kondisi Jenuh Kering Muka, gram                                                 | 500         | 500         | 500         |
| Berat Piknometer Berisi Pasir dan Air, gram ( Bt )                                          | 1142        | 1147,5      | 1132        |
| Berat Piknometer Berisi Air, gram ( B )                                                     | 831,5       | 831,5       | 831,5       |
| Berat Jenis Curah, gram/cm <sup>3</sup> ..... ( 1 )<br>$Bk / ( B + 500 - Bt )$              | 2,5013      | 2,609       | 2,396       |
| Berat Jenis Jenuh Kering Muka, gram/cm <sup>3</sup> ..... ( 2 )<br>$500 / ( B + 500 - Bt )$ | 2,64        | 2,717       | 2,506       |
| Berat Jenis Semu ..... ( 3 )<br>$Bk / ( B + Bk - Bt )$                                      | 2,899       | 2,926       | 2,693       |
| Penyerapan Air ..... ( 4 )<br>$( 500 - Bk ) / Bk \times 100\%$                              | 5,485 %     | 4,167 %     | 4,603 %     |

| URAIAN                                                                                     | Rata-rata |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Berat Pasir Kering Mutlak, gram ( Bk )                                                     | 477,33    |
| Berat Pasir Kondisi Jenuh Kering Muka, gram                                                | 500       |
| Berat Piknometer Berisi Pasir dan Air, gram ( Bt )                                         | 1140,5    |
| Berat Piknometer Berisi Air, gram ( B )                                                    | 831,5     |
| Berat Jenis Curah, gram/cm <sup>3</sup> ..... ( 1 )<br>$Bk / ( B + 500 - Bt )$             | 2,502     |
| Berat Jenis Jenuh Kering Muka gram/cm <sup>3</sup> ..... ( 2 )<br>$500 / ( B + 500 - Bt )$ | 2,621     |
| Berat Jenis Semu ..... ( 3 )<br>$Bk / ( B + Bk - Bt )$                                     | 2,834     |
| Penyerapan Air ..... ( 4 )<br>$( 500 - Bk ) / Bk \times 100\%$                             | 4,752 %   |

Keterangan :

500 = Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh, dalam gram

Kesimpulan : berat jenis jenuh kering muka pasir tersebut = 2,621 gr/cm<sup>3</sup>

**Tabel 5.2** Pemeriksaan berat jenis dan kadar air kerikil

| URAIAN                                                          | Sampel 1 | Sampel 2 | Sampel 3 |
|-----------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|
| Berat Kerikil Kering Mutlak, gram ( Bk )                        | 4801     | 4830     | 4805     |
| Berat Kerikil Kondisi Jenuh Kering Muka, gram ( Bj )            | 5000     | 5000     | 5000     |
| Berat Kerikil Dalam Air, gram ( Ba )                            | 3098     | 3108     | 3119     |
| Berat Jenis Curah ..... ( 1 )<br>$Bk / ( Bj - Ba )$             | 2,524    | 2,553    | 2,554    |
| Berat Jenis jenuh Kering Muka ..... ( 2 )<br>$Bj / ( Bj - Ba )$ | 2,629    | 2,643    | 2,658    |
| Berat Jenis Semu ..... ( 3 )<br>$Bk / ( Bk - Ba )$              | 2,819    | 2,805    | 2,85     |
| Penyerapan Air ..... ( 4 )<br>$( Bj - Bk ) / Bk \times 100\%$   | 4,145 %  | 3,519 %  | 4,058 %  |

| URAIAN                                                         | Rata-rata |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| Berat Kerikil Kering Mutlak, gram ( Bk )                       | 4812      |
| Berat Kerikil Kondisi Jenuh Kering Muka, gram ( Bj )           | 5000      |
| Berat Kerikil Dalam Air, gram ( Ba )                           | 3108,33   |
| Berat Jenis Curah.....( 1 )<br>$Bk / ( Bj - Ba )$              | 2,544     |
| Berat Jenis jenuh Kering Muka..... ( 2 )<br>$Bj / ( Bj - Ba )$ | 2,643     |
| Berat Jenis Semu..... ( 3 )<br>$Bk / ( Bk - Ba )$              | 2,825     |
| Penyerapan Air..... ( 4 )<br>$( Bj - Bk ) / Bk \times 100\%$   | 3,907 %   |

Kesimpulan : berat jenis jenuh kering muka agregat tersebut =  $2,544 \text{ gr/cm}^3$

**Tabel 5.3** Pemeriksaan berat volume agregat kasar

| Uraian                                                        | Sampel 1 | Sampel 2 |
|---------------------------------------------------------------|----------|----------|
| Berat Tabung ( W <sub>1</sub> ), gram                         | 15967    | 15967    |
| Berat Tabung + Agregat Kering Tungku ( W <sub>2</sub> ), gram | 31899,67 | 32868,55 |
| Berat Agregat Bersih ( W <sub>3</sub> ), gram                 | 15932,67 | 16901,55 |
| Volume Tabung ( V ), cm <sup>3</sup>                          | 10765,32 | 10765,32 |
| Berat Isi Padat ( W <sub>3</sub> / V ), gram/cm <sup>3</sup>  | 1,48     | 1,57     |

| Uraian                                                        | Sampel 3 | Rata-rata |
|---------------------------------------------------------------|----------|-----------|
| Berat Tabung ( W <sub>1</sub> ), gram                         | 15967    | 15967     |
| Berat Tabung + Agregat Kering Tungku ( W <sub>2</sub> ), gram | 33000    | 32589,41  |
| Berat Agregat Bersih ( W <sub>3</sub> ), gram                 | 17033    | 16622,41  |
| Volume Tabung ( V ), cm <sup>3</sup>                          | 10760    | 10763,52  |
| Berat Isi Padat ( W <sub>3</sub> / V ), gram/cm <sup>3</sup>  | 1,58     | 1,54      |

**Tabel 5.4** Modulus halus butir agregat halus

| Lubang Ayakan<br>( mm ) | Berat Tertinggal<br>( gram ) | Berat Tertinggal<br>( % ) | Berat Tertinggal<br>Kumulatif<br>( % ) | Persen Lolos<br>Kumulatif<br>( % ) |
|-------------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------------------|------------------------------------|
| 40,00                   | 0                            | 0                         | 0                                      | 100                                |
| 20,00                   | 0                            | 0                         | 0                                      | 100                                |
| 10,00                   | 0                            | 0                         | 0                                      | 100                                |
| 4,80                    | 23,50                        | 1,175                     | 1,175                                  | 98,825                             |
| 2,40                    | 141                          | 7,05                      | 8,225                                  | 91,775                             |
| 1,20                    | 416,5                        | 20,825                    | 29,05                                  | 70,95                              |
| 0,60                    | 644,50                       | 32,225                    | 61,275                                 | 38,725                             |
| 0,30                    | 407                          | 20,35                     | 81,625                                 | 18,375                             |
| 0,15                    | 209,5                        | 10,475                    | 92,1                                   | 7,90                               |
| Sisa                    | 158                          | 7,9                       | 0                                      | 0                                  |
| <b>Jumlah</b>           | <b>2000</b>                  | <b>100</b>                | <b>273,45</b>                          | <b>-</b>                           |

Modulus halus butir adalah suatu indek yang dipakai untuk menjadi ukuran kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat. Makin besar nilai modulus halus butir menunjukkan bahwa makin besar butir-butir agregatnya. Pada umumnya pasir mempunyai modulus halus butir antara 1,5 sampai 3,8 (Kardiyono, 1992). Dalam penelitian ini modulus halus butir yang didapatkan sebesar :

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{273,45}{100} = 2,7345$$

**Tabel 5.5** Gradasi pasir

| Lubang ayakan<br>(mm) | Persen butir agregat yang lewat ayakan |           |            |           |
|-----------------------|----------------------------------------|-----------|------------|-----------|
|                       | Dacrah I                               | Dacrah II | Dacrah III | Dacrah 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

## 5.2 Pengaruh pengurangan air dan penambahan *superplasticizer* terhadap workabilitas

Didalam campuran beton, air mempunyai dua fungsi, yang pertama, untuk memungkinkan reaksi kimia *portland cement* yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan, dan kedua sebagai pelumas campuran kerikil, pasir dan semen agar memudahkan percetakan (Murdock dan Brook). Penggunaan air secara berlebihan akan mengakibatkan kekuatan beton menurun dan sebaliknya penggunaan pada campuran beton dalam jumlah sedikit akan meningkatkan kuat beton tetapi mempunyai efek yaitu campuran beton sulit untuk dipadatkan sehingga beton mudah keropos. Untuk menghindari terjadinya keropos dan *bleeding* maka campuran beton ditambahkan bahan tambah yaitu *superplasticizer*. *Superplasticizer* berfungsi untuk menjaga workabilitas beton pada saat dilakukan pengurangan air.

Pada penelitian ini beton dengan pengurangan air dan penambahan *superplasticizer* direncanakan memiliki nilai slump 150 mm - 180 mm dimana penambahan *superplasticizer* dilakukan sedikit demi sedikit. Penambahan *superplasticizer* ke dalam adukan beton dilakukan sedikit demi sedikit sampai didapatkan nilai slump yang diinginkan dengan tujuan untuk mengontrol kadar *superplasticizer* agar tidak berlebihan sehingga mengakibatkan terjadinya *bleeding* dan segregasi. Penambahan *superplasticizer* kedalam campuran beton

yang dilakukan sedikit demi sedikit juga mengakibatkan tidak konsistennya kadar *superplasticizer* yang diberikan kedalam adukan beton.

Untuk mengetahui tingkat kelecakan beton atau workabilitas beton maka dilakukan pengujian berupa uji *slump*. Pengujian nilai *slump* sebagai indikator workabilitas, semakin tinggi nilai slump maka workabilitas beton akan tinggi dan semakin rendah nilai slump maka tingkat workabilitasnya akan rendah. (Syafrudin dan Hastoro, 2005).

Adapun data pengujian *slump* dapat dilihat pada tabel 5.6

**Tabel 5.6** Nilai *Slump* sebelum dan sesudah penambahan *superplasticizer*

| Variasi adukan | Nilai <i>slump</i> |            | Keterangan          |      |                   |
|----------------|--------------------|------------|---------------------|------|-------------------|
|                | Awal (cm)          | Akhir (cm) | Pengurangan air (%) | fas  | Persentase SP (%) |
| B40-0%         | 6,5                | 18,25      | 0                   | 0,36 | 0,22              |
| B40-5%         | 0                  | 19         | 5                   | 0,34 | 0,33              |
| B40-10%        | 0                  | 19,75      | 10                  | 0,32 | 0,99              |
| B40-15%        | 0                  | 19,7       | 15                  | 0,31 | 1,10              |
| B40-20%        | 0                  | 18,5       | 20                  | 0,29 | 1,12              |
| B40-25%        | 0                  | 18,35      | 25                  | 0,27 | 1,43              |
| B40-30%        | 0                  | 19,25      | 30                  | 0,25 | 2,42              |

Keterangan :

B40-0% : Beton kuat tekan 40 MPa dengan pengurangan air 0%

Awal : Nilai *slump* sebelum penambahan *superplasticizer*

Akhir : Nilai *slump* setelah penambahan *superplasticizer*

Pengurangan air : Pengurangan air dalam persen (%) terhadap kebutuhan hasil perhitungan kebutuhan campuran

Penambahan SP : Penambahan *superplasticizer* (SP) terhadap berat PC

Dari tabel 5.6 terlihat bahwa semakin tinggi pengurangan air akan mengakibatkan rendahnya nilai slump sehingga berpengaruh pada workabilitas

beton yaitu workabilitas beton menjadi rendah hal ini terlihat pada nilai slump awal rendah sebelum ditambahkan *superplasticizer*, setelah dilakukan penambahan *superplasticizer* pada campuran beton maka nilai slump bertambah besar seperti yang terlihat pada table 5.6. Dengan menambahkan *superplasticizer* pada masing-masing variasi beton dapat memberikan workabilitas yang baik pada adukan beton sehingga nilai slump bertambah. Hal ini sesuai dengan penelitian Brook dan Murdock (1991) bahwa *superplasticizer* dapat meningkatkan nilai slump sebesar 175 mm – 225 mm. Pada penelitian Ramachandran (1979) *superplasticizer* memberikan keuntungan dengan mendapatkan nilai slump lebih besar dari 200 mm, sedangkan nilai slump asli hanya sebesar 50 mm dengan dosis penambahan antara 0,3 – 0,6 % dari berat semen.

Pada pengerjaan pengadukan untuk variasi B40-0%, B40-5%, B40-10%, B40-15%, B40-20% untuk mencapai nilai slump antara 150 mm – 180 mm tidak terlalu sulit karena pengurangan air belum terlampaui besar sehingga adukan beton ditambahkan dengan *superplasticizer* lebih cepat lecah atau *workable*. Untuk pengerjaan adukan pada variasi B40-25%, B40-30% relatif lebih sulit untuk mencapai nilai slump antara 150 mm – 180 mm karena pengurangan pada masing-masing variasi sudah terlampaui besar sehingga membuat adukan beton lebih kental karena pengurangan air yang besar dan penambahan *superplasticizer* yang meningkat sehingga adukan beton membutuhkan waktu yang cukup lama yaitu  $\pm$  45 menit untuk mendapatkan nilai slump yang diinginkan.

Apabila campuran beton diaduk dengan penambahan *superplasticizer* dalam waktu yang cepat dapat mempengaruhi cepat mengerasnya adukan beton karena *superplasticizer* belum merata dalam adukan beton. Hal ini sesuai dengan penelitian Ramachandran (1979) yang mengatakan bahwa faktor yang mempengaruhi cepat mengerasnya adukan antara lain tipe dan jumlah penambahan *superplasticizer*, tipe dan jumlah kandungan semen, waktu penambahan *superplasticizer*, kelembaban dan temperatur udara, cara pengadukan dan pemakaian bahan tambah lainnya. Akan tetapi untuk mencapai nilai slump 150 mm – 180 mm masih dapat dilakukan.

Semakin tinggi pengurangan air maka kebutuhan *superplasticizer* juga akan semakin meningkat untuk menjaga workabilitas beton. Penambahan *superplasticizer* seiring dengan pengurangan air dilakukan untuk tetap mempertahankan workabilitas adukan beton dalam mencapai nilai slump yang diinginkan.

### **5.3 Pengaruh pengurangan air, fas dengan penambahan *superplasticizer* terhadap kuat tekan**

Tujuan yang utama dalam penelitian ini adalah untuk meningkatkan kuat tekan beton. Menurut Chaiyasena (1992) Kuat tekan beton akan meningkat apabila kandungan air pada campuran bahan beton rendah. Peningkatan kuat tekan beton juga dipengaruhi oleh faktor air semen (fas). Menurut Mulyono (2004) semakin tinggi nilai fas semakin rendah mutu kekuatan beton namun demikian nilai fas yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Nilai fas yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun. Untuk mengatasi kesulitan pengerjaan karena rendahnya nilai fas maka ditambahkan bahan tambah yaitu *superplasticizer* untuk meningkatkan workabilitas beton.

Hasil pengujian yang memperlihatkan kuat tekan beton setelah dilakukan pengurangan air seperti yang ditunjukkan pada Gambar dibawah ini

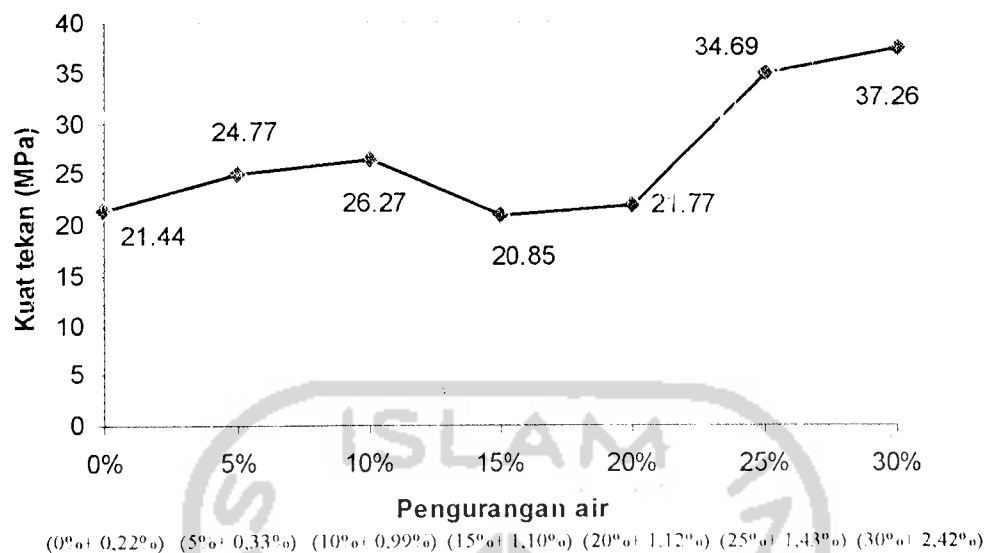
2. Pasir, karena lokasi penelitian berada di Yogyakarta, maka pasir yang akan digunakan diambil dari sekitar Yogyakarta.
3. Agregat kasar, sebagaimana pasir, agregat juga digunakan yang berasal dari sekitar Yogyakarta. Agregat kasar dipakai berupa batu pecah (split) dengan ukuran maksimum 20 mm.
4. *Superplasticizer* dengan merek menggunakan yang memiliki sifat meningkatkan kelecakan beton segar yang tersedia di pasaran.

#### 4.2.2 Pengolahan Bahan-Bahan

1. Mencuci pasir dan kerikil untuk menghilangkan debu dan lumpur. Kerikil yang telah diolah dimasukkan ke dalam karung goni, untuk menjaga kelembabannya.
2. Sebelum dimasukkan ke dalam goni, pasir dan kerikil diayak untuk mendapatkan ukuran sesuai peraturan ASTM C 33-92a (1993) dan ASTM C 136-92 (1993), untuk pasir 0-4,75 mm dan untuk kerikil memiliki ukuran 4,75-20 mm.
3. Menguji parameter agregat seperti berat jenis, berat volume, kadar air, penyerapan air dll, bahan pasir dan kerikil tersebut diambil dari dalam goni (yang telah diolah). Hal ini dilakukan untuk mendapatkan data agregat sesuai dengan kondisi yang ada dalam goni.

#### 4.2.3 Persiapan Alat

Persiapan alat perlu dilakukan pada awal penelitian untuk menjaga kelancaran proses pelaksanaan penelitian. Persiapan alat ini meliputi pengecekan ketersediaan, kelengkapan dan kelayakan alat terutama alat-alat kerja pembuatan benda uji. Untuk alat-alat berupa timbangan dan mesin, perlu dilakukan pengecekan terhadap kehandalan dan ketelitiannya yang berkaitan dengan kalibrasi alat.



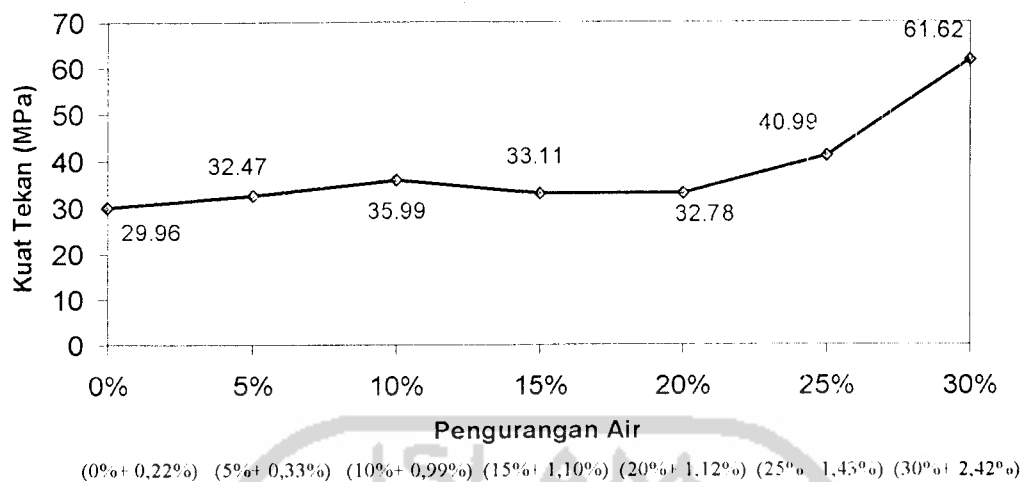
**Gambar 5.2** Hubungan kuat tekan dan pengurangan air dengan penambahan *superplasticizer* pada umur 3 hari

**Tabel 5.7** Persentase kuat tekan umur 3 hari

| Umur 3 hari   |      |                            |                   |                            |
|---------------|------|----------------------------|-------------------|----------------------------|
| Variasi beton | fas  | Kuat tekan rata-rata (MPa) | Persentase SP (%) | Persentase Peningkatan (%) |
| B40-0%        | 0,36 | 21,44                      | 0,22              | 0                          |
| B40-5%        | 0,34 | 24,77                      | 0,33              | 15,56                      |
| B40-10%       | 0,32 | 26,27                      | 0,99              | 22,55                      |
| B40-15%       | 0,31 | 20,85                      | 1,10              | -2,51                      |
| B40-20%       | 0,29 | 21,77                      | 1,12              | 1,54                       |
| B40-25%       | 0,27 | 34,69                      | 1,43              | 61,85                      |
| B40-30%       | 0,25 | 37,26                      | 2,42              | 73,81                      |

Dari Gambar 5.2 terlihat bahwa kuat tekan beton meningkat dengan pengurangan kadar air, hal ini sesuai dengan Neville (1995) bahwa kuat tekan beton akan meningkat apabila kandungan air pada campuran beton rendah. Pada variasi beton B40-15% dan B40-20% terjadi penurunan kuat tekan hal ini

disebabkan karena adanya ketidaksesuaian antara kandungan air dengan dosis *superplasticizer*. Penambahan *superplasticizer* dengan kadar yang tinggi sehingga menimbulkan workabilitas yang tinggi yang menyebabkan jarak antar partikel-partikel semen jauh sehingga proses pengikatan berlangsung lambat yang menyebabkan kuat tekan beton pada variasi B40-15% dan B40-20% menurun. Menurut R.C Smith dan C.K Andres dalam material of construction bahwa *superplasticizer* melapisi partikel semen kemudian memisahkan dan melepaskan semen dari ikatan akibat air, pelapisan ini juga menyebabkan muatan negatif pada partikel semen, mengakibatkan adanya gaya tolak menolak antar partikel semen sehingga menimbulkan tingkat workabilitas yang tinggi tanpa peningkatan nilai *fas* atau menimbulkan *bleeding*. Pada variasi B40-25% dan B40-30% mengalami peningkatan kuat tekan yang tinggi dibanding dengan variasi-variasi beton lainnya ini terlihat dari persentase kuat tekan beton pada tabel 5.7. Persentase peningkatan kuat tekan beton untuk variasi B40-25% adalah 61,85% dan B40-30% adalah 73,81%. Persentase kenaikan kuat tekan tersebut menunjukkan bahwa pengurangan air pada variasi beton B40-25% dan B40-30% sangat besar, semakin besar pengurangan air maka kuat tekan akan meningkat. Kuat tekan maksimum terjadi pada variasi beton B40-30% dengan pengurangan kandungan air 30% dan nilai kuat tekan 37,26 MPa. Pengurangan kandungan air sebesar 30% menghasilkan reaksi yang baik antara semen dan air sehingga kuat tekan maksimum dapat tercapai.



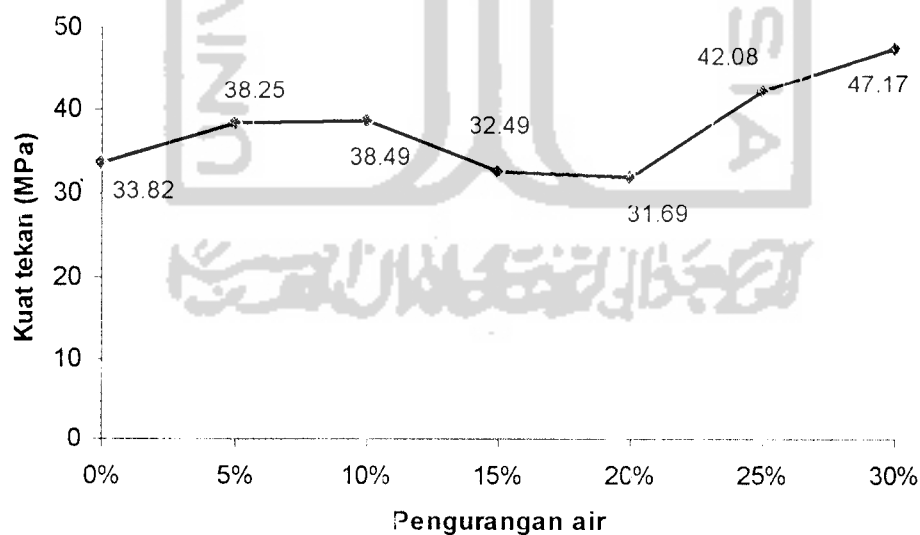
**Gambar 5.3** Hubungan kuat tekan dan pengurangan air dengan penambahan *superplasticizer* pada umur 7 hari

**Tabel 5.8** Persentase kuat tekan umur 7 hari

| Umur 7 hari   |      |                            |                   |                            |
|---------------|------|----------------------------|-------------------|----------------------------|
| Variasi beton | fas  | Kuat tekan rata-rata (MPa) | Persentase SP (%) | Persentase peningkatan (%) |
| B40-0%        | 0,36 | 29,96                      | 0,22              | 0                          |
| B40-5%        | 0,34 | 32,47                      | 0,33              | 8,38                       |
| B40-10%       | 0,32 | 35,99                      | 0,99              | 20,13                      |
| B40-15%       | 0,31 | 33,11                      | 1,10              | 10,51                      |
| B40-20%       | 0,29 | 32,78                      | 1,12              | 9,41                       |
| B40-25%       | 0,27 | 40,99                      | 1,43              | 36,82                      |
| B40-30%       | 0,25 | 61,62                      | 2,42              | 105,67                     |

Dari Gambar 5.3 menunjukkan terjadinya peningkatan kuat tekan pada masing-masing variasi beton dengan pengurangan air yang berbeda-beda. Pada variasi B40-0%, B40-5%, B40-10% menunjukkan peningkatan kuat tekan setelah dilakukan pengurangan kadar air. Pada variasi B40-15% dan B40-20% terjadi penurunan kuat tekan beton hal ini disebabkan karena adanya ketidaksesuaian antara kandungan air dengan dosis *superplasticizer*. Penambahan *superplasticizer* dalam kadar yang tinggi pada variasi beton B40-15% dan B40-20% sehingga

menimbulkan workabilitas yang tinggi yang menyebabkan jarak antar partikel semen semakin jauh sehingga memperlambat proses pengikatan pada agregat yang menyebabkan kuat tekan beton variasi B40-15% dan B40-20% menurun. Menurut R.C Smith dan C.K Andres dalam material of construction bahwa *superplasticizer* melapisi partikel semen kemudian memisahkan dan melepaskan semen dari ikatan akibat air, pelapisan ini juga menyebabkan muatan negatif pada partikel semen, mengakibatkan adanya gaya tolak menolak antar partikel semen sehingga menimbulkan tingkat workabilitas yang tinggi tanpa peningkatan nilai fas atau menimbulkan *bleeding*. Pada variasi beton B40-25% dan B40-30% menunjukkan peningkatan kuat tekan yang signifikan yaitu pada variasi beton B40-30% dengan persentase peningkatan kuat tekan sebesar 105,67% terhadap variasi beton B40-0% dan nilai kuat tekan sebesar 61,62 MPa. Peningkatan kuat tekan maksimum terjadi pada variasi B40-30% dengan pengurangan air 30%. Pada pengurangan air 30% reaksi antara pasta semen dan air mencapai kondisi maksimum sehingga meningkatkan kuat tekan beton.



(0% ± 0.22%) (5% ± 0.33%) (10% ± 0.99%) (15% ± 1.10%) (20% ± 1.12%) (25% ± 1.43%) (30% ± 2.42%)

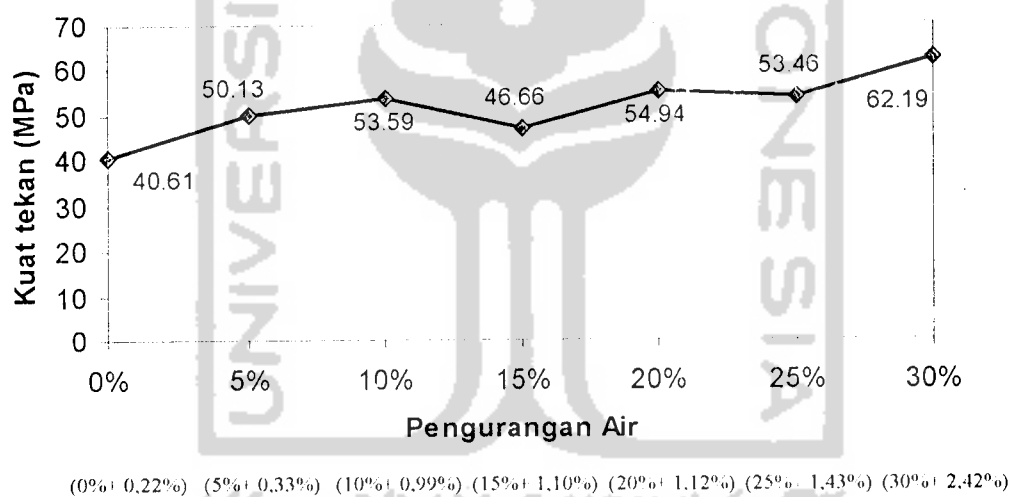
**Gambar 5.4** Hubungan kuat tekan dan pengurangan air dengan penambahan *superplasticizer* pada umur 14 hari

Tabel 5.9 Persentase kuat tekan umur 14 hari

| Umur 14 hari  |      |                            |                   |                            |
|---------------|------|----------------------------|-------------------|----------------------------|
| Variasi beton | fas  | Kuat tekan rata-rata (MPa) | Persentase SP (%) | Persentase peningkatan (%) |
| B40-0%        | 0,36 | 33,82                      | 0,22              | 0                          |
| B40-5%        | 0,34 | 38,25                      | 0,33              | 13,09                      |
| B40-10%       | 0,32 | 38,49                      | 0,99              | 13,81                      |
| B40-15%       | 0,31 | 32,49                      | 1,10              | -3,93                      |
| B40-20%       | 0,29 | 31,69                      | 1,12              | -6,29                      |
| B40-25%       | 0,27 | 42,08                      | 1,43              | 24,42                      |
| B40-30%       | 0,25 | 47,17                      | 2,42              | 39,47                      |

Dari Gambar 5.4 menunjukkan bahwa kuat tekan beton meningkat dengan pengurangan kadar air. Pada variasi beton B40-0%, B40-5%, B40-10% menunjukkan peningkatan kuat tekan seiring dilakukan pengurangan air. Pada variasi, B40-15%, B40-20% terjadi penurunan kuat tekan hal ini disebabkan karena adanya ketidaksesuaian antara kandungan air dengan dosis *superplasticizer*. Penambahan *superplasticizer* dalam kadar yang tinggi pada variasi beton B40-15% sehingga menimbulkan workabilitas yang tinggi yang menyebabkan campuran beton menjadi encer dan pengikatan agregat oleh pasta semen kurang baik yang menyebabkan kuat tekan beton variasi B40-15%, B40-20% menurun. Menurut R.C Smith dan C.K Andres dalam material of construction bahwa *superplasticizer* melapisi partikel semen kemudian memisahkan dan melepaskan semen dari ikatan akibat air, pelapisan ini juga menyebabkan muatan negatif pada partikel semen, mengakibatkan adanya gaya tolak menolak antar partikel semen sehingga menimbulkan tingkat workabilitas yang tinggi tanpa peningkatan nilai fas atau menimbulkan *bleeding*. yang signifikan karena pengurangan kandungan air belum terlampau besar, kuat tekan beton mulai menunjukkan peningkatan pada variasi beton B40-25% dan B40-30% mengalami peningkatan kuat tekan dibanding dengan variasi-variasi beton lainnya

ini terlihat dari persentase kuat tekan beton pada tabel 5.9. Persentase peningkatan kuat tekan beton untuk variasi B40-25% adalah 24,42% dan B40-30% adalah 39,47%. Persentase kenaikan kuat tekan tersebut menunjukkan bahwa pengurangan air pada variasi beton B40-25% dan B40-30% sangat besar, semakin besar pengurangan air maka kuat tekan akan meningkat. Kuat tekan maksimum terjadi pada variasi beton B40-30% dengan pengurangan kandungan air 30% dan nilai kuat tekan 39,47 MPa. Pengurangan kandungan air sebesar 30% menghasilkan reaksi yang maksimum antara pasta semen dan air sehingga peningkatan kuat tekan maksimum dapat tercapai. Pada variasi B40-30% umur 14 hari pengikatannya lambat dibanding dengan variasi B40-30% umur 7 hari yang mencapai kuat tekan 61,62 MPa.

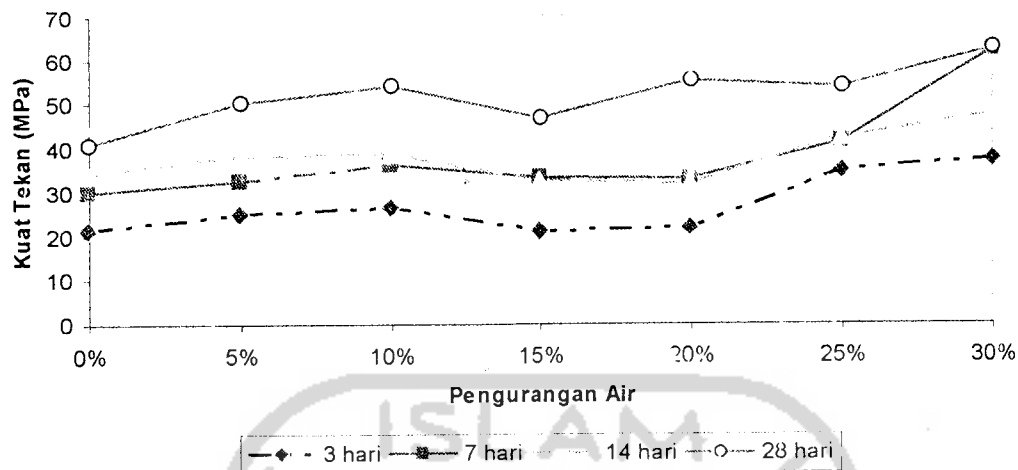


**Gambar 5.5** Hubungan kuat tekan dan pengurangan air dengan penambahan *superplasticizer* pada umur 28 hari

Tabel 5.10 Persentase kuat tekan umur 28 hari

| Umur 28 hari  |      |                            |                   |                            |
|---------------|------|----------------------------|-------------------|----------------------------|
| Variasi beton | fas  | Kuat tekan rata-rata (MPa) | Persentase SP (%) | Persentase peningkatan (%) |
| B40-0%        | 0,36 | 40,61                      | 0,22              | 0                          |
| B40-5%        | 0,34 | 50,13                      | 0,33              | 23,44                      |
| B40-10%       | 0,32 | 53,59                      | 0,99              | 31,96                      |
| B40-15%       | 0,31 | 46,66                      | 1,10              | 14,89                      |
| B40-20%       | 0,29 | 54,94                      | 1,12              | 35,29                      |
| B40-25%       | 0,27 | 53,46                      | 1,43              | 31,64                      |
| B40-30%       | 0,25 | 62,19                      | 2,42              | 53,14                      |

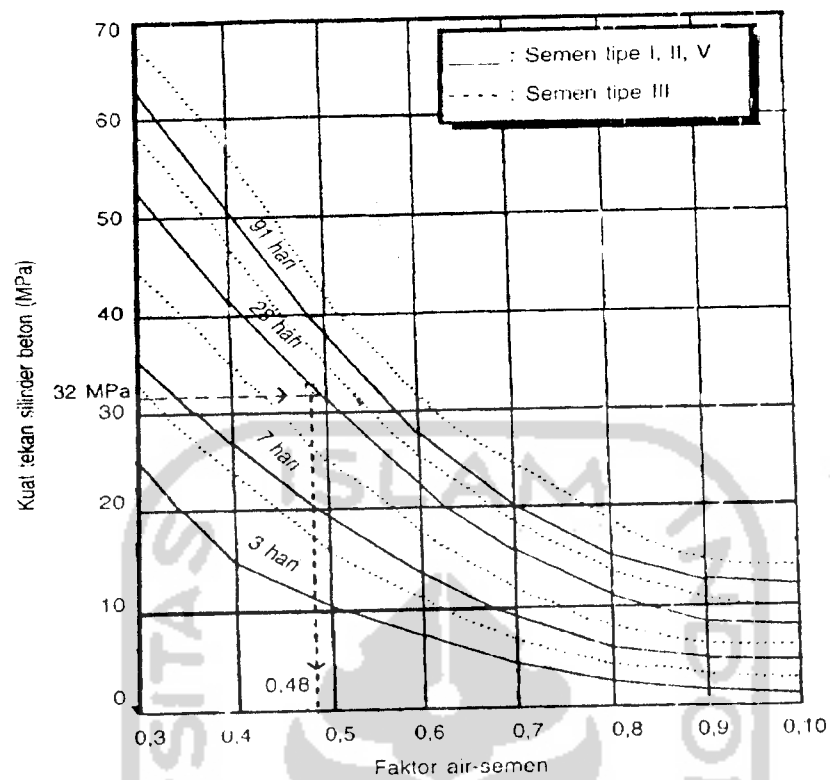
Dari Gambar 5.5 menunjukkan terjadinya peningkatan kuat tekan pada masing-masing variasi beton dengan pengurangan air yang berbeda-beda. Pada variasi B40-0%, B40-5%, B40-10%, terjadi peningkatan kuat tekan akibat dari pengurangan air dan penambahan *superplasticizer*. Pada variasi beton B40-15% dan B40-25% terjadi penurunan kuat tekan yang disebabkan oleh dosis *superplasticizer* yang tidak sesuai dengan campuran beton yang membuat workabilitas tinggi dan beton menjadi encer sehingga proses pengikatan pasta semen terhadap agregat kurang baik yang menyebabkan kuat tekan beton turun. Pada variasi B40-30% mengalami peningkatan kuat tekan yaitu dengan persentase peningkatan kuat tekan sebesar 53,14% dengan nilai kuat tekan sebesar 62,19 MPa. Dengan pengurangan air yang tinggi dan penambahan dosis *superplasticizer* yang sesuai akan meningkatkan kuat tekan beton. Hal ini sesuai dengan Neville (1995) bahwa kuat tekan beton akan meningkat apabila kandungan air pada campuran beton rendah.



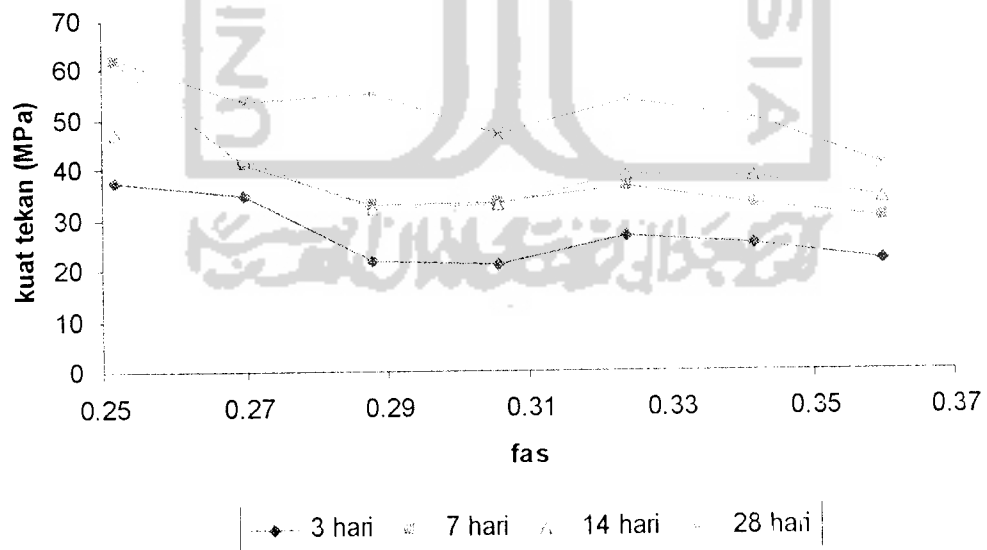
**Gambar 5.6** Hubungan kuat tekan beton dan pengurangan air dengan penambahan *superplasticizer* pada setiap umur beton

Dari Gambar 5.6 hubungan kuat tekan umur 3 hari, 7 hari, 14 hari dan 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan. Pada variasi beton B40-0% sampai B40-20% belum memperlihatkan peningkatan kuat tekan yang signifikan. Peningkatan kuat tekan yang signifikan terjadi pada pengurangan air 25% dan 30% disebabkan karena reaksi yang maksimum antara air dan semen dan pengurangan air dalam kadar yang besar. Hal ini sesuai dengan penelitian Hastoro dan Syafruddin (2005) bahwa pengurangan kandungan air 30% menghasilkan reaksi yang optimum antara air dan semen sehingga kuat tekan maksimal dapat tercapai. Untuk variasi B40-30% umur 14 hari kuat tekannya lebih rendah dibanding dengan variasi B40-30% umur 7 hari hal ini disebabkan oleh adanya pengikatan pasta semen terhadap agregat yang kurang baik diakibatkan oleh dosis *superplasticizer* yang tidak sesuai dengan campuran beton.

Adapun hubungan antara fas dan kuat tekan dapat dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar 5.7 Grafik standar hubungan antara fas dan kuat tekan



Gambar 5.8 Grafik hasil penelitian hubungan antara fas dan kuat tekan

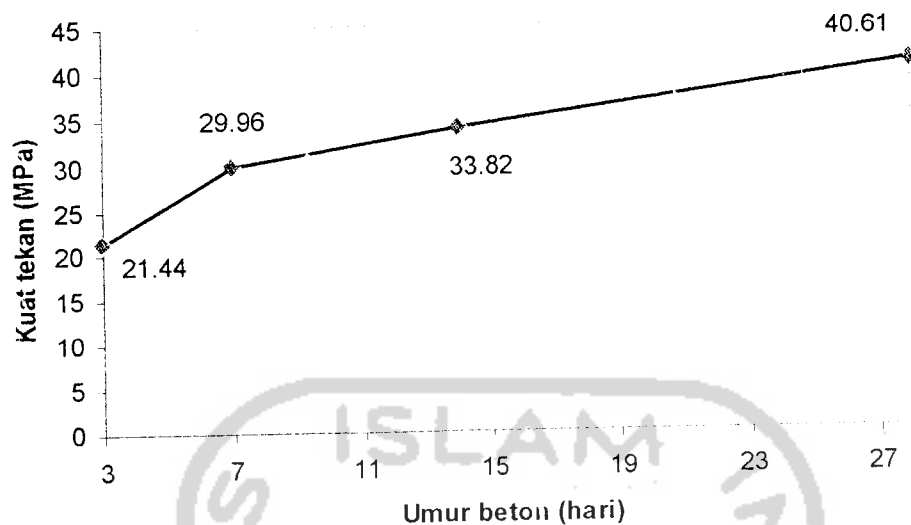
Tabel 5.11 Nilai fas terhadap kuat tekan

| Variasi Beton | fas  | Persentase SP | Kuat tekan rata-rata (MPa) |        |         |         |
|---------------|------|---------------|----------------------------|--------|---------|---------|
|               |      |               | 3 hari                     | 7 hari | 14 hari | 28 hari |
| B40-0%        | 0.36 | 0.2199        | 21.44                      | 29.96  | 33.82   | 40.61   |
| B40-5%        | 0.34 | 0.3299        | 24.77                      | 32.47  | 38.25   | 50.13   |
| B40-10%       | 0.32 | 0.9897        | 26.27                      | 35.99  | 38.49   | 53.59   |
| B40-15%       | 0.31 | 1.0996        | 20.85                      | 33.11  | 32.49   | 46.66   |
| B40-20%       | 0.29 | 1.1216        | 21.77                      | 32.78  | 31.69   | 54.94   |
| B40-25%       | 0.27 | 1.4295        | 34.69                      | 40.99  | 42.08   | 53.46   |
| B40-30%       | 0.25 | 2.4192        | 37.26                      | 61.62  | 47.17   | 62.19   |

Dari gambar 5.8 terlihat bahwa semakin rendah nilai fas maka semakin tinggi kuat tekan, hal ini sesuai dengan grafik standar hubungan fas dan kuat tekan yang terdapat pada gambar 5.8. Pada grafik standar 5.8 terlihat bahwa semakin rendah nilai fas maka kuat tekan beton akan meningkat. Peningkatan kuat tekan yang tinggi pada beton dipengaruhi oleh pengurangan air dalam kadar yang tinggi dan nilai fas menjadi rendah. Hal ini sesuai dengan Murdock dan Brook (1979) bahwa beton yang paling padat dan kuat diperoleh dengan menggunakan jumlah air yang minimal konsisten dengan derajat workabilitas yang dibutuhkan untuk memberikan kepadatan maksimal.

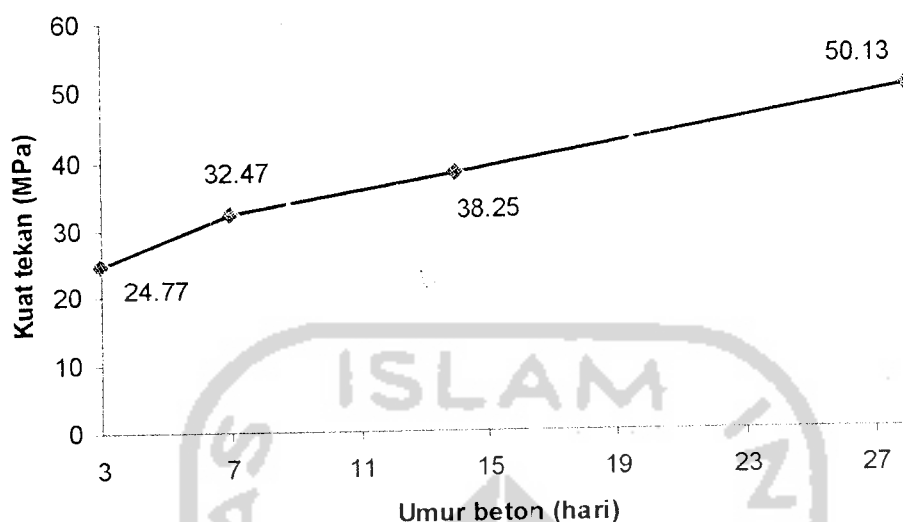
#### 5.4 Pengaruh umur beton terhadap kuat tekan

Umur beton merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya kuat tekan suatu beton karena dengan bertambahnya umur beton maka kuat tekan beton akan meningkat (Syafudin dan Hastoro, 2005). Adapun hubungan pengaruh umur beton dan kuat tekan dapat dilihat pada Gambar dibawah ini.



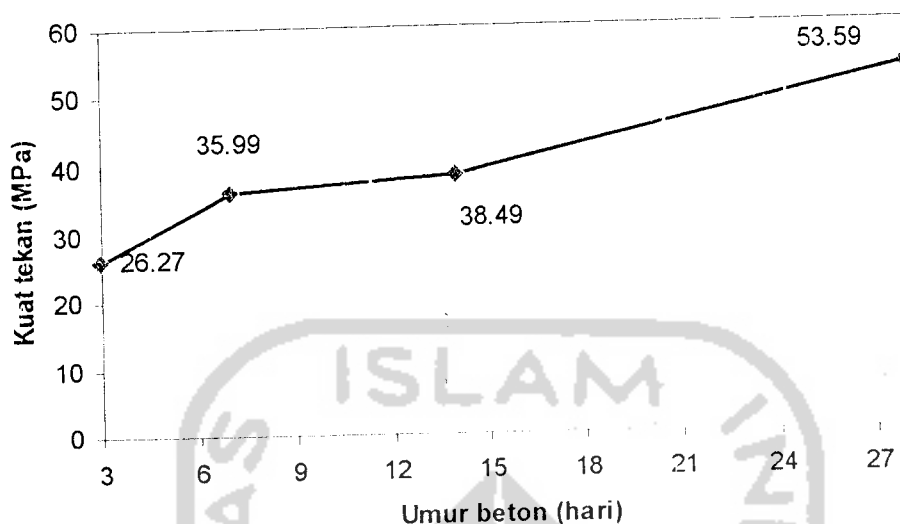
**Gambar 5.9** Hubungan kuat tekan dan umur beton pada pengurangan air 0% + 0,22% SP

Dari Gambar 5.9 terlihat bahwa terjadi peningkatan kuat tekan seiring dengan bertambahnya umur beton. Hal ini sesuai dengan pendapat Kardiyono, (1988) bahwa kekuatan beton bertambah tinggi dengan bertambahnya umur. Pada umur beton 7 hari persentase kenaikan kuat tekan sebesar 39,74%, pada umur 14 hari kenaikan kuat tekan sebesar 57,74%, pada umur 28 hari kenaikan kuat tekan sebesar 89,41% terhadap umur beton 3 hari. Dari masing-masing umur beton yang mengalami peningkatan kuat tekan yang signifikan terjadi pada umur 28 hari karena lamanya perawatan beton yang direndam dalam air, semakin lama perawatan beton yang direndam dalam air maka kuat tekan beton akan meningkat karena proses hidrasi kimia antara pasta semen dan air terus berlangsung selama perawatan 28 hari. Hal ini sesuai dengan Van Vlack, 1986 bahwa beton tidak akan mengeras karena pengeringan akan tetapi oleh proses hidrasi kimia antara pasta semen dan air maka beton harus tetap basah untuk menjamin pengerasan yang baik.



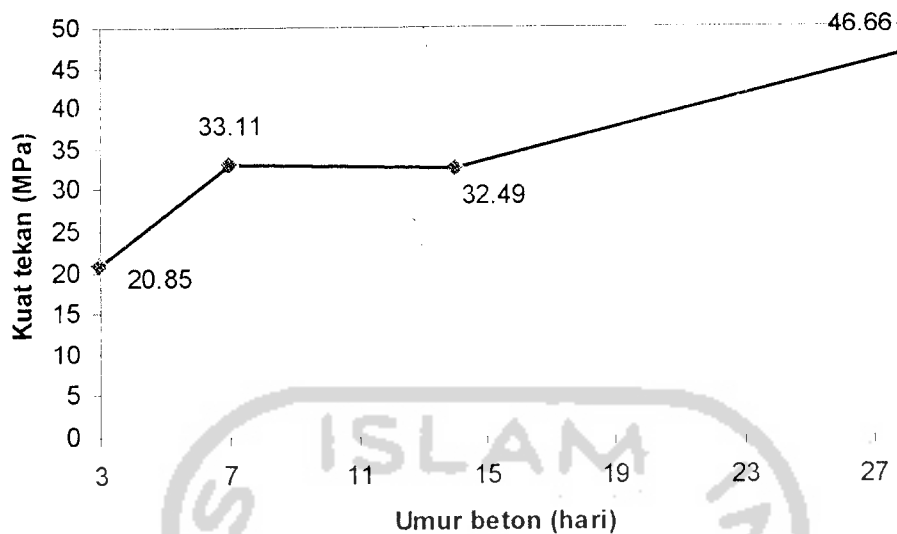
**Gambar 5.10** Hubungan kuat tekan dan umur pada pengurangan air 5% + 0,33% SP

Dari Gambar 5.10 terlihat bahwa peningkatan kuat tekan beton seiring dengan bertambahnya umur beton. Pada umur beton 7 hari persentase kenaikan kuat tekan sebesar 31,08%, pada umur 14 hari kenaikan kuat tekan sebesar 54,42%, pada umur 28 hari kenaikan kuat tekan sebesar 102,38% terhadap umur beton 3 hari. Kuat tekan maksimum terjadi pada umur 28 hari hal ini terjadi karena lamanya perawatan yang dilakukan yaitu dengan cara beton direndam dalam air, semakin lama perawatan beton yang direndam dalam air maka kuat tekan beton akan meningkat karena proses hidrasi kimia antara pasta semen dan air terus berlangsung selama perawatan 28 hari. Hal ini sesuai dengan Van Vlack, 1986 bahwa beton tidak akan mengeras karena pengeringan akan tetapi oleh proses hidrasi kimia antara pasta semen dan air maka beton harus tetap basah untuk menjamin pengerasan yang baik.



**Gambar 5.11** Hubungan kuat tekan dan umur beton pada pengurangan air 10% + 0,99% SP

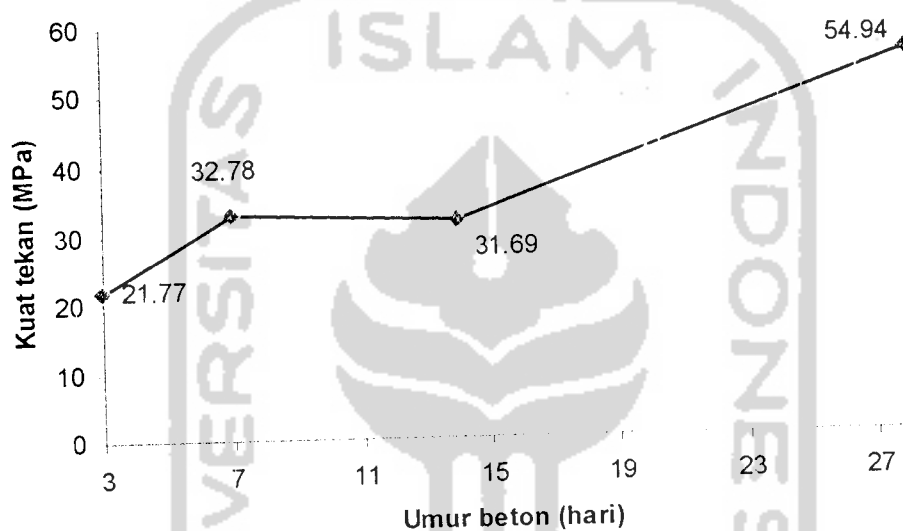
Dari Gambar 5.11 terlihat bahwa terjadi peningkatan kuat tekan beton pada variasi B40-10% seiring dengan bertambahnya umur beton. Pada umur beton 7 hari persentase kenaikan kuat tekan sebesar 37%, pada umur 14 hari persentase kenaikan kuat tekan sebesar 46,51%, pada umur 28 hari persentase peningkatan kuat tekan beton sebesar 103,97%. Pada umur 28 hari kenaikan kuat tekan sebesar 100,87%. Peningkatan kuat tekan maksimum terjadi pada umur 28 hari karena perawatan beton yang direndam dalam air cukup lama, semakin lama perawatan beton yang direndam dalam air maka kuat tekan beton akan meningkat karena proses hidrasi kimia antara pasta semen dan air terus berlangsung selama perawatan 28 hari. Hal ini sesuai dengan Van Vlack, 1986 bahwa beton tidak akan mengeras karena pengeringan akan tetapi oleh proses hidrasi kimia antara pasta semen dan air maka beton harus tetap basah untuk menjamin pengerasan yang baik.



**Gambar 5.12** Hubungan kuat tekan dan umur beton pada pengurangan air 15% + 1,10% SP

Pada variasi beton B40-15% terlihat bahwa terjadi peningkatan kuat tekan beton seiring dengan bertambahnya umur beton. Pada umur beton 7 hari persentase kenaikan kuat tekan sebesar 58,80%, pada umur 14 hari kenaikan kuat tekan sebesar 55,83%, pada umur 28 hari kenaikan kuat tekan sebesar 123,79% pada umur beton 3 hari. Pada umur 14 hari kuat tekan beton mengalami penurunan terhadap umur beton 7 hari. Penurunan kuat tekan disebabkan karena dosis *superplasticizer* yang tidak sesuai dengan campuran beton sehingga mengakibatkan workabilitas beton tinggi sehingga campuran beton menjadi encer serta pengikatan pasta semen terhadap agregat kurang baik. Hal ini sesuai dengan penelitian Syafruddin dan Hastoro (2005) bahwa workabilitas beton yang terlalu tinggi sementara kandungan air tetap sehingga beton menjadi encer dan pengikatan pasta terhadap agregat kurang baik. Peningkatan kuat tekan beton yang signifikan mulai terlihat pada umur 28 hari seperti terlihat pada Gambar 5.12. Meningkatnya kuat tekan beton dipengaruhi oleh lamanya perawatan beton yang direndam dalam air, semakin lama perawatan beton yang direndam dalam air maka kuat tekan beton akan meningkat karena proses hidrasi kimia antara pasta semen dan air terus berlangsung selama perawatan 28 hari. Hal ini sesuai dengan

Van Vlack, 1986 bahwa beton tidak akan mengeras karena pengeringan akan tetapi oleh proses hidrasi kimia antara pasta semen dan air maka beton harus tetap basah untuk menjamin pengerasan yang baik. Peningkatan kuat tekan beton pada variasi B40-15% lebih rendah dibanding dengan variasi B40-10%. Hal ini disebabkan oleh lambatnya pengikatan partikel semen terhadap agregat dan penambahan *superplasticizer* yang tidak sesuai dengan campuran beton.

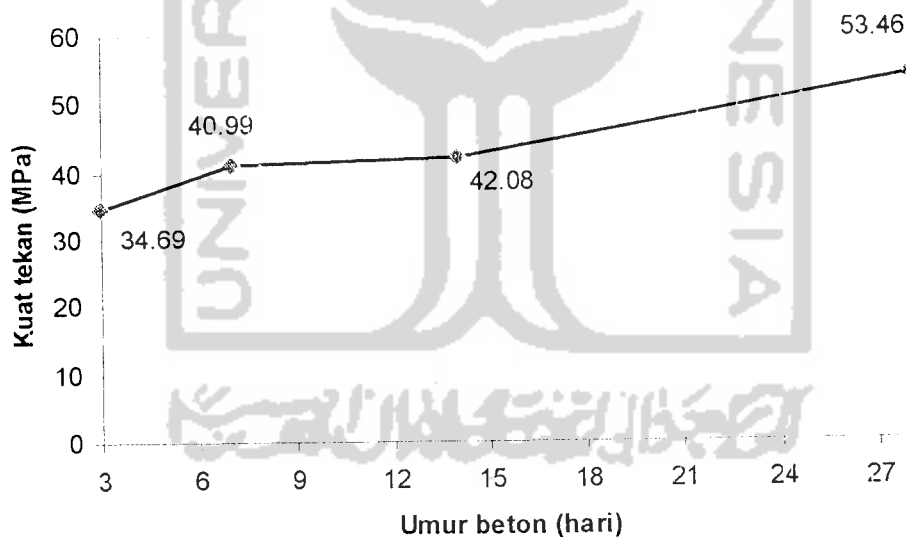


**Gambar 5.13** Hubungan kuat tekan dan umur beton pada pengurangan air 20% + 1,12% SP

Peningkatan kuat tekan terjadi seiring dengan pertambahan umur beton seperti yang terlihat pada Gambar 5.13. Pada umur beton 7 hari persentase kenaikan kuat tekan sebesar 50,57%, pada umur 14 hari kenaikan kuat tekan sebesar 45,56%, pada umur 28 hari kenaikan kuat tekan sebesar 152,36% terhadap umur beton 3 hari. Pada umur 14 hari kuat tekan beton mengalami penurunan terhadap umur beton 7 hari. Penurunan kuat tekan disebabkan karena dosis *superplasticizer* yang tidak sesuai dengan campuran beton sehingga mengakibatkan workabilitas beton tinggi sehingga campuran beton menjadi encer serta pengikatan pasta semen terhadap agregat kurang baik. Hal ini sesuai dengan



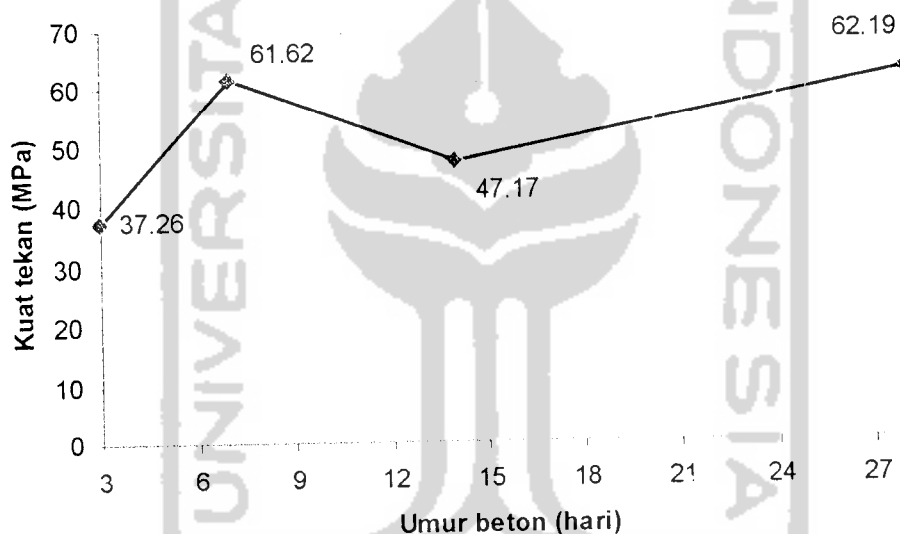
penelitian Syafruddin dan Hastoro (2005) bahwa workabilitas beton yang terlalu tinggi sementara kandungan air tetap sehingga beton menjadi encer dan pengikatan pasta terhadap agregat kurang baik. Kuat tekan yang signifikan terjadi pada umur 28 hari karena lamanya perawatan beton yang direndam dalam air, semakin lama perawatan beton yang direndam dalam air maka kuat tekan beton akan meningkat karena proses hidrasi kimia antara pasta semen dan air terus berlangsung selama perawatan 28 hari. Hal ini sesuai dengan Van Vlack, 1986 bahwa beton tidak akan mengeras karena pengeringan akan tetapi oleh proses hidrasi kimia antara pasta semen dan air maka beton harus tetap basah untuk menjamin pengerasan yang baik. Peningkatan kuat tekan beton pada variasi B40-20% lebih rendah dibanding dengan variasi B40-10%. Hal ini disebabkan oleh lambatnya pengikatan partikel semen terhadap agregat dan penambahan *superplasticizer* yang tidak sesuai dengan campuran beton.



**Gambar 5.14** Hubungan kuat tekan dan umur beton dengan pada pengurangan air 25% + 1,43% SP

Dari Gambar 5.14 terlihat bahwa terjadi peningkatan kuat tekan beton seiring dengan bertambahnya umur beton. Pada umur beton 7 hari persentase kenaikan kuat tekan sebesar 18,16%, pada umur 14 hari kenaikan kuat tekan

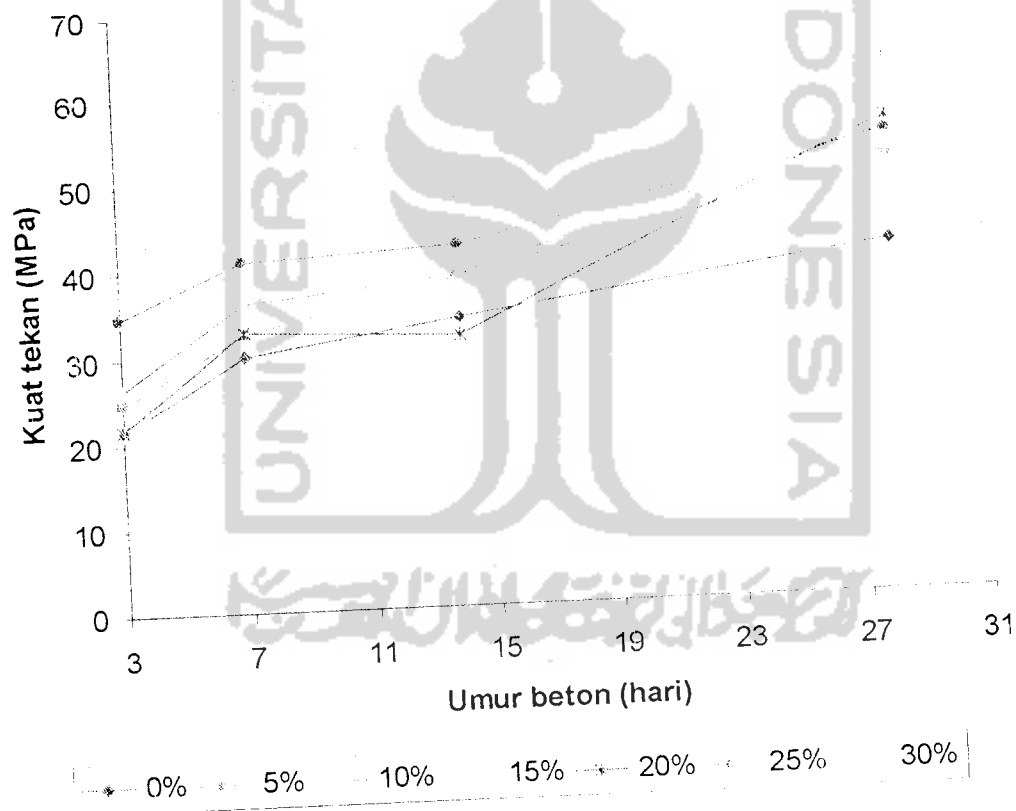
sebesar 21,31%, pada umur 28 hari kenaikan kuat tekan sebesar 54,11%. Kuat tekan maksimum terjadi pada umur 28. Peningkatan kuat tekan maksimum pada umur 28 hari terjadi karena lamanya perawatan beton yang direndam dalam air, semakin lama perawatan beton yang direndam dalam air maka kuat tekan beton akan meningkat karena proses hidrasi kimia antara pasta semen dan air terus berlangsung selama perawatan 28 hari. Hal ini sesuai dengan Van Vlack, 1986 bahwa beton tidak akan mengeras karena pengeringan akan tetapi oleh proses hidrasi kimia antara pasta semen dan air maka beton harus tetap basah untuk menjamin pengerasan yang baik.



**Gambar 5.15** Hubungan kuat tekan dan umur beton pada pengurangan air 30% + 2,42% SP

Dari Gambar 5.15 terlihat bahwa terjadi peningkatan kuat tekan beton seiring dengan bertambahnya umur beton. Pada umur beton 7 hari persentase kenaikan kuat tekan sebesar 65,38%, pada umur 14 terjadi penurunan kuat tekan terhadap umur beton 7 hari disebabkan oleh pengikatan pasta semen terhadap agregat kurang baik karena dosis *superplasticizer* tidak sesuai dengan campuran beton. Pada umur 28 hari kenaikan kuat tekan sebesar 66,91%. Kuat tekan maksimum terjadi pada umur 28 hari tetapi peningkatan kuat tekan tidak

signifikan karena pada pengurangan air 30% untuk masing-masing umur beton memiliki nilai kuat tekan dengan selisih yang tidak jauh berbeda. lamanya perawatan beton yang direndam dalam air akan meningkatkan kuat tekan beton, semakin lama perawatan beton yang direndam dalam air maka kuat tekan beton akan meningkat karena proses hidrasi kimia antara pasta semen dan air terus berlangsung selama perawatan 28 hari. Hal ini sesuai dengan Van Vlack, 1986 bahwa beton tidak akan mengeras karena pengeringan akan tetapi oleh proses hidrasi kimia antara pasta semen dan air maka beton harus tetap basah untuk menjamin pengerasan yang baik.



**Gambar 5.16** Hubungan Kuat tekan dan Umur beton

Dari gambar 5.16 terlihat bahwa terjadi peningkatan kuat tekan akibat dari pengaruh umur beton. Pada pengurangan air 15% dan 20% pada umur 14 hari terjadi penurunan kuat tekan disebabkan oleh kadar *superplasticizer* yang tidak

sesuai dengan campuran beton yang berdampak pada workabilitas beton menjadi besar sehingga jarak partikel-partikel semen menjadi jauh yang menyebabkan pengikatan semen terhadap agregat menjadi lambat. Pengikatan semen terhadap agregat yang lambat menyebabkan kuat tekan beton mengalami penurunan.

Peningkatan kuat tekan tertinggi terjadi pada umur 28 hari karena lamanya perawatan beton yang direndam dalam air semakin lama perawatan beton yang direndam dalam air maka kuat tekan beton akan meningkat. Winter dan Arthur (1993) menyatakan bahwa sebanyak 30% dari kekuatan beton atau lebih dapat hilang melalui proses pengeringan yang prematur. Untuk menjaga kerusakan seperti itu, beton harus dilindungi dari kehilangan kelembaban selama paling sedikit 7 hari dan dalam pekerjaan-pekerjaan yang lebih sensitif selama 14 hari. Proses perawatan beton selama 28 hari selain menambah kekuatan dapat pula memberikan pengendalian yang lebih baik terhadap terjadinya penyusutan.

### 5.5 Analisis Hubungan tegangan-regangan pada beton uji

Hubungan tegangan-regangan beton dalam bahan merupakan suatu hal yang penting. Kemampuan bahan untuk menahan beban yang didukungnya dan perubahan bentuk atau deformasi yang terjadi pada bahan itu amat tergantung dari sifat tegangan-regangan tersebut (Kardiyono, 1988). Berikut rumus tegangan adalah :

$$\sigma = P/A \quad (5.1)$$

Keterangan :

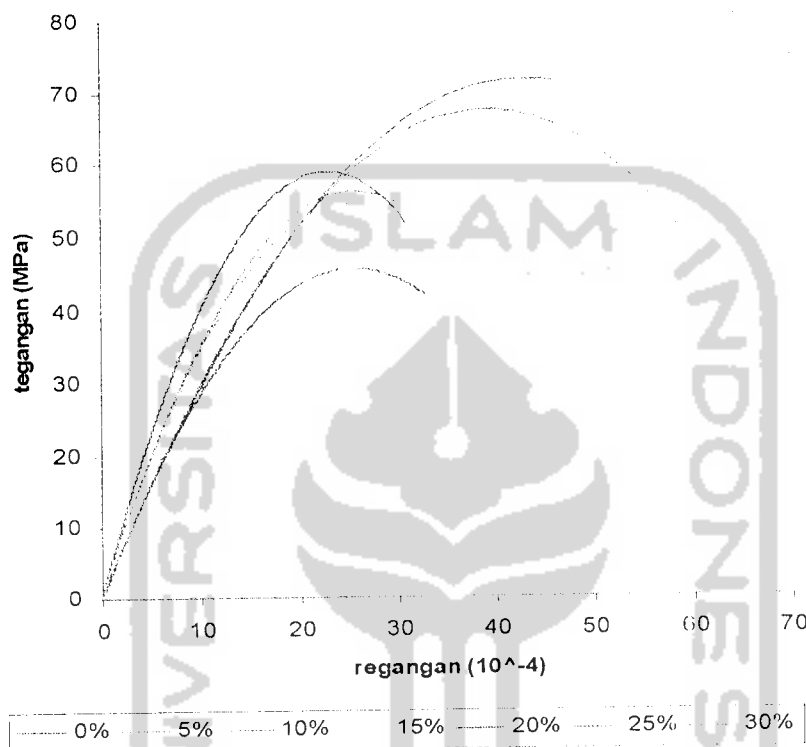
$\sigma$  = Tegangan (MPa)

P = Kuat tekan (N)

A = Luas permukaan (mm<sup>2</sup>)

Pengujian tegangan-regangan tidak semua dilakukan pada seluruh sampel beton akan tetapi dari tiap sampel diambil satu sampel untuk dilakukan pengujian tegangan-regangan untuk umur 28 hari. Pengujian tegangan-regangan dilakukan

di Laboraturium FTSP UII dengan jumlah sampel yang diuji berjumlah tujuh sampel. Adapun hubungan tegangan regangan dapat dilihat pada gambar 5.16



Gambar 5.17 Hubungan tegangan regangan

Tabel 5.12 Hasil tegangan regangan

| Variasi beton | Superplasticizer (%) | Tegangan max (MPa) | Regangan ( $\times 10^{-4}$ ) |
|---------------|----------------------|--------------------|-------------------------------|
| B40-0%        | 0,2199               | 47,5584            | 27,1674                       |
| B40-5%        | 0,3299               | 53,7863            | 19,461                        |
| B40-10%       | 0,9897               | 58,3156            | 23,251                        |
| B40-15%       | 1,0996               | 44,7275            | 16,566                        |
| B40-20%       | 1,1216               | 57,7136            | 16,994                        |
| B40-25%       | 1,4295               | 54,9186            | 20,213                        |
| B40-30%       | 2,4192               | 54,6682            | 25,1538                       |

Dari gambar 5.17 terlihat bahwa pada masing-masing kurva dengan variasi beton yang berbeda menghasilkan kurva tegangan-regangan yang berbeda

walaupun dengan mutu beton yang sama hal ini disebabkan oleh kondisi pembebanan yang berbeda sehingga kurva tegangan-regangan setiap variasi beton. Hal ini sesuai dengan Istimawan (1994) bahwa hubungan tegangan regangan untuk mutu beton sama akan membentuk kurva yang berbeda apabila kondisi pembebanan berbeda atau dengan kata lain dengan kondisi pembebanan yang berbeda yang berarti nilai regangannya berbeda dan diperoleh kurva yang berbeda. Pada gambar 5.17 terlihat bahwa semua kurva pada masing-masing variasi beton terlihat mempunyai karakter yang hampir serupa yaitu semua kurva dimulai dengan garis yang relatif lurus kemudian mulai melengkung mencapai tegangan maksimum dengan nilai tegangan maksimum dan regangan berbeda-beda pada setiap variasi beton. Pada variasi beton B40-0% menghasilkan tegangan 47,5584 MPa dan regangan  $27,1674 \times 10^{-4}$ , pada variasi beton B40-5% menghasilkan tegangan 53,7863 MPa dan regangan  $19,461 \times 10^{-4}$ , pada variasi beton B40-10% menghasilkan tegangan 58,3156 MPa dan regangan  $23,251 \times 10^{-4}$ , pada variasi beton B40-15% menghasilkan tegangan 44,7275 MPa dan regangan  $16,566 \times 10^{-4}$ , pada variasi beton B40-20% menghasilkan tegangan 57,7136 MPa dan regangan  $16,994 \times 10^{-4}$ . Pada variasi beton B40-25% menghasilkan tegangan 54,9186 MPa dan regangan  $20,213 \times 10^{-4}$ . Pada variasi beton B40-30% menghasilkan tegangan 54,6682 MPa dan regangan  $25,1638 \times 10^{-4}$ .

## 5.6 Modulus Elastisitas

Dari kurva tegangan regangan 5.17 terlihat bahwa pada taraf pembebanan awal berbentuk kurvilinear, maka modulus elastisitas dari bahan ini adalah garis singgung dari kurva tegangan regangan pada titik pusatnya. Kemiringan suatu garis lurus yang menghubungkan titik pusat dengan suatu harga tegangan ( $0,4 f'_c$ ) disebut modulus elastisitas atau modulus sekan dari beton (Nawy, 1990).

Rumus yang digunakan dalam modulus elastisitas untuk pengujian adalah :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (5.2)$$

Keterangan :

$E$  = Modulus elastisitas (MPa)

$\sigma = 0,4 \sigma \text{ maks}$  (MPa)

$\varepsilon$  = Regangan ( $10^{-4}$ ) pada  $0,4 \sigma \text{ maks}$

Adapun rumus modulus elastis teoritis yang ditetapkan oleh SNI adalah :

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c} \quad (5.3)$$

Keterangan :

$E_c$  = Modulus elastis (MPa)

$f'c$  = tegangan maksimum (MPa)

**Tabel 5.13** Nilai modulus elastis beton

| Variasi air | $\sigma \text{ maks}$<br>(MPa) | $0,4\sigma \text{ maks}$<br>(MPa) | $\varepsilon (10^{-4})$ | Modulus elastis (MPa) |          |
|-------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------|----------|
|             |                                |                                   |                         | Uji                   | Teoritis |
| B40-0%      | 47,5584                        | 19,0234                           | 6,2407                  | 30482,89              | 32412,42 |
| B40-5%      | 53,7863                        | 21,5145                           | 5,5646                  | 38663,47              | 34469,39 |
| B40-10%     | 58,3156                        | 23,3263                           | 7,3239                  | 31849,37              | 35891,39 |
| B40-15%     | 44,7275                        | 17,8910                           | 6,1060                  | 29300,86              | 31432,96 |
| B40-20%     | 57,7136                        | 23,0854                           | 5,1905                  | 44476,17              | 35705,65 |
| B40-25%     | 54,9186                        | 21,9674                           | 6,8526                  | 32056,88              | 34830,33 |
| B40-30%     | 54,6682                        | 21,8673                           | 5,4867                  | 39855,37              | 34750,84 |

**Modulus elastisitas pengujian :**

$$E = \frac{0,4\sigma \text{ maks}}{\varepsilon}$$

$$= \frac{19,0234}{6,2407 \times 10^{-4}}$$

$$= 30482,89 \text{ MPa}$$

### Modulus elastisitas teoritis SNI

$$E_c = 4700 \sqrt{47,5584}$$

$$= 32412,42 \text{ MPa}$$

Modulus elastisitas merupakan sifat dari beton yang berkaitan dengan mudah atau tidaknya beton mengalami deformasi. Dari Tabel 5.13 dapat dilihat bahwa modulus elastis beton terbesar terdapat pada variasi beton B40-20% sebesar 44476,1718 MPa hal ini disebabkan variasi B40-20% memiliki regangan yang lebih kecil dibanding dengan tipe-tipe benda uji lainnya sebesar  $5,1905 \times 10^{-4}$  dengan persentase *superplasticizer* sebesar 1,1216%. Modulus elastis terendah terdapat pada variasi beton B40-15% dengan nilai regangan  $6,1060 \times 10^{-4}$ . Dengan nilai modulus elastisitas yang rendah maka beton akan semakin mudah untuk mengalami perpanjangan atau perpendekan. Hal ini sesuai dengan Vis dan Sagel (1987) bahwa Semakin kecil nilai modulus elastis akan semakin mudah bagi bahan untuk mengalami perpanjangan atau perpendekan.

### 6.3 Saran-saran

Saran-saran yang dapat diambil dari penelitian ini untuk dapat diteliti lebih lanjut sebagai berikut :

1. penambahan *superplasticizer* pada campuran beton hendaknya diperhatikan dengan cermat sehingga kadar *superplasticizer* yang ditambahkan tidak berlebihan,
2. menggunakan beton normal dengan variasi umur 3 hari, 7 hari, 14, hari, dan 28 hari sebagai pembanding terhadap beton yang telah ditambahkan *superplasticizer* dengan variasi umur 3 hari, 7 hari, 14, dan 28 hari dan variasi pengurangan air 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% untuk mengetahui seberapa besar peningkatan kuat tekan beton terhadap beton normal.



# LAMPIRAN 1

---





# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

## FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

KAMPUS : Jalan Kaliurang Km. 14,4 Tel. 895042, 895707, 896440, Fax. 895330, Yogyakarta 55584

FM-UII-AA-FPU-09

Nomor : : 103 /Kajur.TS.20/ Bg.Pn./ VIII/2006  
Lamp. : -  
Hal : : BIMBINGAN TUGAS AKHIR  
Periode Ke : : I ( Sept.06- Pebr.07 )

Jogyakarta, 1-Sep-06

Kepada .

Yth. Bapak / Ibu : Ade Ilham,Dr,Ir,MT  
di -

Jogyakarta

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Dengan ini kami mohon dengan hormat kepada Bapak / Ibu Agar Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan tersebut di bawah ini :

1 Nama : Hardiman  
No. Mhs. : 02 511 149  
Bidang Studi : Teknik Sipil  
Tahun Akademi : 2006 - 2007

dapat diberikan petunjuk- petunjuk, pengarahan, serta bimbingan dalam melaksanakan Tugas Akhir. Kedua Mahasiswa tersebut merupakan satu kelompok dengan dosen pembimbing sebagai berikut :

|                     |   |                    |
|---------------------|---|--------------------|
| Dosen Pembimbing I  | : | Ade Ilham,Dr,Ir,MT |
| Dosen Pembimbing II | : | Ade Ilham,Dr,Ir,MT |

Dengan Mengambil Topik /Judul :

Karakteristik Beton Normal Dengan variasi Pengurangan Air Dan Penambahan Superplasticizer Terhadap Kuat Desak Beton Dengan Mutu 40 Mpa

Demikian atas bantuan serta kerjasamanya diucapkan terima kasih

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

An.Dekan  
Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ir.H. Faisol AM,MS

Tembusan

- 1) Dosen Pembimbing ybs
- 2) Mahasiswa ybs
- 3) Arsip 6-Sep-06
- 4) Sampai Akhir Pebruari 2007

all: per pengang 3/5/07  
JH



# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

## FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

KAMPUS : Jalan Kaliurang Km. 14,4 Tel. 895042, 895707, 896440, Fax. 895330, Yogyakarta 55584

FM-UII-AA-FPU-09

Nomor : : 103 /Kajur.TS.20/ Bg.Pn./ VIII /2006  
Lamp. : -  
Hal : : BIMBINGAN TUGAS AKHIR  
Periode Ke : : I ( Sept.06- Pebr.07 )

Jcgjakarta, 1-Sep-06

Kepada .  
Yth. Bapak / Ibu : Ade Ilham,Dr,Ir,MT  
di -

Jogjakarta

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Dengan ini kami mohon dengan hormat kepada Bapak / Ibu Agar Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan tersebut di bawah ini :

1 Nama : Hardiman  
No. Mhs. : 02 511 149  
Bidang Studi : Teknik Sipil  
Tahun Akademi : 2006 - 2007

dapat diberikan petunjuk- petunjuk, pengarahannya serta bimbingan dalam melaksanakan Tugas Akhir. Kedua Mahasiswa tersebut merupakan satu kelompok dengan dosen pembimbing sebagai berikut :

|                     |                      |
|---------------------|----------------------|
| Dosen Pembimbing I  | : Ade Ilham,Dr,Ir,MT |
| Dosen Pembimbing II | : Ade Ilham,Dr,Ir,MT |

Dengan Mengambil Topik /Judul :

Karakteristik Beton Normal Dengan variasi Pengurangan Air Dan Perambahan Superplasticizer Terhadap Kuat Desak Beton Dengan Mutu 40 Mpa

Demikian atas bantuan serta kerjasamanya diucapkan terima kasih

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

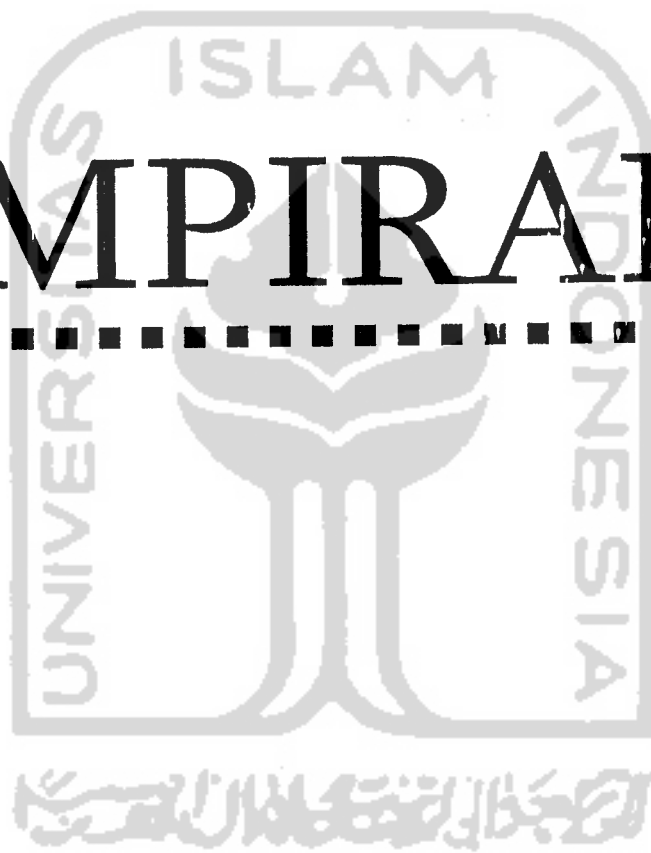
An.Dekan  
Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ir H. Faisol AM,MS

Tembusan

- 1) Dosen Pembimbing ybs
- 2) Mahasiswa ybs
- 3) Arsip. 6-Sep-06
- 4) Sampai Akhir Pebruari 2007

# LAMPIRAN 2



## Perencanaan Kebutuhan Beton

### A. Menetapkan kuat tekan beton yang disyaratkan 28 hari.

Beton akan dipakai untuk pembuatan sampel dengan kuat tekan  $f'_c = 40$  MPa

Jenis semen : jenis I (Portland Cement)  
Jenis kerikil : batu pecah  
Ukuran maksimum kerikil : 20 mm  
Nilai slump : 30 – 60 mm  
Jenis pasir : agak kasar (golongan dua)

### B. Menetapkan nilai deviasi standar (sd).

Standar deviasi ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran betonnya, makin baik mutu pelaksanaan makin kecil nilai deviasi standar.

- a) Jika pelaksana tidak mempunyai data pengalaman atau mempunyai pengalaman kurang dari 15 benda uji, maka nilai deviasi standar diambil dari tingkat pengendalian mutu pekerjaan dibawah ini

**Tabel 1.1 Tingkat pengendalian mutu pekerjaan dan standar deviasi**

| Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan | sd (Mpa) |
|-------------------------------------|----------|
| Memuaskan                           | 2,8      |
| Sangat Baik                         | 3,5      |
| Baik                                | 4,2      |
| Cukup                               | 5,6      |
| Jelek                               | 7,0      |
| Tanpa Kendali                       | 8,4      |

(Sumber: Triono Budi Astanto, 2001)

- b). Jika pelaksana mempunyai data pengalaman pembuatan beton serupa minimum 30 silinder yang diuji kuat tekan rata-ratanya pada umur 28 hari, maka jumlah data dikoreksi terhadap nilai deviasi standar dengan suatu faktor pengali

**Tabel 1.2 Faktor Pengali Deviasi Standar**

|                |      |       |       |       |             |
|----------------|------|-------|-------|-------|-------------|
| Jumlah Data    | 30,0 | 25,00 | 20,00 | 15,00 | < 15        |
| Faktor Pengali | 1,0  | 1,03  | 1,08  | 1,16  | Tidak boleh |

(Sumber: Triono Budi Astanto, 2001)

**C. Menghitung nilai tambah Margin (M)**

$$M = K \times Sd \dots\dots\dots(1.1)$$

Keterangan :

M = Nilai tambah

K = 1,64

Sd = Standar deviasi

Rumus di atas berlaku jika pelaksana mempunyai data pengalaman pembuatan beton yang diuji kuat tekannya pada umur 28 hari. Jika tidak mempunyai data pengalaman kurang dari 15 benda uji, nilai N langsung diambil 12 Mpa. Standar deviasi nilainya diambil dari tabel 1.1 dengan nilai 4,2 karena pelaksana tidak mempunyai data pengalaman atau mempunyai pengalaman kurang dari 15 benda uji

Maka nilai tambah margin adalah :

$$M = 1,64 \times 4,2 = 6,88 \text{ Mpa}$$

**D. Menetapkan kuat tekan rata-rata yang direncanakan**

$$f'_{cr} = f'_c + M \dots\dots\dots(1.2)$$

Keterangan :

$f'_{cr}$  = Kuat tekan rata-rata

$f'_c$  = Kuat tekan yang disyaratkan

M = Nilai tambah

$$f'_{cr} = 40 + 6,88 = 46,88 \text{ MPa}$$

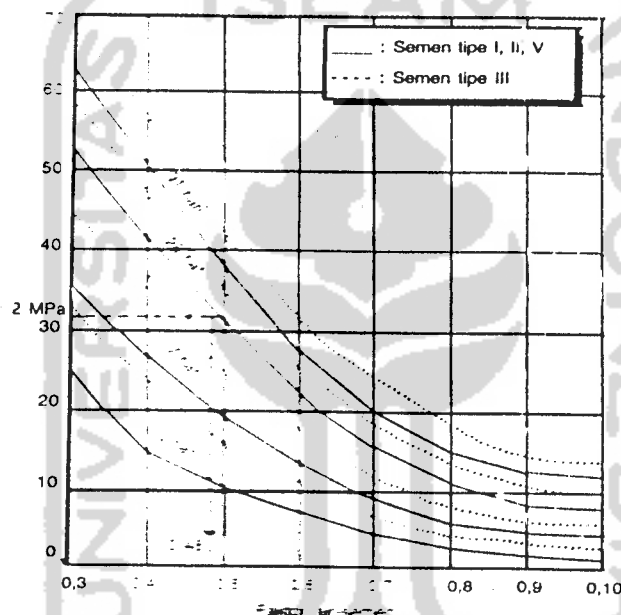
**E. Menetapkan Jenis Semen**

Jenis semen yang dipakai adalah semen Jenis I, yaitu jenis semen biasa yang cepat mengeras.

**F. Menetapkan faktor air-semen**

Cara menetapkan faktor air-semen diperoleh dari nilai terendah tiga cara.

Cara pertama : kuat silinder ( $f'_{cr} = 46,804 \text{ Mpa}$ ) dan pada saat umur beton 28 hari. Jenis semen tipe I atau garis utuh. Caranya tarik garis lurus dan memotong 28 hari didapatkan faktor air-semen, yaitu 0,36. Jadi f.a.s pertama 0,36



**Gambar 1.1** Hubungan faktor air-semen dan kuat tekan rata-rata silinder beton

(sebagai perkiraan nilai f.a.s)

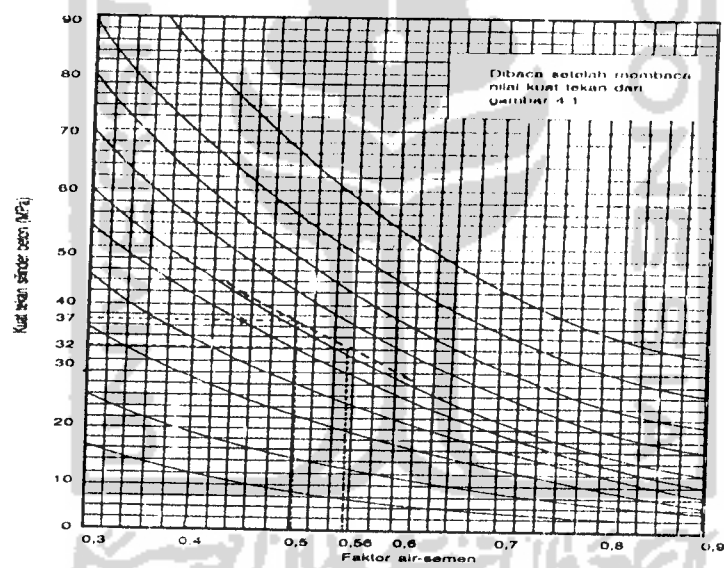
Cara kedua : Diketahui jenis semen I, jenis agregat kasar batu pecah. Kuat tekan rata-ratanya pada umur 28 hari maka digunakan tabel dibawah ini.

**Tabel 1.3** Perkiraan kuat tekan beton (Mpa) dengan faktor air semen 0,50

| 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 |
| III         | Alami                         | 21                | 28 | 38 | 44 |
|             | Batu pecah                    | 25                | 33 | 44 | 48 |

(Sumber: Triono Budi Astanto, 2001)

Dari Tabel diatas diperoleh nilai kuat tel an = 37 MPa, yaitu jenis semen I, kerikil batu pecah pada umur beton 28 hari. Kemudian, dengan faktor air semen 0,5 dan  $f'_{cr} = 37$  MPa, gunakan grafik dibawah ini.



Gambar 4.2. Grafik mencari faktor air semen.

**Gambar 1.2** Mencari faktor air semen

Caranya, tarik garis kekanan mendatar 37, tarik garis keatas 0,5 dan berpotongan pada titik A. Buat garis putus-putus dimulai dari titik A ke atas dan ke bawah melengkung seperti garis yang di atas dan di bawahnya. Sekarang dengan  $f'_{cr} = 46,88$  tarik ke kanan memotong garis putus yang dibuat tadi di B dan tarik garis ke bawah maka diperoleh faktor air-semen yang baru yaitu = 0,41. Jadi fas kedua = 0,41

Cara Ketiga : Dengan melihat persyaratan untuk berbagai pembetonan dan lengkungan khusus, beton yang berhubungan dengan air tanah mengandung sulfat untuk beton bertulang terendam air.

Dengan cara ini diperoleh :

- a) Untuk pembetonan di dalam ruang bangunan dan keadaan keliling non korosif = 0,6
- b) Untuk beton yang berhubungan dengan air tanah, dengan jenis semen tipe I tanpa pozolan untuk tanah mengandung  $SO_3$  antara 0,3 – 1,2, maka fas yang diperoleh = 0,50.
- c) Untuk beton bertulang dalam air tawar dan tipe semen I yaitu faktor air-semennya = 0,50

Dari ketiga cara di atas diperoleh masing-masing 0,6; 0,5; dan 0,5 diambil harga yang terendah yaitu 0,5 maka diperoleh faktor air-semennya = 0,5

**Tabel 1.4** Persyaratan faktor air semen maksimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus

| Jenis pembetonan                                                       | f.a.s maksimum |
|------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Beton di dalam ruang bangunan :                                        |                |
| - Keadaan keliling non korosif                                         | 0,60           |
| - Keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosi | 0,52           |
| Beton di luar bangunan :                                               | 0,55           |
| - Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung              | 0,60           |
| - Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung                    |                |
| Beton yang masuk kedalam tanah :                                       |                |
| - Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti                    | 0,55           |
| - Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah                       | Lihat tabel    |
| Beton yang berhubungan dengan air tawar/payau/laut                     | Lihat tabel    |

(Sumber: Triono Budi Astanto, 2001)

Dari ketiga cara diatas, diperoleh masing-masing fas 0,36 ; 0,41; 0,6 maka nilai fas diambil nilai yang terendah yaitu **0,36**

#### G. Menetapkan nilai Slump

**Tabel 1.5** Penetapan nilai slump

| Pemakaian Beton                                                     | Maksimal | Minimal |
|---------------------------------------------------------------------|----------|---------|
| Dinding, pelat fondasi dan fondasi telapak bertulang                | 12,5     | 5,0     |
| Fondasi telapak tidak bertulang kaison, dan struktur di bawah tanah | 9,0      | 2,5     |
| Pelat, balok, kolom, dan dinding                                    | 15,0     | 7,5     |
| Pengerasan jalan                                                    | 7,5      | 5,0     |
| Pembetonan masal                                                    | 7,5      | 2,5     |

(Sumber: Triono Budi Astanto, 2001)

#### H. Menetapkan kebutuhan air

Untuk menetapkan kebutuhan air per meter kubik digunakan tabel dibawah ini dan dilanjutkan dengan perhitungan :

**Tabel 1.6** Perkiraan kebutuhan air per meter kubik beton (liter)

| Besar Ukuran maks (mm) | Jenis batuan | Slump |       |       |        |
|------------------------|--------------|-------|-------|-------|--------|
|                        |              | 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    |

(Sumber: Triono Budi Astanto, 2001)

**Tabel 1.7** Penentuan kebutuhan air berdasarkan agregat

| Besar Ukuran<br>maks kerikil<br>(mm) | Jenis<br>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    |

(Sumber: Triono Budi Astanto, 2001)

**I. Menetapkan kebutuhan semen**

Berat semen per meter kubik beton dihitung dengan :

$$F.a.s = \frac{W}{C} \dots\dots\dots(1.3)$$

Keterangan :

W = Jumlah air yang dibutuhkan

C = Faktor air-semen maksimum

$$F.a.s = \frac{210}{0,36} = 583,3 \text{ kg/m}^3$$

**J. Menetapkan kebutuhan semen minimum**

Kebutuhan semen minimum ditetapkan lewat tabel antara lain untuk menghindari beton dari kerusakan akibat lingkungan khusus misalnya lingkungan korotif, air payau dan air laut.

**Tabel 1.8** Kebutuhan semen minimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus

| Jenis Pembetonan                                                        |     |
|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| Beton di dalam ruang bangunan :                                         |     |
| - Keadaan keliling non korosif                                          | 275 |
| - Keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif |     |
| Beton di luar ruang bangunan                                            |     |
| - Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari                        | 325 |
| - Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung                     | 275 |
| Beton yang masuk ke dalam tanah:                                        |     |
| - Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti                     | 325 |

(Sumber: Triono Budi Astanto, 2001)

Diambil kebutuhan semen dengan nilai terbesar adalah **583,3 kg/m<sup>3</sup>**

#### K. Menentukan golongan pasir

Golongan pasir ditentukan dengan cara menghitung hasil ayakan hingga dapat ditemukan golongannya.

Dalam SK-SNI-T-15-1990-03 kekasaran pasir dibagi menjadi 4 daerah yaitu

Daerah I = Pasir kasar

Daerah II = Pasir agak kasar

Daerah III = Pasir agak halus

Daerah IV = Pasir halus

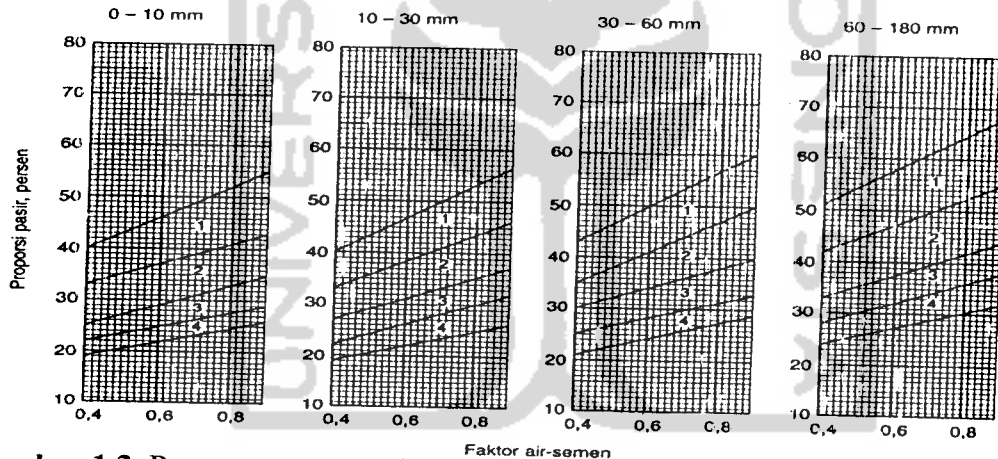
Tabel 1.9 Gradasi Pasir

| Lubang ayakan (mm) | Persen berat butir yang lewat ayakan |           |            |           |
|--------------------|--------------------------------------|-----------|------------|-----------|
|                    | Daerah I                             | Daerah II | Daerah III | Daerah IV |
| 10                 | 100                                  | 100       | 100        | 100       |
| 48                 | 90-100                               | 90-100    | 90-100     | 95-100    |
| 2,4                | 60-95                                | 75-100    | 85-100     | 95-100    |
| 1,2                | 30-70                                | 55-90     | 75-100     | 90-100    |
| 0,5                | 15-34                                | 35-59     | 60-79      | 80-100    |
| 0,3                | 5-20                                 | 8-30      | 12-40      | 15-50     |
| 0,15               | 0-10                                 | 0-10      | 0-10       | 0-15      |

(Sumber: Triono Budi Astanto, 2001)

#### L. Menentukan perbandingan pasir dan kerikil

Untuk menentukan perbandingan pasir dan kerikil dicari dengan bantuan grafik di bawah ini. Dengan melihat nilai slump yang diinginkan, ukuran butir maksimum, zona pasir, faktor air-semen.



Gambar 1.3. Persentase agregat halus terhadap agregat keseluruhan untuk ukuran butir maksimum 20 mm

Fas = 0,36  
 Daerah pasir = daerah 2  
 Slump = 30 – 60 mm  
 Agregat maksimum = 20 mm  
 Maka didapat persentase pasir = 33%  
 persentase kerikil = 67%

**M. Menentukan berat jenis campuran pasir dan kerikil**

$$Bj \text{ campuran} = \frac{P}{100} \times Bj \text{ pasir} + \frac{K}{100} \times Bj \text{ kerikil} \dots\dots\dots(1.4)$$

Keterangan :

Bj campuran = Berat jenis campuran

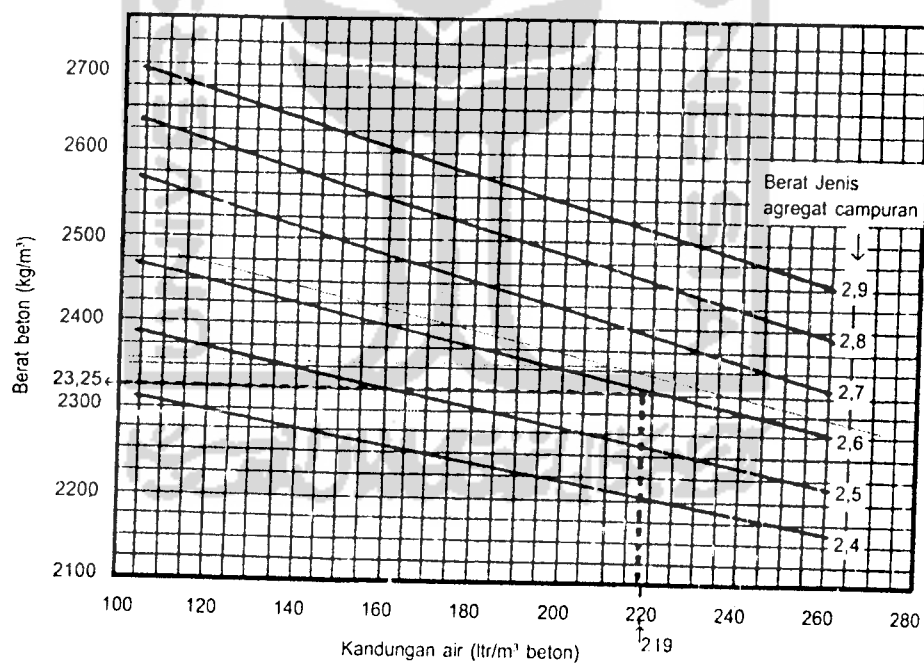
P = Persentase pasir terhadap agregat campuran

K = Persentase kerikil terhadap agregat campuran

$$Bj \text{ campuran} = \left(\frac{33}{100} \times 2,621\right) + \left(\frac{67}{100} \times 2,643\right) = 2,64 \text{ t/m}^3$$

**N. Menentukan Berat Beton**

Untuk menentukan berat beton digunakan data berat jenis campuran kebutuhan dan kebutuhan air tiap meter kubik, setelah ada data, kemudian dimasukkan dalam grafik beton di bawah ini



**Gambar 1.4** Hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran, dan berat beton

Maka didapat berat beton adalah **2374 kg/m<sup>3</sup>** dengan cara kebutuhan air

**O. Menentukan Kebutuhan Pasir dan Kerikil**

Berat pasir + berat kerikil = berat beton – kebutuhan air – kebutuhan semen

$$= 2374 - 210 - 583,3 = 1580,7 \text{ kg}$$

**P. Menentukan Kebutuhan Pasir**

$$\text{Kebutuhan pasir} = 1580,7 \times 33\% = 521,63 \text{ kg}$$

**Q. Menentukan Kebutuhan Kerikil**

$$1580,7 - 521,63 = 1059,069 \text{ kg}$$

**Formulir Perancangan Adukan Beton  
(Menurut Standar Pekerjaan Umum)**

| No | Uraian                                        | Jumlah                   |
|----|-----------------------------------------------|--------------------------|
| 1  | Kuat tekan yang disyaratkan pada umur 28 hari | 40 N.pa                  |
| 2  | Deviasi standar                               | 4,2 MPa                  |
| 3  | Nilai tambah                                  | 6,9 Mpa                  |
| 4  | Kuat tekan rata-rata yang direncanakan        | 46,9 MPa                 |
| 5  | Jenis semen                                   | biasa                    |
| 6  | Jenis agregat kasar                           | batu pecah               |
| 7  | Faktor air semen                              | 0,36                     |
| 8  | Nilai slump                                   | 9 mm                     |
| 9  | Ukuran maksimum agregat                       | 20 mm                    |
| 10 | Kebutuhan Air                                 | 210 ltr                  |
| 11 | Kebutuhan semen portland                      | 583 kg                   |
| 12 | Daerah gradasi agregat halus                  | 2                        |
| 13 | Persen berat agregat halus terhadap campuran  | 33%                      |
| 14 | Berat jenis agregat campuran                  | 2,64 t/m <sup>3</sup>    |
| 15 | Berat jenis beton                             | 2374 kg/m <sup>3</sup>   |
| 16 | Kebutuhan agregat                             | 1581 kg/m <sup>3</sup>   |
| 17 | Kebutuhan agregat halus                       | 521,73 kg/m <sup>3</sup> |
| 18 | Kebutuhan agregat kasar                       | 1059,3 kg/m <sup>3</sup> |

### Kesimpulan

| Volume           | Berat total | Air     | Semen    | Ag. halus | Ag. kasar |
|------------------|-------------|---------|----------|-----------|-----------|
| 1 m <sup>3</sup> | 2374 kg     | 210 kg  | 583 kg   | 521,73 kg | 1059,3 kg |
| 1 adukan         | 94,345 kg   | 8,34 kg | 23,17 kg | 20,73 kg  | 42,097 kg |



# LAMPIRAN 3



# Kuat Tekan Umur 3 hari

0%

| Silinder | Diameter (cm) | Tinggi (cm) | Luas (cm <sup>2</sup> ) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Beban max (KN) | Kuat tekan (MPa) |
|----------|---------------|-------------|-------------------------|---------------------------|------------|----------------|------------------|
| 1        | 14,9          | 29,9        | 174,28                  | 5210,91                   | 12,80      | 352,80         | 20,2435          |
| 2        | 15,1          | 30,1        | 178,99                  | 5387,53                   | 12,80      | 381,50         | 21,3143          |
| 3        | 15,1          | 29,8        | 178,99                  | 5333,84                   | 12,70      | 407,20         | 22,7501          |

Jumlah  
rata-rata  
64,3080  
21,4360

5%

| Silinder | Diameter (cm) | Tinggi (cm) | Luas (cm <sup>2</sup> ) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Beban max (KN) | Kuat tekan (MPa) |
|----------|---------------|-------------|-------------------------|---------------------------|------------|----------------|------------------|
| 1        | 15            | 30,1        | 176,63                  | 5316,41                   | 13,00      | 410,00         | 23,2130          |
| 2        | 15,1          | 30          | 178,99                  | 5369,64                   | 12,90      | 447,10         | 24,9793          |
| 3        | 15            | 30          | 176,63                  | 5298,75                   | 12,90      | 461,40         | 26,1231          |

Jumlah  
rata-rata  
74,3155  
24,7718

10%

| Silinder | Diameter (cm) | Tinggi (cm) | Luas (cm <sup>2</sup> ) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Beban max (KN) | Kuat tekan (MPa) |
|----------|---------------|-------------|-------------------------|---------------------------|------------|----------------|------------------|
| 1        | 14,7          | 29,9        | 169,63                  | 5071,96                   | 12,90      | 458,60         | 27,0352          |
| 2        | 14,8          | 30          | 171,95                  | 5158,39                   | 13,00      | 349,30         | 20,3145          |
| 3        | 14,7          | 30,1        | 169,63                  | 5105,88                   | 13,00      | 432,60         | 25,5025          |

Jumlah  
rata-rata  
52,5377  
26,2688

15%

| Silinder | Diameter (cm) | Tinggi (cm) | Luas (cm <sup>2</sup> ) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Beban max (KN) | Kuat tekan (MPa) |
|----------|---------------|-------------|-------------------------|---------------------------|------------|----------------|------------------|
| 1        | 14,7          | 29,9        | 169,63                  | 5071,96                   | 12,90      | 333,10         | 19,6368          |
| 2        | 14,7          | 30          | 169,63                  | 5098,92                   | 12,90      | 334,70         | 22,6787          |
| 3        | 14,6          | 30          | 167,33                  | 5019,92                   | 12,80      | 338,40         | 20,2234          |

Jumlah  
rata-rata  
62,5389  
20,8463

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Umum**

Pada bab ini akan dibicarakan mengenai kesimpulan yang didapatkan dari hasil penelitian dan saran-saran dengan tujuan agar penelitian dapat tercapai sesuai yang diharapkan.

#### **6.2 Kesimpulan**

Dari hasil penelitian maka didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Workabilitas beton atau kelecakan beton dapat dilihat dengan parameter nilai *slump*. Nilai *slump* dapat dicapai lebih besar dari 180 mm tanpa bleeding dan segregasi dengan penambahan *superplasticizer* 0,22% - 2,42%,
2. *superplasticizer* dapat meningkatkan workabilitas pada beton yang dikurangi airnya. Semakin besar pengurangan air maka kadar *superplasticizer* akan meningkat,
3. kadar *superplasticizer* melebihi 1,12% pada campuran beton dengan pengurangan air 15% dan 20% menyebabkan kuat tekan beton menurun,
4. kuat tekan beton tertinggi dicapai pada pengurangan air 30% dengan penambahan *superplasticizer* 2,42%. Untuk umur 3 hari kuat tekan yang didapatkan sebesar 37,26 MPa, umur 7 hari kuat tekan sebesar 61,62 MPa, umur 14 hari kuat tekan sebesar 47,17 MPa, umur 28 hari sebesar 62,19 MPa
5. Peningkatan kuat tekan beton yang signifikan belum terlihat pada umur-umur awal beton,

### 6.3 Saran-saran

Saran-saran yang dapat diambil dari penelitian ini untuk dapat diteliti lebih lanjut sebagai berikut :

1. penambahan *superplasticizer* pada campuran beton hendaknya diperhatikan dengan cermat sehingga kadar *superplasticizer* yang ditambahkan tidak berlebihan,
2. menggunakan beton normal dengan variasi umur 3 hari, 7 hari, 14, hari, dan 28 hari sebagai pembanding terhadap beton yang telah ditambahkan *superplasticizer* dengan variasi umur 3 hari, 7 hari, 14, dan 28 hari dan variasi pengurangan air 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% untuk mengetahui seberapa besar peningkatan kuat tekan beton terhadap beton normal.

| NO | TANGGAL | CATATAN KONSULTASI                                          | TANDA TANGGA |
|----|---------|-------------------------------------------------------------|--------------|
|    | 21/107  | per tagan analisis data 108 107                             | df           |
|    | 23/107  | buat 1 master (char) pembuatannya utuh dan benar lebih dulu | df           |
|    | 28/107  | rule antara program berbaris - uue. btm cpd to p. a ter     | df           |
|    | 15/107  | lanjutan                                                    | df           |
|    | 1/3107  | buat pembuatannya siap hasil                                | df           |
|    | 7/3107  | segun cap                                                   | df           |
|    |         | graph with output df 14/3107                                |              |
|    | 14/3107 | Perbaiki                                                    |              |
|    | 29/3107 | Siaphu Sidiy P (Plethadar)                                  | u            |

20%

| Silinder         | Diameter (cm) | Tinggi (cm) | Luas (cm <sup>2</sup> ) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Beban max (KN) | Kuat tekan (MPa) |
|------------------|---------------|-------------|-------------------------|---------------------------|------------|----------------|------------------|
| 1                | 14,8          | 30          | 171,95                  | 5158,39                   | 12,80      | 357,60         | 20,7972          |
| 2                | 14,7          | 30          | 169,63                  | 5088,92                   | 12,80      | 392,30         | 23,1267          |
| 3                | 14,7          | 29,9        | 169,63                  | 5071,96                   | 12,80      | 362,60         | 21,3759          |
| Jumlah rata-rata |               |             |                         |                           |            |                | 65,2997          |
|                  |               |             |                         |                           |            |                | 21,7666          |

25%

| Silinder         | Diameter (cm) | Tinggi (cm) | Luas (cm <sup>2</sup> ) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Beban max (KN) | Kuat tekan (MPa) |
|------------------|---------------|-------------|-------------------------|---------------------------|------------|----------------|------------------|
| 1                | 14,7          | 30          | 169,63                  | 5088,92                   | 13,00      | 579,10         | 34,1389          |
| 2                | 14,8          | 29,9        | 171,95                  | 5141,20                   | 12,90      | 606,10         | 35,2494          |
| 3                | 15,12         | 29,88       | 179,46                  | 5362,33                   | 12,90      | 510,20         | 28,4294          |
| Jumlah rata-rata |               |             |                         |                           |            |                | 69,3882          |
|                  |               |             |                         |                           |            |                | 34,6941          |

30%

| Silinder         | Diameter (cm) | Tinggi (cm) | Luas (cm <sup>2</sup> ) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Beban max (KN) | Kuat tekan (MPa) |
|------------------|---------------|-------------|-------------------------|---------------------------|------------|----------------|------------------|
| 1                | 14,92         | 29,5        | 174,75                  | 5155,01                   | 12,99      | 636,70         | 36,4357          |
| 2                | 15            | 29,8        | 176,63                  | 5263,43                   | 13,12      | 672,60         | 38,0807          |
| 3                | 14,8          | 29,9        | 171,95                  | 5141,20                   | 13,10      | 744,40         | 43,2926          |
| Jumlah rata-rata |               |             |                         |                           |            |                | 74,5164          |
|                  |               |             |                         |                           |            |                | 37,2582          |

\* Data tidak dipakai

## 0%

| Silinder | Diameter (cm) | Tinggi (cm) | Luas (cm <sup>2</sup> ) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Beban max (KN) | Kuat tekan (MPa) |
|----------|---------------|-------------|-------------------------|---------------------------|------------|----------------|------------------|
| 1        | 14.90         | 30.00       | 174.28                  | 174.28                    | 5228.34    | 523.70         | 30.0497          |
| 2        | 14.90         | 30.10       | 174.28                  | 174.28                    | 5245.76    | 518.30         | 29.7399          |
| 3        | 15.00         | 29.40       | 176.63                  | 176.63                    | 5192.78    | 531.30         | 30.0807          |
|          |               |             |                         |                           |            | Jumlah         | 89,8703          |
|          |               |             |                         |                           |            | rata-rata      | 29.9568          |

**5%**

| Silinder | Diameter (cm) | Tinggi (cm) | Luas (cm <sup>2</sup> ) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Beban max (KN) | Kuat tekan (MPa) |
|----------|---------------|-------------|-------------------------|---------------------------|------------|----------------|------------------|
| 1        | 15,10         | 30,21       | 178,99                  | 178,99                    | 5407,22    | 552,40         | 30,8624          |
| 2        | 14,90         | 29,90       | 174,28                  | 174,28                    | 5210,91    | 752,10         | 43,1552          |
| 3        | 14,90         | 29,90       | 174,28                  | 174,28                    | 5210,91    | 594,00         | 34,0835          |
|          |               |             |                         |                           |            | Jumlah         | 64,9459          |
|          |               |             |                         |                           |            | rata-rata      | 32,4730          |

10%

| Silinder | Diameter (cm) | Tinggi (cm) | Luas (cm <sup>2</sup> ) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Beban max (KN) | Kuat tekan (MPa) |
|----------|---------------|-------------|-------------------------|---------------------------|------------|----------------|------------------|
| 1        | 15,10         | 29,50       | 178,99                  | 178,99                    | 5280,14    | 660,90         | 36,9243          |
| 2        | 15,00         | 30,20       | 176,63                  | 176,63                    | 5334,38    | 670,90         | 37,9844          |
| 3        | 15,30         | 29,70       | 183,76                  | 183,76                    | 5457,69    | 607,70         | 33,0702          |
|          |               |             |                         |                           |            | Jumlah         | 107,9789         |
|          |               |             |                         |                           |            | rata-rata      | 35,9930          |

## 15%

| Silinder                | Diameter (cm) | Tinggi (cm) | Luas ( $\text{cm}^2$ ) | Volume ( $\text{cm}^3$ ) | Berat (kg) | Beban max (kN) | Kuat tekan (MPa)           |
|-------------------------|---------------|-------------|------------------------|--------------------------|------------|----------------|----------------------------|
| 1                       | 14,89         | 29,80       | 174,04                 | 174,04                   | 5186,51    | 545,70         | 31,3541                    |
| 2                       | 14,70         | 29,89       | 169,63                 | 169,63                   | 5070,26    | 636,20         | 37,5050                    |
| 3                       | 15,00         | 29,90       | 176,63                 | 176,63                   | 5281,09    | 538,10         | 30,4657                    |
| <b>Jumlah rata-rata</b> |               |             |                        |                          |            |                | <b>99,3248<br/>33,1083</b> |

### 20%

| Silinder  | Diameter (cm) | Tinggi (cm) | Luas (cm <sup>2</sup> ) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Beban max (KN) | Kuat tekan (MPa) |
|-----------|---------------|-------------|-------------------------|---------------------------|------------|----------------|------------------|
| 1         | 14,80         | 30,49       | 171,95                  | 171,95                    | 5242,65    | 514,90         | 29,9454          |
| 2         | 14,70         | 29,89       | 169,63                  | 169,63                    | 5070,26    | 587,80         | 34,6518          |
| 3         | 14,80         | 30,10       | 171,95                  | 171,95                    | 5175,59    | 580,30         | 33,7489          |
| Jumlah    |               |             |                         |                           |            | 98,3460        |                  |
| rata-rata |               |             |                         |                           |            | 32,7820        |                  |

### 25%

| Silinder  | Diameter (cm) | Tinggi (cm) | Luas (cm <sup>2</sup> ) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Beban max (KN) | Kuat tekan (MPa) |
|-----------|---------------|-------------|-------------------------|---------------------------|------------|----------------|------------------|
| 1         | 14,50         | 30,10       | 165,05                  | 165,05                    | 4967,89    | 669,10         | 40,5402          |
| 2         | 14,70         | 30,00       | 169,63                  | 169,63                    | 5088,92    | 718,10         | 42,3332          |
| 3         | 14,60         | 30,00       | 167,33                  | 167,33                    | 5019,92    | 671,00         | 40,1003          |
| Jumlah    |               |             |                         |                           |            | 122,9736       |                  |
| rata-rata |               |             |                         |                           |            | 40,9912        |                  |

### 30%

| Silinder  | Diameter (cm) | Tinggi (cm) | Luas (cm <sup>2</sup> ) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Beban max (KN) | Kuat tekan (MPa) |
|-----------|---------------|-------------|-------------------------|---------------------------|------------|----------------|------------------|
| 1         | 14,60         | 30,00       | 167,33                  | 167,33                    | 5019,92    | 935,30         | 55,8953          |
| 2         | 14,70         | 30,00       | 169,63                  | 169,63                    | 5088,92    | 637,40         | 37,5758          |
| 3         | 14,60         | 30,00       | 167,33                  | 167,33                    | 5019,92    | 1127,00        | 67,3517          |
| Jumlah    |               |             |                         |                           |            | 123,2470       |                  |
| rata-rata |               |             |                         |                           |            | 61,6235        |                  |

\* Data tidak dipakai

Results are reported in Table 1.

## 0%

|        |         |       |                     |        |
|--------|---------|-------|---------------------|--------|
| 174,28 | 5245,76 | 13,00 | Jumlah<br>rata-rata | 584,70 |
|--------|---------|-------|---------------------|--------|

5%

|        |         |       |                     |        |
|--------|---------|-------|---------------------|--------|
| 171,95 | 5158,39 | 13,10 | Jumlah<br>rata-rata | 6/4,00 |
|--------|---------|-------|---------------------|--------|

10%

|        |         |       |                  |        |
|--------|---------|-------|------------------|--------|
| 171,95 | 5192,78 | 12,85 | Jumlah rata-rata | 662,90 |
|--------|---------|-------|------------------|--------|

15%

|        |         |       |        |                     |
|--------|---------|-------|--------|---------------------|
| 176,63 | 5281,09 | 12,80 | 590,90 | Jumlah<br>rata-rata |
|--------|---------|-------|--------|---------------------|

### 20%

| Silinder  | Diameter (cm) | Tinggi (cm) | Luas (cm <sup>2</sup> ) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Beban max (KN) | Kuat tekan (MPa) |
|-----------|---------------|-------------|-------------------------|---------------------------|------------|----------------|------------------|
| 1         | 14,80         | 29,90       | 171,95                  | 5141,20                   | 13,00      | 564,80         | 32,8474          |
| 2         | 14,80         | 30,00       | 171,95                  | 5158,39                   | 12,90      | 691,40         | 40,2102          |
| 3         | 14,80         | 30,00       | 171,95                  | 5158,39                   | 12,90      | 524,90         | 30,5270          |
| Jumlah    |               |             |                         |                           |            |                | 63,3744          |
| rata-rata |               |             |                         |                           |            |                | 31,6872          |

### 25%

| Silinder  | Diameter (cm) | Tinggi (cm) | Luas (cm <sup>2</sup> ) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Beban max (KN) | Kuat tekan (MPa) |
|-----------|---------------|-------------|-------------------------|---------------------------|------------|----------------|------------------|
| 1         | 14,80         | 29,90       | 171,95                  | 5141,20                   | 12,90      | 682,40         | 39,6868          |
| 2         | 14,80         | 29,90       | 171,95                  | 5141,20                   | 12,90      | 768,70         | 44,7058          |
| 3         | 15,00         | 30,00       | 176,63                  | 5298,75                   | 13,00      | 738,90         | 41,8344          |
| Jumlah    |               |             |                         |                           |            |                | 126,2270         |
| rata-rata |               |             |                         |                           |            |                | 42,0757          |

### 30%

| Silinder  | Diameter (cm) | Tinggi (cm) | Luas (cm <sup>2</sup> ) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Beban max (KN) | Kuat tekan (MPa) |
|-----------|---------------|-------------|-------------------------|---------------------------|------------|----------------|------------------|
| 1         | 15,00         | 30,00       | 176,63                  | 5298,75                   | 13,10      | 783,80         | 44,3765          |
| 2         | 14,90         | 30,00       | 174,28                  | 5228,34                   | 13,10      | 1031,00        | 59,1584          |
| 3         | 15,00         | 30,00       | 176,63                  | 5298,75                   | 13,00      | 882,60         | 49,9703          |
| Jumlah    |               |             |                         |                           |            |                | 94,3468          |
| rata-rata |               |             |                         |                           |            |                | 47,1734          |

\* Data tidak dipakai

**Kuai Tekan Umur 28 hari**

0%

| Silinder | Diameter (cm) | Tinggi (cm) | Berat (kg) | Luas (cm <sup>2</sup> ) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Beban max (KN) | Kuat tekan (MPa) |
|----------|---------------|-------------|------------|-------------------------|---------------------------|----------------|------------------|
| 1        | 14,60         | 30,00       | 13,00      | 167,33                  | 5019,92                   | 757,90         | 45,2936          |
| 2        | 14,80         | 30,20       | 13,10      | 171,95                  | 5192,78                   | 603,00         | 35,0691          |
| 3        | 14,90         | 30,20       | 13,00      | 174,28                  | 5263,19                   | 656,20         | 37,6525          |
| 4        | 14,80         | 30,00       | 13,00      | 171,95                  | 5158,39                   | 713,40         | 41,4897          |
| 5        | 14,80         | 30,00       | 13,00      | 171,95                  | 5158,39                   | 673,40         | 39,1634          |
| 6        | 15,00         | 29,80       | 13,00      | 176,63                  | 5263,43                   | 794,8          | 44,9993          |
|          |               |             |            |                         |                           | Jumlah         | 243,6675         |
|          |               |             |            |                         |                           | rata-rata      | 40,6112          |

**5%**

**5%**

[illegible]

10%

[illegible]

### 15%

| Silinder | Diameter (cm) | Tinggi (cm) | Berat (kg) | Luas (cm <sup>2</sup> ) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Beban max (KN) | Kuat tekan (MPa) |
|----------|---------------|-------------|------------|-------------------------|---------------------------|----------------|------------------|
| 1        | 15,00         | 30,13       | 13,20      | 176,63                  | 5321,71                   | 868,10         | 49,1493          |
| 2        | 15,05         | 29,95       | 13,15      | 177,80                  | 5325,24                   | 749,20         | 42,1362          |
| 3        | 15,03         | 30,20       | 13,20      | 177,33                  | 5355,43                   | 896,80         | 50,5717          |
| 4        | 14,95         | 30,20       | 13,30      | 175,45                  | 5298,57                   | 800,70         | 45,6371          |
| 5        | 14,95         | 30,00       | 13,20      | 175,45                  | 5263,48                   | 830,30         | 47,3242          |
| 6        | 15,00         | 30,00       | 13,10      | 176,63                  | 5298,75                   | 797,2          | 45,1352          |
|          |               |             |            |                         |                           | Jumlah         | 279,9537         |
|          |               |             |            |                         |                           | rata-rata      | 46,6589          |

### 20%

| Silinder | Diameter (cm) | Tinggi (cm) | Berat (kg) | Luas (cm <sup>2</sup> ) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Beban max (KN) | Kuat tekan (MPa) |
|----------|---------------|-------------|------------|-------------------------|---------------------------|----------------|------------------|
| 1        | 14,60         | 30,00       | 13,20      | 167,33                  | 5019,92                   | 932,00         | 55,6981          |
| 2        | 14,70         | 30,00       | 13,20      | 169,63                  | 5088,92                   | 919,80         | 54,2237          |
| 3        | 14,90         | 30,00       | 13,20      | 174,28                  | 5228,34                   | 899,70         | 51,6245          |
| 4        | 14,80         | 30,00       | 13,20      | 171,95                  | 5158,39                   | 1091,00        | 63,4500          |
| 5        | 14,80         | 29,90       | 13,30      | 171,95                  | 5141,20                   | 953,70         | 55,4650          |
| 6        | 14,70         | 30,10       | 13,30      | 169,63                  | 5105,88                   | 979            | 57,7136          |
|          |               |             |            |                         |                           | Jumlah         | 274,7249         |
|          |               |             |            |                         |                           | rata-raja      | 54,9450          |

\*

### 25%

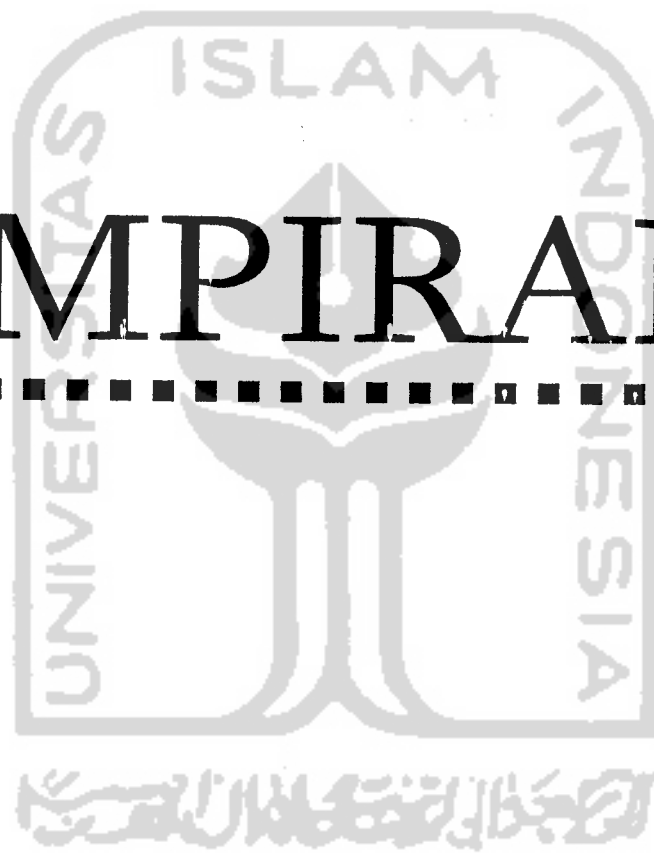
| Silinder | Diameter (cm) | Tinggi (cm) | Berat (kg) | Luas (cm <sup>2</sup> ) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Beban max (KN) | Kuat tekan (MPa) |
|----------|---------------|-------------|------------|-------------------------|---------------------------|----------------|------------------|
| 1        | 15,18         | 30,35       | 13,30      | 180,89                  | 5489,99                   | 490,80         | 27,1326 *        |
| 2        | 15,08         | 30,12       | 13,20      | 178,51                  | 5376,84                   | 792,60         | 44,3999 *        |
| 3        | 15,05         | 30,00       | 13,20      | 177,80                  | 5334,13                   | 961,80         | 54,0931 *        |
| 4        | 14,98         | 30,00       | 13,10      | 176,15                  | 5284,63                   | 548,60         | 31,1431 *        |
| 5        | 15,00         | 30,20       | 13,30      | 176,63                  | 5334,08                   | 490,80         | 27,7877 *        |
| 6        | 15,00         | 30,00       | 13,20      | 176,63                  | 5298,75                   | 933,1          | 52,8294 *        |
|          |               |             |            | Jumlah                  |                           | 106,9226       |                  |
|          |               |             |            | rata-rata               |                           | 53,4613        |                  |

### 30%

| Silinder | Diameter (cm) | Tinggi (cm) | Berat (kg) | Luas (cm <sup>2</sup> ) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Beban max (KN) | Kuat tekan (MPa) |
|----------|---------------|-------------|------------|-------------------------|---------------------------|----------------|------------------|
| 1        | 15,00         | 30,00       | 13,30      | 176,63                  | 5298,75                   | 1303,00        | 73,7721 *        |
| 2        | 14,80         | 30,00       | 13,20      | 171,95                  | 5158,39                   | 1050,00        | 61,0655 *        |
| 3        | 14,80         | 29,80       | 13,20      | 171,95                  | 5124,00                   | 1115,00        | 64,8458 *        |
| 4        | 14,80         | 30,10       | 13,30      | 171,95                  | 5175,59                   | 1043,00        | 60,6584 *        |
| 5        | 14,90         | 30,00       | 13,40      | 174,28                  | 5228,34                   | 959,30         | 55,0443 *        |
| 6        | 14,80         | 30,00       | 13,30      | 171,95                  | 5158,39                   | 931,3          | 54,1622 *        |
|          |               |             |            | Jumlah                  |                           | 186,5698       |                  |
|          |               |             |            | rata-rata               |                           | 62,1899        |                  |

\* Data tidak dipakai

# LAMPIRAN 4



D 15  
h 29,8  
w 13  
A 176,625

0%

| BEBAN<br>KN | BEBAN<br>N | DIAL<br>0% | $\Delta L$ | REG<br>$10^{-4}$ | TEGANGAN<br>MPa | REG KOREKSI<br>$10^{-4}$ |
|-------------|------------|------------|------------|------------------|-----------------|--------------------------|
| 0           | 0          | 0          | 0          | 0                | 0               | 0,0000                   |
| 10          | 10000      | 4          | 2          | 0,133            | 0,566           | 0,2007                   |
| 20          | 20000      | 9          | 4,5        | 0,300            | 1,132           | 0,3674                   |
| 30          | 30000      | 13         | 6,5        | 0,433            | 1,699           | 0,5007                   |
| 40          | 40000      | 18         | 9          | 0,600            | 2,265           | 0,6674                   |
| 50          | 50000      | 23         | 11,5       | 0,767            | 2,831           | 0,8340                   |
| 60          | 60000      | 29         | 14,5       | 0,967            | 3,397           | 1,0340                   |
| 70          | 70000      | 34         | 17         | 1,133            | 3,963           | 1,2007                   |
| 80          | 80000      | 38         | 19         | 1,267            | 4,529           | 1,3340                   |
| 90          | 90000      | 43         | 21,5       | 1,433            | 5,096           | 1,5007                   |
| 100         | 100000     | 48         | 24         | 1,600            | 5,662           | 1,6674                   |
| 110         | 110000     | 53         | 26,5       | 1,767            | 6,228           | 1,8340                   |
| 120         | 120000     | 59         | 29,5       | 1,967            | 6,794           | 2,0340                   |
| 130         | 130000     | 64         | 32         | 2,133            | 7,360           | 2,2007                   |
| 140         | 140000     | 70         | 35         | 2,333            | 7,926           | 2,4007                   |
| 150         | 150000     | 75         | 37,5       | 2,500            | 8,493           | 2,5674                   |
| 160         | 160000     | 81         | 40,5       | 2,700            | 9,059           | 2,7674                   |
| 170         | 170000     | 87         | 43,5       | 2,900            | 9,625           | 2,9674                   |
| 180         | 180000     | 92         | 46         | 3,067            | 10,191          | 3,1340                   |
| 190         | 190000     | 98         | 49         | 3,267            | 10,757          | 3,3340                   |
| 200         | 200000     | 104        | 52         | 3,467            | 11,323          | 3,5340                   |
| 210         | 210000     | 110        | 55         | 3,667            | 11,890          | 3,7340                   |
| 220         | 220000     | 115        | 57,5       | 3,833            | 12,456          | 3,9007                   |
| 230         | 230000     | 121        | 60,5       | 4,033            | 13,022          | 4,1007                   |
| 240         | 240000     | 127        | 63,5       | 4,233            | 13,588          | 4,3007                   |
| 250         | 250000     | 133        | 66,5       | 4,433            | 14,154          | 4,5007                   |
| 260         | 260000     | 139        | 69,5       | 4,633            | 14,720          | 4,7007                   |
| 270         | 270000     | 145        | 72,5       | 4,833            | 15,287          | 4,9007                   |
| 280         | 280000     | 151        | 75,5       | 5,033            | 15,853          | 5,1007                   |
| 290         | 290000     | 157        | 78,5       | 5,233            | 16,419          | 5,3007                   |
| 300         | 300000     | 163        | 81,5       | 5,433            | 16,985          | 5,5007                   |
| 310         | 310000     | 170        | 85         | 5,667            | 17,551          | 5,7340                   |
| 320         | 320000     | 176        | 88         | 5,867            | 18,117          | 5,9340                   |
| 330         | 330000     | 182        | 91         | 6,067            | 18,684          | 6,1340                   |
| 340         | 340000     | 189        | 94,5       | 6,300            | 19,250          | 6,3674                   |
| 350         | 350000     | 194        | 97         | 6,467            | 19,816          | 6,5340                   |
| 360         | 360000     | 201        | 100,5      | 6,700            | 20,382          | 6,7674                   |
| 370         | 370000     | 208        | 104        | 6,933            | 20,948          | 7,0007                   |
| 380         | 380000     | 214        | 107        | 7,133            | 21,515          | 7,2007                   |
| 390         | 390000     | 221        | 110,5      | 7,367            | 22,081          | 7,4340                   |
| 400         | 400000     | 228        | 114        | 7,600            | 22,647          | 7,6674                   |
| 410         | 410000     | 235        | 117,5      | 7,833            | 23,213          | 7,9007                   |
| 420         | 420000     | 243        | 121,5      | 8,100            | 23,779          | 8,1674                   |
| 430         | 430000     | 250        | 125        | 8,333            | 24,345          | 8,4007                   |
| 440         | 440000     | 256        | 128        | 8,533            | 24,912          | 8,6007                   |
| 450         | 450000     | 263        | 131,5      | 8,767            | 25,478          | 8,8340                   |
| 460         | 460000     | 270        | 135        | 9,000            | 26,044          | 9,0674                   |

|     |        |     |       |        |        |         |
|-----|--------|-----|-------|--------|--------|---------|
| 470 | 470000 | 278 | 139   | 9,267  | 26,610 | 9,3340  |
| 480 | 480000 | 285 | 142,5 | 9,500  | 27,176 | 9,5674  |
| 490 | 490000 | 294 | 147   | 9,800  | 27,742 | 9,8674  |
| 500 | 500000 | 301 | 150,5 | 10,033 | 28,309 | 10,1007 |
| 510 | 510000 | 308 | 154   | 10,267 | 28,875 | 10,3340 |
| 520 | 520000 | 315 | 157,5 | 10,500 | 29,441 | 10,5674 |
| 530 | 530000 | 322 | 161   | 10,733 | 30,007 | 10,8007 |
| 540 | 540000 | 331 | 165,5 | 11,033 | 30,573 | 11,1007 |
| 550 | 550000 | 339 | 169,5 | 11,300 | 31,139 | 11,3674 |
| 560 | 560000 | 347 | 173,5 | 11,567 | 31,706 | 11,6340 |
| 570 | 570000 | 356 | 178   | 11,867 | 32,272 | 11,9340 |
| 580 | 580000 | 364 | 182   | 12,133 | 32,838 | 12,2007 |
| 590 | 590000 | 373 | 186,5 | 12,433 | 33,404 | 12,5007 |
| 600 | 600000 | 382 | 191   | 12,733 | 33,970 | 12,8007 |
| 610 | 610000 | 391 | 195,5 | 13,033 | 34,536 | 13,1007 |
| 620 | 620000 | 400 | 200   | 13,333 | 35,103 | 13,4007 |
| 630 | 630000 | 409 | 204,5 | 13,633 | 35,669 | 13,7007 |
| 640 | 640000 | 419 | 209,5 | 13,967 | 36,235 | 14,0340 |
| 650 | 650000 | 428 | 214   | 14,267 | 36,801 | 14,3340 |
| 660 | 660000 | 437 | 218,5 | 14,567 | 37,367 | 14,6340 |
| 670 | 670000 | 445 | 222,5 | 14,833 | 37,933 | 14,9007 |
| 680 | 680000 | 456 | 228   | 15,200 | 38,500 | 15,2674 |
| 690 | 690000 | 469 | 234,5 | 15,633 | 39,066 | 15,7007 |
| 700 | 700000 | 481 | 240,5 | 16,033 | 39,632 | 16,1007 |
| 710 | 710000 | 493 | 246,5 | 16,433 | 40,198 | 16,5007 |
| 720 | 720000 | 508 | 254   | 16,933 | 40,764 | 17,0007 |
| 730 | 730000 | 522 | 261   | 17,400 | 41,331 | 17,4674 |
| 740 | 740000 | 538 | 269   | 17,933 | 41,897 | 18,0007 |
| 750 | 750000 | 557 | 278,5 | 18,567 | 42,463 | 18,6340 |
| 760 | 760000 | 578 | 289   | 19,267 | 43,029 | 19,3340 |
| 770 | 770000 | 600 | 300   | 20,000 | 43,595 | 20,0674 |
| 780 | 780000 | 625 | 312,5 | 20,833 | 44,161 | 20,9007 |
| 790 | 790000 | 650 | 325   | 21,667 | 44,728 | 21,7340 |
| 800 | 800000 | 684 | 342   | 22,800 | 45,294 | 22,8674 |
| 810 | 810000 | 715 | 357,5 | 23,833 | 45,860 | 23,9007 |
| 820 | 820000 | 744 | 372   | 24,800 | 46,426 | 24,8674 |
| 830 | 830000 | 761 | 380,5 | 25,367 | 46,992 | 25,4340 |
| 840 | 840000 | 813 | 406,5 | 27,100 | 47,558 | 27,1674 |
| 730 | 730000 | 926 | 463   | 30,867 | 41,331 | 30,9340 |
| 720 | 720000 | 977 | 488,5 | 32,567 | 40,764 | 32,6340 |

D 15  
h 30  
w 13  
A 176,625

5%

| BEBAN<br>KN | BEBAN<br>N | DIAL<br>5% | $\Delta L$ | REG<br>$10^{-4}$ | TEGANGAN<br>MPa | REG KOREKSI<br>$10^{-4}$ |
|-------------|------------|------------|------------|------------------|-----------------|--------------------------|
| 0           | 0          | 0          | 0          | 0                | 0               | 0                        |
| 10          | 10000      | 3          | 1,5        | 0,100            | 0,566           | 0,294                    |
| 20          | 20000      | 6          | 3          | 0,200            | 1,132           | 0,394                    |
| 30          | 30000      | 9          | 4,5        | 0,300            | 1,699           | 0,494                    |
| 40          | 40000      | 13         | 6,5        | 0,433            | 2,265           | 0,627                    |
| 50          | 50000      | 17         | 8,5        | 0,567            | 2,831           | 0,761                    |
| 60          | 60000      | 20         | 10         | 0,667            | 3,397           | 0,861                    |
| 70          | 70000      | 24         | 12         | 0,800            | 3,963           | 0,994                    |
| 80          | 80000      | 28         | 14         | 0,933            | 4,529           | 1,127                    |
| 90          | 90000      | 32         | 16         | 1,067            | 5,096           | 1,261                    |
| 100         | 100000     | 35         | 17,5       | 1,167            | 5,662           | 1,361                    |
| 110         | 110000     | 40         | 20         | 1,333            | 6,228           | 1,527                    |
| 120         | 120000     | 43         | 21,5       | 1,433            | 6,794           | 1,627                    |
| 130         | 130000     | 46         | 23         | 1,533            | 7,360           | 1,727                    |
| 140         | 140000     | 51         | 25,5       | 1,700            | 7,926           | 1,894                    |
| 150         | 150000     | 54         | 27         | 1,800            | 8,493           | 1,994                    |
| 160         | 160000     | 58         | 29         | 1,933            | 9,059           | 2,127                    |
| 170         | 170000     | 62         | 31         | 2,067            | 9,625           | 2,261                    |
| 180         | 180000     | 66         | 33         | 2,200            | 10,191          | 2,394                    |
| 190         | 190000     | 71         | 35,5       | 2,367            | 10,757          | 2,561                    |
| 200         | 200000     | 75         | 37,5       | 2,500            | 11,323          | 2,694                    |
| 210         | 210000     | 78         | 39         | 2,600            | 11,890          | 2,794                    |
| 220         | 220000     | 83         | 41,5       | 2,767            | 12,456          | 2,961                    |
| 230         | 230000     | 87         | 43,5       | 2,900            | 13,022          | 3,094                    |
| 240         | 240000     | 91         | 45,5       | 3,033            | 13,588          | 3,227                    |
| 250         | 250000     | 95         | 47,5       | 3,167            | 14,154          | 3,361                    |
| 260         | 260000     | 99         | 49,5       | 3,300            | 14,720          | 3,494                    |
| 270         | 270000     | 104        | 52         | 3,467            | 15,287          | 3,661                    |
| 280         | 280000     | 109        | 54,5       | 3,633            | 15,853          | 3,827                    |
| 290         | 290000     | 113        | 56,5       | 3,767            | 16,419          | 3,961                    |
| 300         | 300000     | 117        | 58,5       | 3,900            | 16,985          | 4,094                    |
| 310         | 310000     | 123        | 61,5       | 4,100            | 17,551          | 4,294                    |
| 320         | 320000     | 128        | 64         | 4,267            | 18,117          | 4,461                    |
| 330         | 330000     | 132        | 66         | 4,400            | 18,684          | 4,594                    |
| 340         | 340000     | 137        | 68,5       | 4,567            | 19,250          | 4,761                    |
| 350         | 350000     | 142        | 71         | 4,733            | 19,816          | 4,927                    |
| 360         | 360000     | 146        | 73         | 4,867            | 20,382          | 5,061                    |
| 370         | 370000     | 151        | 75,5       | 5,033            | 20,948          | 5,227                    |
| 380         | 380000     | 156        | 78         | 5,200            | 21,515          | 5,394                    |
| 390         | 390000     | 161        | 80,5       | 5,367            | 22,081          | 5,561                    |
| 400         | 400000     | 167        | 83,5       | 5,567            | 22,647          | 5,761                    |
| 410         | 410000     | 172        | 86         | 5,733            | 23,213          | 5,927                    |
| 420         | 420000     | 177        | 88,5       | 5,900            | 23,779          | 6,094                    |
| 430         | 430000     | 182        | 91         | 6,067            | 24,345          | 6,261                    |
| 440         | 440000     | 187        | 93,5       | 6,233            | 24,912          | 6,427                    |
| 450         | 450000     | 192        | 96         | 6,400            | 25,478          | 6,594                    |
| 460         | 460000     | 198        | 99         | 6,600            | 26,044          | 6,794                    |
| 470         | 470000     | 204        | 102        | 6,800            | 26,610          | 6,994                    |
| 480         | 480000     | 210        | 105        | 7,000            | 27,176          | 7,194                    |
| 490         | 490000     | 215        | 107,5      | 7,167            | 27,742          | 7,361                    |
| 500         | 500000     | 221        | 110,5      | 7,367            | 28,309          | 7,561                    |

|      |         |     |       |        |        |        |
|------|---------|-----|-------|--------|--------|--------|
| 510  | 510000  | 227 | 113,5 | 7,567  | 28,875 | 7,761  |
| 520  | 520000  | 233 | 116,5 | 7,767  | 29,441 | 7,961  |
| 530  | 530000  | 239 | 119,5 | 7,967  | 30,007 | 8,161  |
| 540  | 540000  | 244 | 122   | 8,133  | 30,573 | 8,327  |
| 550  | 550000  | 251 | 125,5 | 8,367  | 31,139 | 8,561  |
| 560  | 560000  | 257 | 128,5 | 8,567  | 31,706 | 8,761  |
| 570  | 570000  | 264 | 132   | 8,800  | 32,272 | 8,994  |
| 580  | 580000  | 270 | 135   | 9,000  | 32,838 | 9,194  |
| 590  | 590000  | 277 | 138,5 | 9,233  | 33,404 | 9,427  |
| 600  | 600000  | 283 | 141,5 | 9,433  | 33,970 | 9,627  |
| 610  | 610000  | 289 | 144,5 | 9,633  | 34,536 | 9,827  |
| 620  | 620000  | 296 | 148   | 9,867  | 35,103 | 10,061 |
| 630  | 630000  | 303 | 151,5 | 10,100 | 35,669 | 10,294 |
| 640  | 640000  | 309 | 154,5 | 10,300 | 36,235 | 10,494 |
| 650  | 650000  | 317 | 158,5 | 10,567 | 36,801 | 10,761 |
| 660  | 660000  | 324 | 162   | 10,800 | 37,367 | 10,994 |
| 670  | 670000  | 330 | 165   | 11,000 | 37,933 | 11,194 |
| 680  | 680000  | 338 | 169   | 11,267 | 38,500 | 11,461 |
| 690  | 690000  | 345 | 172,5 | 11,500 | 39,066 | 11,694 |
| 700  | 700000  | 352 | 176   | 11,733 | 39,632 | 11,927 |
| 710  | 710000  | 361 | 180,5 | 12,033 | 40,198 | 12,227 |
| 720  | 720000  | 369 | 184,5 | 12,300 | 40,764 | 12,494 |
| 730  | 730000  | 377 | 188,5 | 12,567 | 41,331 | 12,761 |
| 740  | 740000  | 385 | 192,5 | 12,833 | 41,897 | 13,027 |
| 750  | 750000  | 394 | 197   | 13,133 | 42,463 | 13,327 |
| 760  | 760000  | 403 | 201,5 | 13,433 | 43,029 | 13,627 |
| 770  | 770000  | 411 | 205,5 | 13,700 | 43,595 | 13,894 |
| 780  | 780000  | 421 | 210,5 | 14,033 | 44,161 | 14,227 |
| 790  | 790000  | 431 | 215,5 | 14,367 | 44,728 | 14,561 |
| 800  | 800000  | 441 | 220,5 | 14,700 | 45,294 | 14,894 |
| 810  | 810000  | 421 | 210,5 | 14,033 | 45,860 | 14,227 |
| 820  | 820000  | 431 | 215,5 | 14,367 | 46,426 | 14,561 |
| 830  | 830000  | 441 | 220,5 | 14,700 | 46,992 | 14,894 |
| 840  | 840000  | 451 | 225,5 | 15,033 | 47,558 | 15,227 |
| 850  | 850000  | 462 | 231   | 15,400 | 48,125 | 15,594 |
| 860  | 860000  | 474 | 237   | 15,800 | 48,691 | 15,994 |
| 870  | 870000  | 485 | 242,5 | 16,167 | 49,257 | 16,361 |
| 880  | 880000  | 498 | 249   | 16,600 | 49,823 | 16,794 |
| 890  | 890000  | 512 | 256   | 17,067 | 50,389 | 17,261 |
| 900  | 900000  | 526 | 263   | 17,533 | 50,955 | 17,727 |
| 910  | 910000  | 543 | 271,5 | 18,100 | 51,522 | 18,294 |
| 920  | 920000  | 569 | 284,5 | 18,967 | 52,088 | 19,161 |
| 930  | 930000  | 580 | 290   | 19,333 | 52,654 | 19,527 |
| 940  | 940000  | 587 | 293,5 | 19,567 | 53,220 | 19,761 |
| 950  | 950000  | 578 | 289   | 19,267 | 53,786 | 19,461 |
| 960  | 960000  | 555 | 277,5 | 18,500 | 54,352 | 18,694 |
| 970  | 970000  | 527 | 263,5 | 17,567 | 54,919 | 17,761 |
| 980  | 980000  | 400 | 200   | 13,333 | 55,485 | 13,527 |
| 990  | 990000  | 500 | 250   | 16,667 | 56,051 | 16,861 |
| 1000 | 1000000 | 56  | 28    | 1,867  | 56,617 | 2,061  |

d 15  
h 29,9  
w 13,2  
A 176,625

10%

| BEBAN<br>KN | BEBAN<br>N | DIAL<br>10% | $\Delta L$ | REG<br>$10^{-4}$ | TEGANGAN<br>MPa | REG KOREKSI<br>$10^{-4}$ |
|-------------|------------|-------------|------------|------------------|-----------------|--------------------------|
| 0           | 0          | 0           | 0          | 0                | 0               | 0                        |
| 10          | 10000      | 3           | 1,5        | 0,100            | 0,566           | 0,351                    |
| 20          | 20000      | 7           | 3,5        | 0,233            | 1,132           | 0,484                    |
| 30          | 30000      | 12          | 6          | 0,400            | 1,699           | 0,651                    |
| 40          | 40000      | 16          | 8          | 0,533            | 2,265           | 0,784                    |
| 50          | 50000      | 21          | 10,5       | 0,700            | 2,831           | 0,951                    |
| 60          | 60000      | 26          | 13         | 0,867            | 3,397           | 1,117                    |
| 70          | 70000      | 30          | 15         | 1,000            | 3,963           | 1,251                    |
| 80          | 80000      | 39          | 19,5       | 1,300            | 4,529           | 1,551                    |
| 90          | 90000      | 40          | 20         | 1,333            | 5,096           | 1,584                    |
| 100         | 100000     | 45          | 22,5       | 1,500            | 5,662           | 1,751                    |
| 110         | 110000     | 49          | 24,5       | 1,633            | 6,228           | 1,884                    |
| 120         | 120000     | 54          | 27         | 1,800            | 6,794           | 2,051                    |
| 130         | 130000     | 59          | 29,5       | 1,967            | 7,360           | 2,217                    |
| 140         | 140000     | 64          | 32         | 2,133            | 7,926           | 2,384                    |
| 150         | 150000     | 69          | 34,5       | 2,300            | 8,493           | 2,551                    |
| 160         | 160000     | 74          | 37         | 2,467            | 9,059           | 2,717                    |
| 170         | 170000     | 80          | 40         | 2,667            | 9,625           | 2,917                    |
| 180         | 180000     | 85          | 42,5       | 2,833            | 10,191          | 3,084                    |
| 190         | 190000     | 89          | 44,5       | 2,967            | 10,757          | 3,217                    |
| 200         | 200000     | 94          | 47         | 3,133            | 11,323          | 3,384                    |
| 210         | 210000     | 100         | 50         | 3,333            | 11,890          | 3,584                    |
| 220         | 220000     | 105         | 52,5       | 3,500            | 12,456          | 3,751                    |
| 230         | 230000     | 110         | 55         | 3,667            | 13,022          | 3,917                    |
| 240         | 240000     | 115         | 57,5       | 3,833            | 13,588          | 4,084                    |
| 250         | 250000     | 120         | 60         | 4,000            | 14,154          | 4,251                    |
| 260         | 260000     | 125         | 62,5       | 4,167            | 14,720          | 4,417                    |
| 270         | 270000     | 131         | 65,5       | 4,367            | 15,287          | 4,617                    |
| 280         | 280000     | 136         | 68         | 4,533            | 15,853          | 4,784                    |
| 290         | 290000     | 142         | 71         | 4,733            | 16,419          | 4,984                    |
| 300         | 300000     | 147         | 73,5       | 4,900            | 16,985          | 5,151                    |
| 310         | 310000     | 153         | 76,5       | 5,100            | 17,551          | 5,351                    |
| 320         | 320000     | 159         | 79,5       | 5,300            | 18,117          | 5,551                    |
| 330         | 330000     | 165         | 82,5       | 5,500            | 18,684          | 5,751                    |
| 340         | 340000     | 171         | 85,5       | 5,700            | 19,250          | 5,951                    |
| 350         | 350000     | 177         | 88,5       | 5,900            | 19,816          | 6,151                    |
| 360         | 360000     | 183         | 91,5       | 6,100            | 20,382          | 6,351                    |
| 370         | 370000     | 188         | 94         | 6,267            | 20,948          | 6,517                    |
| 380         | 380000     | 194         | 97         | 6,467            | 21,515          | 6,717                    |
| 390         | 390000     | 200         | 100        | 6,667            | 22,081          | 6,917                    |
| 400         | 400000     | 205         | 102,5      | 6,833            | 22,647          | 7,084                    |
| 410         | 410000     | 211         | 105,5      | 7,033            | 23,213          | 7,284                    |
| 420         | 420000     | 217         | 108,5      | 7,233            | 23,779          | 7,484                    |
| 430         | 430000     | 223         | 111,5      | 7,433            | 24,345          | 7,684                    |
| 440         | 440000     | 229         | 114,5      | 7,633            | 24,912          | 7,884                    |
| 450         | 450000     | 236         | 118        | 7,867            | 25,478          | 8,117                    |
| 460         | 460000     | 243         | 121,5      | 8,100            | 26,044          | 8,351                    |
| 470         | 470000     | 250         | 125        | 8,333            | 26,610          | 8,584                    |
| 480         | 480000     | 257         | 128,5      | 8,567            | 27,176          | 8,817                    |
| 490         | 490000     | 264         | 132        | 8,800            | 27,742          | 9,051                    |

|      |         |     |       |        |        |        |
|------|---------|-----|-------|--------|--------|--------|
| 500  | 500000  | 272 | 136   | 9,067  | 28,309 | 9,317  |
| 510  | 510000  | 280 | 140   | 9,333  | 28,875 | 9,584  |
| 520  | 520000  | 287 | 143,5 | 9,567  | 29,441 | 9,817  |
| 530  | 530000  | 294 | 147   | 9,800  | 30,007 | 10,051 |
| 540  | 540000  | 301 | 150,5 | 10,033 | 30,573 | 10,284 |
| 550  | 550000  | 308 | 154   | 10,267 | 31,139 | 10,517 |
| 560  | 560000  | 315 | 157,5 | 10,500 | 31,706 | 10,751 |
| 570  | 570000  | 324 | 162   | 10,800 | 32,272 | 11,051 |
| 580  | 580000  | 331 | 165,5 | 11,033 | 32,838 | 11,284 |
| 590  | 590000  | 337 | 168,5 | 11,233 | 33,404 | 11,484 |
| 600  | 600000  | 344 | 172   | 11,467 | 33,970 | 11,717 |
| 610  | 610000  | 350 | 175   | 11,667 | 34,536 | 11,917 |
| 620  | 620000  | 358 | 179   | 11,933 | 35,103 | 12,184 |
| 630  | 630000  | 365 | 182,5 | 12,167 | 35,669 | 12,417 |
| 640  | 640000  | 372 | 186   | 12,400 | 36,235 | 12,651 |
| 650  | 650000  | 380 | 190   | 12,667 | 36,801 | 12,917 |
| 660  | 660000  | 387 | 193,5 | 12,900 | 37,367 | 13,151 |
| 670  | 670000  | 397 | 198,5 | 13,233 | 37,933 | 13,484 |
| 680  | 680000  | 403 | 201,5 | 13,433 | 38,500 | 13,684 |
| 690  | 690000  | 411 | 205,5 | 13,700 | 39,066 | 13,951 |
| 700  | 700000  | 420 | 210   | 14,000 | 39,632 | 14,251 |
| 710  | 710000  | 429 | 214,5 | 14,300 | 40,198 | 14,551 |
| 720  | 720000  | 436 | 218   | 14,533 | 40,764 | 14,784 |
| 730  | 730000  | 443 | 221,5 | 14,767 | 41,331 | 15,017 |
| 740  | 740000  | 450 | 225   | 15,000 | 41,897 | 15,251 |
| 750  | 750000  | 458 | 229   | 15,267 | 42,463 | 15,517 |
| 760  | 760000  | 466 | 233   | 15,533 | 43,029 | 15,784 |
| 770  | 770000  | 474 | 237   | 15,800 | 43,595 | 16,051 |
| 780  | 780000  | 482 | 241   | 16,067 | 44,161 | 16,317 |
| 790  | 790000  | 491 | 245,5 | 16,367 | 44,728 | 16,617 |
| 800  | 800000  | 499 | 249,5 | 16,633 | 45,294 | 16,884 |
| 810  | 810000  | 509 | 254,5 | 16,967 | 45,860 | 17,217 |
| 820  | 820000  | 517 | 258,5 | 17,233 | 46,426 | 17,484 |
| 830  | 830000  | 527 | 263,5 | 17,567 | 46,992 | 17,817 |
| 840  | 840000  | 535 | 267,5 | 17,833 | 47,558 | 18,084 |
| 850  | 850000  | 545 | 272,5 | 18,167 | 48,125 | 18,417 |
| 860  | 860000  | 559 | 279,5 | 18,633 | 48,691 | 18,884 |
| 870  | 870000  | 565 | 282,5 | 18,833 | 49,257 | 19,084 |
| 880  | 880000  | 574 | 287   | 19,133 | 49,823 | 19,384 |
| 890  | 890000  | 585 | 292,5 | 19,500 | 50,389 | 19,751 |
| 900  | 900000  | 599 | 299,5 | 19,967 | 50,955 | 20,217 |
| 910  | 910000  | 603 | 301,5 | 20,100 | 51,522 | 20,351 |
| 920  | 920000  | 612 | 306   | 20,400 | 52,088 | 20,651 |
| 930  | 930000  | 625 | 312,5 | 20,833 | 52,654 | 21,084 |
| 940  | 940000  | 634 | 317   | 21,133 | 53,220 | 21,384 |
| 950  | 950000  | 646 | 323   | 21,533 | 53,786 | 21,784 |
| 960  | 960000  | 653 | 326,5 | 21,767 | 54,352 | 22,017 |
| 970  | 970000  | 661 | 330,5 | 22,033 | 54,919 | 22,284 |
| 980  | 980000  | 673 | 336,5 | 22,433 | 55,485 | 22,684 |
| 990  | 990000  | 696 | 348   | 23,200 | 56,051 | 23,451 |
| 1000 | 1000000 | 690 | 345   | 23,000 | 56,617 | 23,251 |
| 1010 | 1010000 | 686 | 343   | 22,867 | 57,183 | 23,117 |
| 1020 | 1020000 | 686 | 343   | 22,867 | 57,749 | 23,117 |
| 1030 | 1030000 | 690 | 345   | 23,000 | 58,316 | 23,251 |
| 1040 | 1040000 | 584 | 292   | 19,467 | 58,882 | 19,717 |
| 1050 | 1050000 | 576 | 288   | 19,200 | 59,448 | 19,451 |
| 1060 | 1060000 | 73  | 36,5  | 2,433  | 60,014 | 2,684  |
| 1070 | 1070000 | 73  | 36,5  | 2,433  | 60,580 | 2,684  |

D 15  
h 30  
w 13,1  
A 176,625

15%

| BEBAN | BEBAN  | DIAL | $\Delta L$ | REG       | TEGANGAN | REG KOREKSI |
|-------|--------|------|------------|-----------|----------|-------------|
| KN    | N      | 15%  |            | $10^{-4}$ | MPa      | $10^{-4}$   |
| 0     | 0      | 0    | 0          | 0         | 0        | 0           |
| 10    | 10000  | 4    | 2          | 0,133     | 0,566    | -0,068      |
| 20    | 20000  | 9    | 4,5        | 0,300     | 1,132    | 0,099       |
| 30    | 30000  | 14   | 7          | 0,467     | 1,699    | 0,266       |
| 40    | 40000  | 45   | 22,5       | 1,500     | 2,265    | 1,299       |
| 50    | 50000  | 25   | 12,5       | 0,833     | 2,831    | 0,632       |
| 60    | 60000  | 31   | 15,5       | 1,033     | 3,397    | 0,832       |
| 70    | 70000  | 35   | 17,5       | 1,167     | 3,963    | 0,966       |
| 80    | 80000  | 42   | 21         | 1,400     | 4,529    | 1,199       |
| 90    | 90000  | 47   | 23,5       | 1,567     | 5,096    | 1,366       |
| 100   | 100000 | 52   | 26         | 1,733     | 5,662    | 1,532       |
| 110   | 110000 | 58   | 29         | 1,933     | 6,228    | 1,732       |
| 120   | 120000 | 65   | 32,5       | 2,167     | 6,794    | 1,966       |
| 130   | 130000 | 71   | 35,5       | 2,367     | 7,360    | 2,166       |
| 140   | 140000 | 78   | 39         | 2,600     | 7,926    | 2,399       |
| 150   | 150000 | 85   | 42,5       | 2,833     | 8,493    | 2,632       |
| 160   | 160000 | 91   | 45,5       | 3,033     | 9,059    | 2,832       |
| 170   | 170000 | 96   | 48         | 3,200     | 9,625    | 2,999       |
| 180   | 180000 | 101  | 50,5       | 3,367     | 10,191   | 3,166       |
| 190   | 190000 | 103  | 51,5       | 3,433     | 10,757   | 3,232       |
| 200   | 200000 | 113  | 56,5       | 3,767     | 11,323   | 3,566       |
| 210   | 210000 | 120  | 60         | 4,000     | 11,890   | 3,799       |
| 220   | 220000 | 126  | 63         | 4,200     | 12,456   | 3,999       |
| 230   | 230000 | 133  | 66,5       | 4,433     | 13,022   | 4,232       |
| 240   | 240000 | 139  | 69,5       | 4,633     | 13,588   | 4,432       |
| 250   | 250000 | 145  | 72,5       | 4,833     | 14,154   | 4,632       |
| 260   | 260000 | 153  | 76,5       | 5,100     | 14,720   | 4,899       |
| 270   | 270000 | 159  | 79,5       | 5,300     | 15,287   | 5,099       |
| 280   | 280000 | 165  | 82,5       | 5,500     | 15,853   | 5,299       |
| 290   | 290000 | 172  | 86         | 5,733     | 16,419   | 5,532       |
| 300   | 300000 | 178  | 89         | 5,933     | 16,985   | 5,732       |
| 310   | 310000 | 185  | 92,5       | 6,167     | 17,551   | 5,956       |
| 320   | 320000 | 192  | 96         | 6,400     | 18,117   | 6,199       |
| 330   | 330000 | 200  | 100        | 6,667     | 18,684   | 6,466       |
| 340   | 340000 | 207  | 103,5      | 6,900     | 19,250   | 6,699       |
| 350   | 350000 | 214  | 107        | 7,133     | 19,816   | 6,932       |
| 360   | 360000 | 221  | 110,5      | 7,367     | 20,382   | 7,166       |
| 370   | 370000 | 225  | 112,5      | 7,500     | 20,948   | 7,299       |
| 380   | 380000 | 233  | 116,5      | 7,767     | 21,515   | 7,566       |
| 390   | 390000 | 238  | 119        | 7,933     | 22,081   | 7,732       |
| 400   | 400000 | 245  | 122,5      | 8,167     | 22,647   | 7,966       |
| 410   | 410000 | 210  | 105        | 7,000     | 23,213   | 6,799       |
| 420   | 420000 | 215  | 107,5      | 7,167     | 23,779   | 6,966       |
| 430   | 430000 | 220  | 110        | 7,333     | 24,345   | 7,132       |
| 440   | 440000 | 227  | 113,5      | 7,567     | 24,912   | 7,366       |
| 450   | 450000 | 232  | 116        | 7,733     | 25,478   | 7,532       |
| 460   | 460000 | 240  | 120        | 8,000     | 26,044   | 7,799       |

|     |        |     |       |        |        |        |
|-----|--------|-----|-------|--------|--------|--------|
| 470 | 470000 | 246 | 123   | 8,200  | 26,610 | 7,999  |
| 480 | 480000 | 254 | 127   | 8,467  | 27,176 | 8,266  |
| 490 | 490000 | 263 | 131,5 | 8,767  | 27,742 | 8,566  |
| 500 | 500000 | 272 | 136   | 9,067  | 28,309 | 8,866  |
| 510 | 510000 | 280 | 140   | 9,333  | 28,875 | 9,132  |
| 520 | 520000 | 291 | 145,5 | 9,700  | 29,441 | 9,499  |
| 530 | 530000 | 298 | 149   | 9,933  | 30,007 | 9,732  |
| 540 | 540000 | 307 | 153,5 | 10,233 | 30,573 | 10,032 |
| 550 | 550000 | 317 | 158,5 | 10,567 | 31,139 | 10,366 |
| 560 | 560000 | 325 | 162,5 | 10,833 | 31,706 | 10,632 |
| 570 | 570000 | 337 | 168,5 | 11,233 | 32,272 | 11,032 |
| 580 | 580000 | 346 | 173   | 11,533 | 32,838 | 11,332 |
| 590 | 590000 | 357 | 178,5 | 11,900 | 33,404 | 11,639 |
| 600 | 600000 | 368 | 184   | 12,267 | 33,970 | 12,066 |
| 610 | 610000 | 379 | 189,5 | 12,633 | 34,536 | 12,432 |
| 620 | 620000 | 400 | 200   | 13,333 | 35,103 | 13,132 |
| 630 | 630000 | 411 | 205,5 | 13,700 | 35,669 | 13,499 |
| 640 | 640000 | 422 | 211   | 14,067 | 36,235 | 13,866 |
| 650 | 650000 | 431 | 215,5 | 14,367 | 36,801 | 14,166 |
| 660 | 660000 | 443 | 221,5 | 14,767 | 37,367 | 14,566 |
| 670 | 670000 | 454 | 227   | 15,133 | 37,933 | 14,932 |
| 680 | 680000 | 464 | 232   | 15,467 | 38,500 | 15,266 |
| 690 | 690000 | 475 | 237,5 | 15,833 | 39,066 | 15,632 |
| 700 | 700000 | 485 | 242,5 | 16,167 | 39,632 | 15,966 |
| 710 | 710000 | 496 | 248   | 16,533 | 40,198 | 16,332 |
| 720 | 720000 | 467 | 233,5 | 15,567 | 40,764 | 15,366 |
| 730 | 730000 | 477 | 238,5 | 15,900 | 41,331 | 15,699 |
| 740 | 740000 | 486 | 243   | 16,200 | 41,897 | 15,999 |
| 750 | 750000 | 499 | 249,5 | 16,633 | 42,463 | 16,432 |
| 760 | 760000 | 509 | 254,5 | 16,967 | 43,029 | 16,766 |
| 770 | 770000 | 511 | 255,5 | 17,033 | 43,595 | 16,832 |
| 780 | 780000 | 514 | 257   | 17,133 | 44,161 | 16,932 |
| 790 | 790000 | 503 | 251,5 | 16,767 | 44,728 | 16,566 |
| 770 | 770000 | 491 | 245,5 | 16,367 | 43,595 | 16,166 |
| 760 | 760000 | 488 | 244   | 16,267 | 43,029 | 16,066 |
| 750 | 750000 | 482 | 241   | 16,067 | 42,463 | 15,866 |

D 14,7  
h 30,1  
w 13,3  
A 169,6307

**20%**

| BEBAN | BEBAN  | DIAL | $\Delta L$ | REG       | TEGANGAN | REG KOREKSI |
|-------|--------|------|------------|-----------|----------|-------------|
| KN    | N      | 20%  |            | $10^{-4}$ | MPa      | $10^{-4}$   |
| 0     | 0      | 0    | 0          | 0         | 0        | 0           |
| 10    | 10000  | 4    | 2          | 0,133     | 0,590    | 0,127       |
| 20    | 20000  | 8    | 4          | 0,267     | 1,179    | 0,260       |
| 30    | 30000  | 11   | 5,5        | 0,367     | 1,769    | 0,360       |
| 40    | 40000  | 13   | 6,5        | 0,433     | 2,358    | 0,427       |
| 50    | 50000  | 16   | 8          | 0,533     | 2,948    | 0,527       |
| 60    | 60000  | 21   | 10,5       | 0,700     | 3,537    | 0,694       |
| 70    | 70000  | 25   | 12,5       | 0,833     | 4,127    | 0,827       |
| 80    | 80000  | 27   | 13,5       | 0,900     | 4,716    | 0,894       |
| 90    | 90000  | 30   | 15         | 1,000     | 5,306    | 0,994       |
| 100   | 100000 | 33   | 16,5       | 1,100     | 5,895    | 1,094       |
| 110   | 110000 | 38   | 19         | 1,267     | 6,485    | 1,260       |
| 120   | 120000 | 42   | 21         | 1,400     | 7,074    | 1,394       |
| 130   | 130000 | 46   | 23         | 1,533     | 7,664    | 1,527       |
| 140   | 140000 | 48   | 24         | 1,600     | 8,253    | 1,594       |
| 150   | 150000 | 52   | 26         | 1,733     | 8,843    | 1,727       |
| 160   | 160000 | 56   | 28         | 1,867     | 9,432    | 1,860       |
| 170   | 170000 | 60   | 30         | 2,000     | 10,022   | 1,994       |
| 180   | 180000 | 64   | 32         | 2,133     | 10,611   | 2,127       |
| 190   | 190000 | 68   | 34         | 2,267     | 11,201   | 2,260       |
| 200   | 200000 | 72   | 36         | 2,400     | 11,790   | 2,394       |
| 210   | 210000 | 76   | 38         | 2,533     | 12,380   | 2,527       |
| 220   | 220000 | 79   | 39,5       | 2,633     | 12,969   | 2,627       |
| 230   | 230000 | 84   | 42         | 2,800     | 13,559   | 2,794       |
| 240   | 240000 | 87   | 43,5       | 2,900     | 14,148   | 2,894       |
| 250   | 250000 | 92   | 46         | 3,067     | 14,738   | 3,060       |
| 260   | 260000 | 96   | 48         | 3,200     | 15,327   | 3,194       |
| 270   | 270000 | 100  | 50         | 3,333     | 15,917   | 3,327       |
| 280   | 280000 | 105  | 52,5       | 3,500     | 16,506   | 3,494       |
| 290   | 290000 | 108  | 54         | 3,600     | 17,096   | 3,594       |
| 300   | 300000 | 113  | 56,5       | 3,767     | 17,685   | 3,760       |
| 310   | 310000 | 118  | 59         | 3,933     | 18,275   | 3,927       |
| 320   | 320000 | 121  | 60,5       | 4,033     | 18,865   | 4,027       |
| 330   | 330000 | 126  | 63         | 4,200     | 19,454   | 4,194       |
| 340   | 340000 | 130  | 65         | 4,333     | 20,044   | 4,327       |
| 350   | 350000 | 134  | 67         | 4,467     | 20,633   | 4,460       |
| 360   | 360000 | 138  | 69         | 4,600     | 21,223   | 4,594       |
| 370   | 370000 | 142  | 71         | 4,733     | 21,812   | 4,727       |
| 380   | 380000 | 148  | 74         | 4,933     | 22,402   | 4,927       |
| 390   | 390000 | 154  | 77         | 5,133     | 22,991   | 5,127       |
| 400   | 400000 | 157  | 78,5       | 5,233     | 23,581   | 5,227       |
| 410   | 410000 | 161  | 80,5       | 5,367     | 24,170   | 5,360       |
| 420   | 420000 | 165  | 82,5       | 5,500     | 24,760   | 5,494       |
| 430   | 430000 | 170  | 85         | 5,667     | 25,349   | 5,660       |
| 440   | 440000 | 175  | 87,5       | 5,833     | 25,939   | 5,827       |
| 450   | 450000 | 180  | 90         | 6,000     | 26,528   | 5,994       |
| 460   | 460000 | 185  | 92,5       | 6,167     | 27,118   | 6,160       |
| 470   | 470000 | 190  | 95         | 6,333     | 27,707   | 6,327       |
| 480   | 480000 | 196  | 98         | 6,533     | 28,297   | 6,527       |
| 490   | 490000 | 201  | 100,5      | 6,700     | 28,886   | 6,694       |
| 500   | 500000 | 206  | 103        | 6,867     | 29,476   | 6,860       |

|     |        |     |       |        |        |        |
|-----|--------|-----|-------|--------|--------|--------|
| 510 | 510000 | 211 | 105,5 | 7,033  | 30,065 | 7,027  |
| 520 | 520000 | 216 | 108   | 7,200  | 30,655 | 7,194  |
| 530 | 530000 | 222 | 111   | 7,400  | 31,244 | 7,394  |
| 540 | 540000 | 227 | 113,5 | 7,567  | 31,834 | 7,560  |
| 550 | 550000 | 232 | 116   | 7,733  | 32,423 | 7,727  |
| 560 | 560000 | 237 | 118,5 | 7,900  | 33,013 | 7,894  |
| 570 | 570000 | 242 | 121   | 8,067  | 33,602 | 8,060  |
| 580 | 580000 | 248 | 124   | 8,267  | 34,192 | 8,260  |
| 590 | 590000 | 254 | 127   | 8,467  | 34,781 | 8,460  |
| 600 | 600000 | 259 | 129,5 | 8,633  | 35,371 | 8,627  |
| 610 | 610000 | 265 | 132,5 | 8,833  | 35,960 | 8,827  |
| 620 | 620000 | 272 | 136   | 9,067  | 36,550 | 9,060  |
| 630 | 630000 | 276 | 138   | 9,200  | 37,140 | 9,194  |
| 640 | 640000 | 282 | 141   | 9,400  | 37,729 | 9,394  |
| 650 | 650000 | 288 | 144   | 9,600  | 38,319 | 9,594  |
| 660 | 660000 | 294 | 147   | 9,800  | 38,908 | 9,794  |
| 670 | 670000 | 301 | 150,5 | 10,033 | 39,498 | 10,027 |
| 680 | 680000 | 309 | 154,5 | 10,300 | 40,087 | 10,294 |
| 690 | 690000 | 316 | 158   | 10,533 | 40,677 | 10,527 |
| 700 | 700000 | 324 | 162   | 10,800 | 41,266 | 10,794 |
| 710 | 710000 | 331 | 165,5 | 11,033 | 41,856 | 11,027 |
| 720 | 720000 | 337 | 168,5 | 11,233 | 42,445 | 11,227 |
| 730 | 730000 | 342 | 171   | 11,400 | 43,035 | 11,394 |
| 740 | 740000 | 347 | 173,5 | 11,567 | 43,624 | 11,560 |
| 750 | 750000 | 353 | 176,5 | 11,767 | 44,214 | 11,760 |
| 760 | 760000 | 359 | 179,5 | 11,967 | 44,803 | 11,960 |
| 770 | 770000 | 365 | 182,5 | 12,167 | 45,393 | 12,160 |
| 780 | 780000 | 374 | 187   | 12,467 | 45,982 | 12,460 |
| 790 | 790000 | 381 | 190,5 | 12,700 | 46,572 | 12,694 |
| 800 | 800000 | 389 | 194,5 | 12,967 | 47,161 | 12,960 |
| 810 | 810000 | 397 | 198,5 | 13,233 | 47,751 | 13,227 |
| 820 | 820000 | 401 | 200,5 | 13,367 | 48,340 | 13,360 |
| 830 | 830000 | 407 | 203,5 | 13,567 | 48,930 | 13,560 |
| 840 | 840000 | 414 | 207   | 13,800 | 49,519 | 13,794 |
| 850 | 850000 | 423 | 211,5 | 14,100 | 50,109 | 14,094 |
| 860 | 860000 | 409 | 204,5 | 13,633 | 50,698 | 13,627 |
| 870 | 870000 | 416 | 208   | 13,867 | 51,288 | 13,860 |
| 880 | 880000 | 424 | 212   | 14,133 | 51,877 | 14,127 |
| 890 | 890000 | 433 | 216,5 | 14,433 | 52,467 | 14,427 |
| 900 | 900000 | 441 | 220,5 | 14,700 | 53,056 | 14,694 |
| 910 | 910000 | 449 | 224,5 | 14,967 | 53,646 | 14,960 |
| 920 | 920000 | 460 | 230   | 15,333 | 54,235 | 15,327 |
| 930 | 930000 | 466 | 233   | 15,533 | 54,825 | 15,527 |
| 940 | 940000 | 476 | 238   | 15,867 | 55,414 | 15,860 |
| 950 | 950000 | 486 | 243   | 16,200 | 56,004 | 16,194 |
| 960 | 960000 | 494 | 247   | 16,467 | 56,594 | 16,460 |
| 970 | 970000 | 503 | 251,5 | 16,767 | 57,183 | 16,760 |
| 979 | 979000 | 510 | 255   | 17,000 | 57,714 | 16,994 |
| 760 | 760000 | 582 | 291   | 19,400 | 44,803 | 19,394 |

D 15  
h 30  
w 13,2  
A 176,625

25%

| BEBAN | BEBAN  | DIAL | $\Delta L$ | REG       | TEGANGAN | REG KOREKSI |
|-------|--------|------|------------|-----------|----------|-------------|
| KN    | N      | 25%  |            | $10^{-4}$ | MPa      | $10^{-4}$   |
| 0     | 0      | 0    | 0          | 0         | 0        | 0           |
| 10    | 10000  | 5    | 2,5        | 0,167     | 0,566    | 0,313       |
| 20    | 20000  | 9    | 4,5        | 0,300     | 1,132    | 0,446       |
| 30    | 30000  | 14   | 7          | 0,467     | 1,699    | 0,613       |
| 40    | 40000  | 18   | 9          | 0,600     | 2,265    | 0,746       |
| 50    | 50000  | 23   | 11,5       | 0,767     | 2,831    | 0,913       |
| 60    | 60000  | 29   | 14,5       | 0,967     | 3,397    | 1,113       |
| 70    | 70000  | 34   | 17         | 1,133     | 3,963    | 1,280       |
| 80    | 80000  | 38   | 19         | 1,267     | 4,529    | 1,413       |
| 90    | 90000  | 44   | 22         | 1,467     | 5,096    | 1,613       |
| 100   | 100000 | 49   | 24,5       | 1,633     | 5,662    | 1,780       |
| 110   | 110000 | 53   | 26,5       | 1,767     | 6,228    | 1,913       |
| 120   | 120000 | 59   | 29,5       | 1,967     | 6,794    | 2,113       |
| 130   | 130000 | 64   | 32         | 2,133     | 7,360    | 2,280       |
| 140   | 140000 | 68   | 34         | 2,267     | 7,926    | 2,413       |
| 150   | 150000 | 73   | 36,5       | 2,433     | 8,493    | 2,580       |
| 160   | 160000 | 78   | 39         | 2,600     | 9,059    | 2,746       |
| 170   | 170000 | 84   | 42         | 2,800     | 9,625    | 2,946       |
| 180   | 180000 | 89   | 44,5       | 2,967     | 10,191   | 3,113       |
| 190   | 190000 | 94   | 47         | 3,133     | 10,757   | 3,280       |
| 200   | 200000 | 99   | 49,5       | 3,300     | 11,323   | 3,446       |
| 210   | 210000 | 105  | 52,5       | 3,500     | 11,890   | 3,646       |
| 220   | 220000 | 110  | 55         | 3,667     | 12,456   | 3,813       |
| 230   | 230000 | 115  | 57,5       | 3,833     | 13,022   | 3,980       |
| 240   | 240000 | 121  | 60,5       | 4,033     | 13,588   | 4,180       |
| 250   | 250000 | 127  | 63,5       | 4,233     | 14,154   | 4,380       |
| 260   | 260000 | 133  | 66,5       | 4,433     | 14,720   | 4,580       |
| 270   | 270000 | 138  | 69         | 4,600     | 15,287   | 4,746       |
| 280   | 280000 | 144  | 72         | 4,800     | 15,853   | 4,946       |
| 290   | 290000 | 149  | 74,5       | 4,967     | 16,419   | 5,113       |
| 300   | 300000 | 155  | 77,5       | 5,167     | 16,985   | 5,313       |
| 310   | 310000 | 160  | 80         | 5,333     | 17,551   | 5,480       |
| 320   | 320000 | 166  | 83         | 5,533     | 18,117   | 5,680       |
| 330   | 330000 | 172  | 86         | 5,733     | 18,684   | 5,880       |
| 340   | 340000 | 177  | 88,5       | 5,900     | 19,250   | 6,046       |
| 350   | 350000 | 183  | 91,5       | 6,100     | 19,816   | 6,246       |
| 360   | 360000 | 189  | 94,5       | 6,300     | 20,382   | 6,446       |
| 370   | 370000 | 195  | 97,5       | 6,500     | 20,948   | 6,646       |
| 380   | 380000 | 201  | 100,5      | 6,700     | 21,515   | 6,846       |
| 390   | 390000 | 208  | 104        | 6,933     | 22,081   | 7,080       |
| 400   | 400000 | 214  | 107        | 7,133     | 22,647   | 7,280       |
| 410   | 410000 | 220  | 110        | 7,333     | 23,213   | 7,480       |
| 420   | 420000 | 226  | 113        | 7,533     | 23,779   | 7,680       |
| 430   | 430000 | 233  | 116,5      | 7,767     | 24,345   | 7,913       |
| 440   | 440000 | 240  | 120        | 8,000     | 24,912   | 8,146       |
| 450   | 450000 | 246  | 123        | 8,200     | 25,478   | 8,346       |
| 460   | 460000 | 253  | 126,5      | 8,433     | 26,044   | 8,580       |
| 470   | 470000 | 260  | 130        | 8,667     | 26,610   | 8,813       |
| 480   | 480000 | 267  | 133,5      | 8,900     | 27,176   | 9,046       |
| 490   | 490000 | 273  | 136,5      | 9,100     | 27,742   | 9,246       |

|     |        |     |       |        |        |        |
|-----|--------|-----|-------|--------|--------|--------|
| 500 | 500000 | 281 | 140,5 | 9,367  | 28,309 | 9,513  |
| 510 | 510000 | 287 | 143,5 | 9,567  | 28,875 | 9,713  |
| 520 | 520000 | 294 | 147   | 9,800  | 29,441 | 9,946  |
| 530 | 530000 | 301 | 150,5 | 10,033 | 30,007 | 10,180 |
| 540 | 540000 | 308 | 154   | 10,267 | 30,573 | 10,413 |
| 550 | 550000 | 315 | 157,5 | 10,500 | 31,139 | 10,646 |
| 560 | 560000 | 323 | 161,5 | 10,767 | 31,706 | 10,913 |
| 570 | 570000 | 330 | 165   | 11,000 | 32,272 | 11,146 |
| 580 | 580000 | 337 | 168,5 | 11,233 | 32,838 | 11,380 |
| 590 | 590000 | 346 | 173   | 11,533 | 33,404 | 11,630 |
| 600 | 600000 | 354 | 177   | 11,800 | 33,970 | 11,946 |
| 610 | 610000 | 362 | 181   | 12,067 | 34,536 | 12,213 |
| 620 | 620000 | 369 | 184,5 | 12,300 | 35,103 | 12,446 |
| 630 | 630000 | 376 | 188   | 12,533 | 35,669 | 12,680 |
| 640 | 640000 | 383 | 191,5 | 12,767 | 36,235 | 12,913 |
| 650 | 650000 | 390 | 195   | 13,000 | 36,801 | 13,146 |
| 660 | 660000 | 399 | 199,5 | 13,300 | 37,367 | 13,446 |
| 670 | 670000 | 406 | 203   | 13,533 | 37,933 | 13,680 |
| 680 | 680000 | 414 | 207   | 13,800 | 38,500 | 13,946 |
| 690 | 690000 | 422 | 211   | 14,067 | 39,066 | 14,213 |
| 700 | 700000 | 431 | 215,5 | 14,367 | 39,632 | 14,513 |
| 710 | 710000 | 440 | 220   | 14,667 | 40,198 | 14,813 |
| 720 | 720000 | 447 | 223,5 | 14,900 | 40,764 | 15,046 |
| 730 | 730000 | 455 | 227,5 | 15,167 | 41,331 | 15,313 |
| 740 | 740000 | 462 | 231   | 15,400 | 41,897 | 15,546 |
| 750 | 750000 | 470 | 235   | 15,667 | 42,463 | 15,813 |
| 760 | 760000 | 470 | 235   | 15,667 | 43,029 | 15,813 |
| 770 | 770000 | 486 | 243   | 16,200 | 43,595 | 16,346 |
| 780 | 780000 | 492 | 246   | 16,400 | 44,161 | 16,546 |
| 790 | 790000 | 504 | 252   | 16,800 | 44,728 | 16,946 |
| 800 | 800000 | 512 | 256   | 17,067 | 45,294 | 17,213 |
| 810 | 810000 | 518 | 259   | 17,267 | 45,860 | 17,413 |
| 820 | 820000 | 526 | 263   | 17,533 | 46,426 | 17,680 |
| 830 | 830000 | 534 | 267   | 17,800 | 46,992 | 17,946 |
| 840 | 840000 | 541 | 270,5 | 18,033 | 47,558 | 18,180 |
| 850 | 850000 | 550 | 275   | 18,333 | 48,125 | 18,480 |
| 860 | 860000 | 557 | 278,5 | 18,567 | 48,691 | 18,713 |
| 870 | 870000 | 565 | 282,5 | 18,833 | 49,257 | 18,980 |
| 880 | 880000 | 571 | 285,5 | 19,033 | 49,823 | 19,180 |
| 890 | 890000 | 580 | 290   | 19,333 | 50,389 | 19,480 |
| 900 | 900000 | 588 | 294   | 19,600 | 50,955 | 19,746 |
| 910 | 910000 | 598 | 299   | 19,933 | 51,522 | 20,080 |
| 920 | 920000 | 606 | 303   | 20,200 | 52,088 | 20,346 |
| 930 | 930000 | 614 | 307   | 20,467 | 52,654 | 20,513 |
| 940 | 940000 | 612 | 306   | 20,400 | 53,220 | 20,546 |
| 950 | 950000 | 682 | 341   | 22,733 | 53,786 | 22,380 |
| 960 | 960000 | 627 | 313,5 | 20,900 | 54,352 | 21,046 |
| 970 | 970000 | 602 | 301   | 20,067 | 54,919 | 20,213 |

D 14,8  
h 30  
w 13,3  
A 171,9464

30%

| BEBAN | BEBAN  | DIAL | $\Delta L$ | REG       | TEGANGAN | REG TERKOREKSI |
|-------|--------|------|------------|-----------|----------|----------------|
| KN    | N      | 30%  |            | $10^{-4}$ | MPa      | $10^{-4}$      |
| 0     | 0      | 0    | 0          | 0         | 0        | 0              |
| 10    | 10000  | 3    | 1,5        | 0,1000    | 0,5816   | 0,1971         |
| 20    | 20000  | 6    | 3          | 0,2000    | 1,1632   | 0,2971         |
| 30    | 30000  | 11   | 5,5        | 0,3667    | 1,7447   | 0,4538         |
| 40    | 40000  | 15   | 7,5        | 0,5000    | 2,3263   | 0,5971         |
| 50    | 50000  | 19   | 9,5        | 0,6333    | 2,9079   | 0,7304         |
| 60    | 60000  | 24   | 12         | 0,8000    | 3,4895   | 0,8971         |
| 70    | 70000  | 28   | 14         | 0,9333    | 4,0710   | 1,0304         |
| 80    | 80000  | 32   | 16         | 1,0667    | 4,6526   | 1,1638         |
| 90    | 90000  | 36   | 18         | 1,2000    | 5,2342   | 1,2971         |
| 100   | 100000 | 40   | 20         | 1,3333    | 5,8158   | 1,4304         |
| 110   | 110000 | 45   | 22,5       | 1,5000    | 6,3973   | 1,5971         |
| 120   | 120000 | 49   | 24,5       | 1,6333    | 6,9789   | 1,7304         |
| 130   | 130000 | 53   | 26,5       | 1,7667    | 7,5605   | 1,8638         |
| 140   | 140000 | 57   | 28,5       | 1,9000    | 8,1421   | 1,9971         |
| 150   | 150000 | 64   | 32         | 2,1333    | 8,7236   | 2,2304         |
| 160   | 160000 | 66   | 33         | 2,2000    | 9,3052   | 2,2971         |
| 170   | 170000 | 70   | 35         | 2,3333    | 9,8868   | 2,4304         |
| 180   | 180000 | 73   | 36,5       | 2,4333    | 10,4684  | 2,5304         |
| 190   | 190000 | 78   | 39         | 2,6000    | 11,0500  | 2,6971         |
| 200   | 200000 | 82   | 41         | 2,7333    | 11,6315  | 2,8304         |
| 210   | 210000 | 87   | 43,5       | 2,9000    | 12,2131  | 2,9971         |
| 220   | 220000 | 90   | 45         | 3,0000    | 12,7947  | 3,0971         |
| 230   | 230000 | 95   | 47,5       | 3,1667    | 13,3763  | 3,2638         |
| 240   | 240000 | 99   | 49,5       | 3,3000    | 13,9578  | 3,3971         |
| 250   | 250000 | 104  | 52         | 3,4667    | 14,5394  | 3,5638         |
| 260   | 260000 | 108  | 54         | 3,6000    | 15,1210  | 3,6971         |
| 270   | 270000 | 114  | 57         | 3,8000    | 15,7026  | 3,8971         |
| 280   | 280000 | 119  | 59,5       | 3,9667    | 16,2841  | 4,0638         |
| 290   | 290000 | 124  | 62         | 4,1333    | 16,8657  | 4,2304         |
| 300   | 300000 | 129  | 64,5       | 4,3000    | 17,4473  | 4,3971         |
| 310   | 310000 | 135  | 67,5       | 4,5000    | 18,0289  | 4,5971         |
| 320   | 320000 | 137  | 68,5       | 4,5667    | 18,6105  | 4,6638         |
| 330   | 330000 | 140  | 70         | 4,6667    | 19,1920  | 4,7638         |
| 340   | 340000 | 145  | 72,5       | 4,8333    | 19,7736  | 4,9304         |
| 350   | 350000 | 151  | 75,5       | 5,0333    | 20,3552  | 5,1304         |
| 360   | 360000 | 156  | 78         | 5,2000    | 20,9368  | 5,2971         |
| 370   | 370000 | 161  | 80,5       | 5,3667    | 21,5183  | 5,4638         |
| 380   | 380000 | 167  | 83,5       | 5,5667    | 22,0999  | 5,6638         |
| 390   | 390000 | 173  | 86,5       | 5,7667    | 22,6815  | 5,8638         |
| 400   | 400000 | 180  | 90         | 6,0000    | 23,2631  | 6,0971         |
| 410   | 410000 | 186  | 93         | 6,2000    | 23,8446  | 6,2971         |
| 420   | 420000 | 192  | 96         | 6,4000    | 24,4262  | 6,4971         |
| 430   | 430000 | 198  | 99         | 6,6000    | 25,0078  | 6,6971         |
| 440   | 440000 | 204  | 102        | 6,8000    | 25,5894  | 6,8971         |
| 450   | 450000 | 210  | 105        | 7,0000    | 26,1709  | 7,0971         |
| 460   | 460000 | 215  | 107,5      | 7,1667    | 26,7525  | 7,2638         |
| 470   | 470000 | 221  | 110,5      | 7,3667    | 27,3341  | 7,4638         |
| 480   | 480000 | 228  | 114        | 7,6000    | 27,9157  | 7,6971         |
| 490   | 490000 | 235  | 117,5      | 7,8333    | 28,4973  | 7,9304         |
| 500   | 500000 | 241  | 120,5      | 8,0333    | 29,0788  | 8,1304         |

|     |        |     |       |         |         |         |
|-----|--------|-----|-------|---------|---------|---------|
| 510 | 510000 | 247 | 123,5 | 8,2333  | 29,6604 | 8,3304  |
| 520 | 520000 | 254 | 127   | 8,4667  | 30,2420 | 8,5638  |
| 530 | 530000 | 260 | 130   | 8,6667  | 30,8236 | 8,7638  |
| 540 | 540000 | 264 | 132   | 8,8000  | 31,4051 | 8,8971  |
| 550 | 550000 | 270 | 135   | 9,0000  | 31,9867 | 9,0971  |
| 560 | 560000 | 277 | 138,5 | 9,2333  | 32,5683 | 9,3304  |
| 570 | 570000 | 285 | 142,5 | 9,5000  | 33,1499 | 9,5971  |
| 580 | 580000 | 292 | 146   | 9,7333  | 33,7314 | 9,8304  |
| 590 | 590000 | 299 | 149,5 | 9,9667  | 34,3130 | 10,0638 |
| 600 | 600000 | 305 | 152,5 | 10,1667 | 34,8946 | 10,2638 |
| 610 | 610000 | 312 | 156   | 10,4000 | 35,4762 | 10,4971 |
| 620 | 620000 | 319 | 159,5 | 10,6333 | 36,0577 | 10,7304 |
| 630 | 630000 | 325 | 162,5 | 10,8333 | 36,6393 | 10,9304 |
| 640 | 640000 | 334 | 167   | 11,1333 | 37,2209 | 11,2304 |
| 650 | 650000 | 344 | 172   | 11,4667 | 37,8025 | 11,5638 |
| 660 | 660000 | 352 | 176   | 11,7333 | 38,3841 | 11,8304 |
| 670 | 670000 | 360 | 180   | 12,0000 | 38,9656 | 12,0971 |
| 680 | 680000 | 368 | 184   | 12,2667 | 39,5472 | 12,3638 |
| 690 | 690000 | 376 | 188   | 12,5333 | 40,1288 | 12,6304 |
| 700 | 700000 | 383 | 191,5 | 12,7667 | 40,7104 | 12,8638 |
| 710 | 710000 | 392 | 196   | 13,0667 | 41,2919 | 13,1638 |
| 720 | 720000 | 400 | 200   | 13,3333 | 41,8735 | 13,4304 |
| 730 | 730000 | 407 | 203,5 | 13,5667 | 42,4551 | 13,6638 |
| 740 | 740000 | 415 | 207,5 | 13,8333 | 43,0367 | 13,9304 |
| 750 | 750000 | 412 | 206   | 13,7333 | 43,6182 | 13,8304 |
| 760 | 760000 | 420 | 210   | 14,0000 | 44,1998 | 14,0971 |
| 770 | 770000 | 430 | 215   | 14,3333 | 44,7814 | 14,4304 |
| 780 | 780000 | 438 | 219   | 14,6000 | 45,3630 | 14,6971 |
| 790 | 790000 | 448 | 224   | 14,9333 | 45,9446 | 15,0304 |
| 800 | 800000 | 457 | 228,5 | 15,2333 | 46,5261 | 15,3304 |
| 810 | 810000 | 439 | 234,5 | 15,6333 | 47,1077 | 15,7304 |
| 820 | 820000 | 481 | 240,5 | 16,0333 | 47,6893 | 16,1304 |
| 830 | 830000 | 495 | 247,5 | 16,5000 | 48,2709 | 16,5971 |
| 840 | 840000 | 513 | 256,5 | 17,1000 | 48,8524 | 17,1971 |
| 850 | 850000 | 530 | 265   | 17,6667 | 49,4340 | 17,7638 |
| 860 | 860000 | 547 | 273,5 | 18,2333 | 50,0156 | 18,3304 |
| 870 | 870000 | 563 | 281,5 | 18,7667 | 50,5972 | 18,8638 |
| 880 | 880000 | 579 | 289,5 | 19,3000 | 51,1787 | 19,3971 |
| 890 | 890000 | 595 | 297,5 | 19,8333 | 51,7603 | 19,9304 |
| 900 | 900000 | 619 | 309,5 | 20,6333 | 52,3419 | 20,7304 |
| 910 | 910000 | 640 | 320   | 21,3333 | 52,9235 | 21,4304 |
| 920 | 920000 | 662 | 331   | 22,0667 | 53,5050 | 22,1638 |
| 930 | 930000 | 710 | 355   | 23,6667 | 54,0866 | 23,7638 |
| 940 | 940000 | 752 | 376   | 25,0667 | 54,6682 | 25,1638 |
| 930 | 930000 | 773 | 386,5 | 25,7667 | 54,0866 | 25,8638 |
| 920 | 920000 | 55  | 27,5  | 1,8333  | 53,5050 | 1,9304  |
| 910 | 910000 | 55  | 27,5  | 1,8333  | 52,9235 | 1,9304  |

# LAMPIRAN 5

---



# Berat Volume Umur 3 hari

0%

| Silinder | Diameter (m) | Tinggi (m) | Luas (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat (kg)          | Berat Volume     |
|----------|--------------|------------|------------------------|--------------------------|---------------------|------------------|
| 1        | 0,149        | 0,299      | 0,017427785            | 0,005210908              | 12,80               | 2,4564           |
| 2        | 0,151        | 0,301      | 0,017898785            | 0,005387534              | 12,80               | 2,3759           |
| 3        | 0,151        | 0,298      | 0,017898785            | 0,005333838              | 12,70               | 2,3810           |
|          |              |            |                        |                          | Jumlah<br>rata-rata | 7,2133<br>2,4044 |

5%

| Silinder | Diameter (m) | Tinggi (m) | Luas (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat (kg)          | Berat Volume     |
|----------|--------------|------------|------------------------|--------------------------|---------------------|------------------|
| 1        | 0,15         | 0,301      | 0,0176625              | 0,005315413              | 13,00               | 2,4453           |
| 2        | 0,151        | 0,3        | 0,017898785            | 0,005369636              | 12,90               | 2,4024           |
| 3        | 0,15         | 0,3        | 0,0176625              | 0,00529875               | 12,90               | 2,4345           |
|          |              |            |                        |                          | Jumlah<br>rata-rata | 7,2822<br>2,4274 |

10%

| Silinder | Diameter (m) | Tinggi (m) | Luas (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat (kg)          | Berat Volume     |
|----------|--------------|------------|------------------------|--------------------------|---------------------|------------------|
| 1        | 0,147        | 0,299      | 0,016963065            | 0,005071956              | 12,90               | 2,5434           |
| 2        | 0,148        | 0,3        | 0,01719464             | 0,005158392              | 13,00               | 2,5202           |
| 3        | 0,147        | 0,301      | 0,016963065            | 0,005105883              | 13,00               | 2,5461           |
|          |              |            |                        |                          | Jumlah<br>rata-rata | 7,6096<br>2,5365 |

### 15%

| Silinder | Diameter (m) | Tinggi (m) | Luas (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Berat Volume |
|----------|--------------|------------|------------------------|--------------------------|------------|--------------|
| 1        | 0,147        | 0,299      | 0,016963065            | 0,005071956              | 12,90      | 2,5434       |
| 2        | 0,147        | 0,3        | 0,016963065            | 0,00508892               | 12,90      | 2,5349       |
| 3        | 0,146        | 0,3        | 0,01673306             | 0,005019918              | 12,80      | 2,5498       |

Jumlah  
rata-rata  
7,6282  
2,5427

### 20%

| Silinder | Diameter (m) | Tinggi (m) | Luas (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Berat Volume |
|----------|--------------|------------|------------------------|--------------------------|------------|--------------|
| 1        | 0,148        | 0,3        | 0,01719464             | 0,005158392              | 12,80      | 2,4814       |
| 2        | 0,147        | 0,3        | 0,016963065            | 0,00508892               | 12,80      | 2,5153       |
| 3        | 0,147        | 0,299      | 0,016963065            | 0,005071956              | 12,80      | 2,5237       |

Jumlah  
rata-rata  
7,5203  
2,5068

### 25%

| Silinder | Diameter (m) | Tinggi (m) | Luas (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Berat Volume |
|----------|--------------|------------|------------------------|--------------------------|------------|--------------|
| 1        | 0,147        | 0,3        | 0,016963065            | 0,00508892               | 13,00      | 2,5546       |
| 2        | 0,148        | 0,299      | 0,01719464             | 0,005141197              | 12,90      | 2,5091       |
| 3        | 0,1512       | 0,2988     | 0,01794623             | 0,005362334              | 12,90      | 2,4057       |

Jumlah  
rata-rata  
7,4694  
2,4898

### 30%

| Silinder | Diameter (m) | Tinggi (m) | Luas (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Berat Volume |
|----------|--------------|------------|------------------------|--------------------------|------------|--------------|
| 1        | 0,1492       | 0,295      | 0,017474602            | 0,005155008              | 12,99      | 2,5199       |
| 2        | 0,15         | 0,298      | 0,0176625              | 0,005263425              | 13,12      | 2,4927       |
| 3        | 0,148        | 0,299      | 0,01719464             | 0,005141197              | 13,10      | 2,5480       |

Jumlah  
rata-rata  
7,5606  
2,5202

# Berat Volume Umur 7 hari

0%

| Silinder | Diameter (m) | Tinggi (m) | Luas (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Berat Volume |
|----------|--------------|------------|------------------------|--------------------------|------------|--------------|
| 1        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 12,90      | 2,4673       |
| 2        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 12,90      | 2,4591       |
| 3        | 0,15         | 0,29       | 0,02                   | 0,01                     | 12,75      | 2,4553       |

Jumlah  
rata-rata  
7,3818  
2,4606

5%

| Silinder | Diameter (m) | Tinggi (m) | Luas (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Berat Volume |
|----------|--------------|------------|------------------------|--------------------------|------------|--------------|
| 1        | 0,15         | 0,302      | 0,018                  | 0,005                    | 13,10      | 2,4227       |
| 2        | 0,15         | 0,299      | 0,017                  | 0,005                    | 12,90      | 2,4756       |
| 3        | 0,15         | 0,299      | 0,017                  | 0,005                    | 12,90      | 2,4756       |

Jumlah  
rata-rata  
7,3738  
2,4579

10%

| Silinder | Diameter (m) | Tinggi (m) | Luas (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Berat Volume |
|----------|--------------|------------|------------------------|--------------------------|------------|--------------|
| 1        | 0,15         | 0,295      | 0,018                  | 0,005                    | 12,80      | 2,4242       |
| 2        | 0,15         | 0,302      | 0,018                  | 0,005                    | 13,00      | 2,4372       |
| 3        | 0,15         | 0,297      | 0,018                  | 0,005                    | 12,90      | 2,3636       |

Jumlah  
rata-rata  
7,2250  
2,4083

15%

| Silinder | Diameter (m) | Tinggi (m) | Luas (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Berat Volume |
|----------|--------------|------------|------------------------|--------------------------|------------|--------------|
| 1        | 0,15         | 0,30       | 0,017                  | 0,005                    | 12,80      | 2,4679       |
| 2        | 0,15         | 0,30       | 0,017                  | 0,005                    | 12,71      | 2,5068       |
| 3        | 0,15         | 0,30       | 0,018                  | 0,005                    | 12,89      | 2,4408       |

Jumlah  
rata-rata  
7,4155  
2,4718

20%

| Silinder | Diameter (m) | Tinggi (m) | Luas (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Berat Volume |
|----------|--------------|------------|------------------------|--------------------------|------------|--------------|
| 1        | 0,15         | 0,30       | 0,017                  | 0,005                    | 13,30      | 2,5369       |
| 2        | 0,15         | 0,30       | 0,017                  | 0,005                    | 12,85      | 2,5344       |
| 3        | 0,15         | 0,30       | 0,017                  | 0,005                    | 12,85      | 2,4828       |

Jumlah  
rata-rata  
7,5541  
2,5180

25%

| Silinder | Diameter (m) | Tinggi (m) | Luas (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Berat Volume |
|----------|--------------|------------|------------------------|--------------------------|------------|--------------|
| 1        | 0,15         | 0,30       | 0,017                  | 0,005                    | 13,00      | 2,6168       |
| 2        | 0,15         | 0,30       | 0,017                  | 0,005                    | 13,20      | 2,5939       |
| 3        | 0,15         | 0,30       | 0,017                  | 0,005                    | 13,20      | 2,6295       |

Jumlah  
rata-rata  
7,8402  
2,6134

30%

| Silinder | Diameter (m) | Tinggi (m) | Luas (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Berat Volume |
|----------|--------------|------------|------------------------|--------------------------|------------|--------------|
| 1        | 0,15         | 0,30       | 0,017                  | 0,005                    | 13,10      | 2,6096       |
| 2        | 0,15         | 0,30       | 0,017                  | 0,005                    | 13,30      | 2,6135       |
| 3        | 0,15         | 0,30       | 0,017                  | 0,005                    | 13,20      | 2,6295       |

Jumlah  
rata-rata  
7,8527  
2,6176

# Berat Volume Umur 14 hari

0%

| Silinder | Diameter (m) | Tinggi (m) | Luas (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Berat Volume |
|----------|--------------|------------|------------------------|--------------------------|------------|--------------|
| 1        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 12,91      | 2,4283       |
| 2        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 12,90      | 2,5434       |
| 3        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,00      | 2,4782       |
|          |              |            |                        |                          | Jumlah     | 7,4499       |
|          |              |            |                        |                          | rata-rata  | 2,4833       |

5%

| Silinder | Diameter (m) | Tinggi (m) | Luas (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Berat Volume |
|----------|--------------|------------|------------------------|--------------------------|------------|--------------|
| 1        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,00      | 2,4534       |
| 2        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,00      | 2,5202       |
| 3        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,10      | 2,5396       |
|          |              |            |                        |                          | Jumlah     | 7,5131       |
|          |              |            |                        |                          | rata-rata  | 2,5044       |

10%

| Silinder | Diameter (m) | Tinggi (m) | Luas (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Berat Volume |
|----------|--------------|------------|------------------------|--------------------------|------------|--------------|
| 1        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 12,80      | 2,4980       |
| 2        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 12,89      | 2,4246       |
| 3        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 12,85      | 2,4746       |
|          |              |            |                        |                          | Jumlah     | 7,3972       |
|          |              |            |                        |                          | rata-rata  | 2,4657       |

15%

| Silinder | Diameter (m) | Tinggi (m) | Luas (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Berat Volume |
|----------|--------------|------------|------------------------|--------------------------|------------|--------------|
| 1        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 12,80      | 2,4157       |
| 2        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 12,90      | 2,4345       |
| 3        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 12,80      | 2,4237       |

Jumlah  
rata-rata  
7,2739  
2,4246

20%

| Silinder | Diameter (m) | Tinggi (m) | Luas (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Berat Volume |
|----------|--------------|------------|------------------------|--------------------------|------------|--------------|
| 1        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,00      | 2,5286       |
| 2        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 12,90      | 2,5008       |
| 3        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 12,90      | 2,5008       |

Jumlah  
rata-rata  
7,5302  
2,5101

25%

| Silinder | Diameter (m) | Tinggi (m) | Luas (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Berat Volume |
|----------|--------------|------------|------------------------|--------------------------|------------|--------------|
| 1        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 12,90      | 2,5091       |
| 2        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 12,90      | 2,5091       |
| 3        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,00      | 2,4534       |

Jumlah  
rata-rata  
7,4717  
2,4906

30%

| Silinder | Diameter (m) | Tinggi (m) | Luas (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Berat Volume |
|----------|--------------|------------|------------------------|--------------------------|------------|--------------|
| 1        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,10      | 2,4723       |
| 2        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,10      | 2,5056       |
| 3        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,00      | 2,4534       |

Jumlah  
rata-rata  
7,4313  
2,4771

# Berat Volume Umur 28 hari

0%

| Silinder  | Diameter (m) | Tinggi (m) | Luas (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Berat Volume |
|-----------|--------------|------------|------------------------|--------------------------|------------|--------------|
| 1         | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,00      | 2,5897       |
| 2         | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,10      | 2,5227       |
| 3         | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,00      | 2,4700       |
| 4         | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,00      | 2,5202       |
| 5         | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,00      | 2,5202       |
| Jumlah    |              |            |                        |                          | 12,6227    |              |
| rata-rata |              |            |                        |                          | 2,5245     |              |

5%

| Silinder  | Diameter (m) | Tinggi (m) | Luas (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Berat Volume |
|-----------|--------------|------------|------------------------|--------------------------|------------|--------------|
| 1         | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,00      | 2,5377       |
| 2         | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,20      | 2,5163       |
| 3         | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,10      | 2,5311       |
| 4         | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,10      | 2,5396       |
| 5         | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,00      | 2,5811       |
| Jumlah    |              |            |                        |                          | 12,7057    |              |
| rata-rata |              |            |                        |                          | 2,5411     |              |

10%

| Silinder  | Diameter (m) | Tinggi (m) | Luas (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Berat Volume |
|-----------|--------------|------------|------------------------|--------------------------|------------|--------------|
| 1         | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,00      | 2,5717       |
| 2         | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,10      | 2,5742       |
| 3         | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,00      | 2,5461       |
| 4         | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,00      | 2,5286       |
| 5         | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,00      | 2,4952       |
| Jumlah    |              |            |                        |                          | 12,7158    |              |
| rata-rata |              |            |                        |                          | 2,5432     |              |

15%

| Silinder  | Diameter (m) | Tinggi (m) | Luas (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Berat Volume |
|-----------|--------------|------------|------------------------|--------------------------|------------|--------------|
| 1         | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,20      | 2,4804       |
| 2         | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,15      | 2,4694       |
| 3         | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,20      | 2,4648       |
| 4         | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,30      | 2,5101       |
| 5         | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,20      | 2,5078       |
| Jumlah    |              |            |                        |                          | 12,4325    |              |
| rata-rata |              |            |                        |                          | 2,4665     |              |

20%

| Silinder | Diameter (m) | Tinggi (m) | Luas (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Berat Volume |
|----------|--------------|------------|------------------------|--------------------------|------------|--------------|
| 1        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,20      | 2,6295       |
| 2        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,20      | 2,5939       |
| 3        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,20      | 2,5247       |
| 4        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,20      | 2,5589       |
| 5        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,30      | 2,5869       |
|          |              |            |                        |                          | Jumlah     | 12,8940      |
|          |              |            |                        |                          | rata-rata  | 2,5788       |

25%

| Silinder | Diameter (m) | Tinggi (m) | Luas (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Berat Volume |
|----------|--------------|------------|------------------------|--------------------------|------------|--------------|
| 1        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,30      | 2,4226       |
| 2        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,20      | 2,4550       |
| 3        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,20      | 2,4746       |
| 4        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,10      | 2,4789       |
| 5        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,20      | 2,4934       |
|          |              |            |                        |                          | Jumlah     | 12,3245      |
|          |              |            |                        |                          | rata-rata  | 2,4649       |

30%

| Silinder | Diameter (m) | Tinggi (m) | Luas (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat (kg) | Berat Volume |
|----------|--------------|------------|------------------------|--------------------------|------------|--------------|
| 1        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,30      | 2,5100       |
| 2        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,20      | 2,5589       |
| 3        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,20      | 2,5761       |
| 4        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,30      | 2,5698       |
| 5        | 0,15         | 0,30       | 0,02                   | 0,01                     | 13,40      | 2,5630       |
|          |              |            |                        |                          | Jumlah     | 12,7778      |
|          |              |            |                        |                          | rata-rata  | 2,5556       |