

**PENGARUH VARIASI SUHU AIR PENGECORAN TERHADAP  
WAKTU IKAT AWAL DAN KUAT TEKAN MORTAR**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi  
sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**MAMIK WANTORO**

**NIM. 0410612012 - 61**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2007**

# **PENGARUH VARIASI SUHU AIR PENGECORAN TERHADAP WAKTU IKAT AWAL DAN KUAT TEKAN MORTAR**

## **SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**Mamik Wantoro**

**NIM. 0210612012 - 61**

**DOSEN PEMBIMBING:**

**Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS**  
**Nip. 130 928 855**

**Ir. Siti Nurlina, MT**  
**Nip. 131 879 036**

**PENGARUH VARIASI SUHU AIR PENGECORAN TERHADAP  
WAKTU IKAT AWAL DAN KUAT TEKAN MORTAR**

Disusun Oleh :

**Mamik Wantoro**

**NIM. 0210612012 – 61**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
tanggal 10 Agustus 2007

**DOSEN PENGUJI**

**Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS**  
Nip. 130 928 855

**Ir. Siti Nurlina, MT**  
Nip. 131 879 036

**Ir. Edhy Wahyuni, MT**  
Nip. 131 574 844



**Mengetahui**  
**Ketua Jurusan Teknik Sipil**

**Ir, As'ad Munawir, MT**  
Nip. 131 574 850



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya yang diberikan kepada penulis sehingga dapat menyusun dan menyelesaikan skripsi ini dengan judul "*Pengaruh Variasi Suhu Air Pengecoran Terhadap Waktu Ikut Awal dan Kuat Tekan Mortar*".

Skripsi ini disusun dengan maksud untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan skripsi ini, tidak terlepas dari bantuan baik moril maupun materiil, dorongan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tuaku dan adik-adikku, atas perhatian, dorongan, serta doa yang senantiasa diberikan kepada penulis.
2. Bapak As'ad Munawir, Ir. MT sebagai Ketua Jurusan Teknik Sipil.
3. Bapak Hendi B.P, ST. MT sebagai Sekretaris Jurusan Teknik Sipil.
4. Bapak Ir. Sugeng P. Budio, Msc, sebagai Ketua Kelompok Bidang Struktur .
5. Ibu Ir, Siti Nurlina, MT selaku Dosen Pembimbing atas kesabarannya memberikan bimbingan dan pengarahan kepada penulis.
6. Ibu Dr. Ir. Sri Murni Dewi MS selaku Dosen Pembimbing atas kesabarannya memberikan bimbingan dan pengarahan kepada penulis.
7. Ibu Edhi Wahjuni S, MT selaku Ka. Laboratorium Bahan Konstruksi..
8. Adekku "Lilik" yang selalu mendampingi, memberi semangat, dorongan, dan doa yang tiada henti.
9. Teman-teman atas dukungan, bantuan dan kekompakannya selama ini

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih ada kekurangan – kekurangan dalam penyusunanya. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Amin.

Malang, 5 November 2007

Penulis

## ABSTRAKSI

**Mamik Wantoro, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2006, Pengaruh Penggunaan Variasi Suhu Air Terhadap Kuat Waktu Ikut Awal dan Kuat Tekan Mortar, Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS dan Ir. Siti Nurlina, MT.**

Tujuan penyusunan skripsi ini adalah untuk mengetahui besarnya pengaruh suhu air pengecoran terhadap waktu ikat awal dan kuat tekan mortar. Bahan yang digunakan untuk pengaturan suhu air adalah gumpalan es yang dimasukkan kedalam air, sehingga suhu air yang digunakan untuk pengecoran dapat diatur sesuai dengan yang direncanakan. Selanjutnya air tersebut digunakan untuk pengecoran pembuatan benda uji mortar ukuran 5 x 5 x 5 cm.

Dalam penelitian ini prinsip kerja yang digunakan adalah membandingkan antara hasil uji waktu ikat awal dan kuat tekannya benda yang dibuat dengan suhu pengecoran air  $-2^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $5^{\circ}\text{C}$ ,  $10^{\circ}\text{C}$ ,  $15^{\circ}\text{C}$ ,  $20^{\circ}\text{C}$  dengan benda uji yang telah dibuat dengan suhu pengecoran  $22^{\circ}\text{C}$ . Hasil uji waktu ikat awal dan kuat tekan benda uji tersebut akan menunjukkan berapa prosentase penurunan atau peningkatan kuat tekan mortar yang telah dibuat.

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa dengan digunakannya suhu air pengecoran yang semakin dingin untuk pembuatan pasta semen akan didapatkan waktu ikat awal semakin lama. Dengan digunakan semakin dingin suhu air pengecoran yang dipakai tidak akan menghasilkan kuat tekan yang maksimum, tetapi kondisi suhu air pengecoran optimum ( $5 - 10^{\circ}\text{C}$ ) yang menghasilkan kekuatan tertinggi pada umur 28 hari. Dan kuat tekan mortar yang diperoleh bahwa suhu air pengecoran yang lebih dingin dapat meningkatkan kuat tekan mortar pada usia awal (7 dan 14 hari) dibandingkan dengan menggunakan suhu normal air pengecoran ( $22^{\circ}\text{C}$ ).

## DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN .....	
LEMBAR PENGESAHAN .....	
KATA PENGANTAR .....	i
ABSTRAKSI .....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Kegunaan Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Semen.....	4
2.1.1 Jenis Semen .....	6
2.1.2 Proses Pembuatan Semen .....	7
2.1.3 Panas Hidrasi Semen .....	8
2.1.4 Faktor Yang Mempengaruhi Waktu Ikut Semen .....	9
2.1.5 Peningkatan Kekuatan Semen Sesuai Dengan Umurnya .....	10
2.2 Air.....	11
2.2.1 Fungsi Air Dalam Campuran Mortar.....	12
2.2.2 Persyaratan Air .....	12
2.3 Agregat Halus .....	12
2.4 Suhu – Suhu Bahan.....	15
2.5 Kuat Tekan Kubus Mortar .....	15
2.6 Pengaruh Suhu Terhadap Kuat Tekan Mortar .....	16
2.7 Faktor Air – Semen.....	19
2.7.1 Kajian Tentang Faktor Air Semen.....	19





2.7.2 Faktor Air Semen Terhadap Kekuatan Tekan Mortar .....	20
2.8 Tingkat Pematatan .....	21
2.9 Umur Mortar .....	22
2.10 Waktu Perawatan .....	23
2.11 Analisis Statistik .....	24
2.12 Hipotesis Penelitian .....	27

### BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	28
3.2 Peralatan dan Bahan .....	28
3.3 Prosedur Kerja Penelitian .....	28
3.4 Metode Pembuatan Benda Uji .....	29
3.5 Rancangan Penelitian .....	31
3.6 Pengumpulan dan Pengambilan Data .....	32
3.7 Variabel Penelitian .....	32
3.8 Analisa Data .....	33
3.9 Diagram Alir Penelitian .....	34

### BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Bahan Yang Digunakan .....	35
4.1.1 Semen .....	35
4.1.2 Air .....	35
4.1.3 Agregat Halus .....	35
4.2 Pengujian Waktu Ikat Semen .....	36
4.3 Pengujian Kuat Tekan Mortar .....	43
4.4 Perawatan Mortar .....	46
4.5 Pengujian Hipotesis .....	47
4.6 Pembahasan .....	53
4.1.1 Pembahasan Pengaruh Variasi Suhu Air Terhadap Waktu Ikat Awal .....	53
4.6.2 Pembahasan Pengaruh Variasi Suhu Air Terhadap Kuat Tekan .....	53

Bab V Penutup

5.1 Kesimpulan .....	58
5.2 Saran .....	58

DAFTAR PUSTAKA .....

LAMPIRAN .....





## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel Bagian Utama Semen Portland.....	5
Tabel 2.2 Tabel Komposisi Kimia Semen Portland .....	5
Tabel 2.3 Tabel Jenis Semen Portland.....	6
Tabel 2.4 Tabel Panas Hidrasi Selepas 72 Jam .....	9
Tabel 2.5 Tabel Berat Jenis, Porositas, Angka Pori dan Kadar Air.....	13
Tabel 4.1 Tabel Hasil Penelitian Agregat Halus.....	35
Tabel 4.2 Tabel Konsistensi Normal Semen .....	36
Tabel 4.3 Tabel Waktu Ikat Awal Semen Dengan Suhu Air Pengecoran -2° C.....	37
Tabel 4.4 Tabel Waktu Ikat Awal Semen Dengan Suhu Air Pengecoran 0° C .....	37
Tabel 4.5 Tabel Waktu Ikat Awal Semen Dengan Suhu Air Pengecoran 5° C.....	38
Tabel 4.6 Tabel Waktu Ikat Awal Semen Dengan Suhu Air Pengecoran 10° C.....	38
Tabel 4.7 Tabel Waktu Ikat Awal Semen Dengan Suhu Air Pengecoran 15° C.....	39
Tabel 4.8 Tabel Waktu Ikat Awal Semen Dengan Suhu Air Pengecoran 22° C .....	39
Tabel 4.9 Tabel Berat Volume Benda Uji Dengan Suhu Air Pengecoran -2° C .....	40
Tabel 4.10 Tabel Berat Volume Benda Uji Dengan Suhu Air Pengecoran 10° C.....	40
Tabel 4.11 Tabel Berat Volume Benda Uji Dengan Suhu Air Pengecoran 5° C.....	41
Tabel 4.12 Tabel Berat Volume Benda Uji Dengan Suhu Air Pengecoran 10° C.....	41
Tabel 4.13 Tabel Berat Volume Benda Uji Dengan Suhu Air Pengecoran 15° C.....	42
Tabel 4.14 Tabel Berat Volume Benda Uji Dengan Suhu Air Pengecoran 22° C.....	42
Tabel 4.15 Tabel Kuat Tekan Benda Uji Dengan Suhu Air Pengecoran -2° C .....	43
Tabel 4.16 Tabel Kuat Tekan Benda Uji Dengan Suhu Air Pengecoran 0° C .....	43
Tabel 4.17 Tabel Kuat Tekan Benda Uji Dengan Suhu Air Pengecoran 5° C .....	44
Tabel 4.18 Tabel Kuat Tekan Benda Uji Dengan Suhu Air Pengecoran 10° C .....	44
Tabel 4.19 Tabel Kuat Tekan Benda Uji Dengan Suhu Air Pengecoran 15° C .....	45
Tabel 4.20 Tabel Kuat Tekan Benda Uji Dengan Suhu Air Pengecoran 22° C.....	45
Tabel 4.21 Tabel Tabel Data Uji T Test.....	47
Tabel 4.22 Tabel Output SPSS .....	47

**GAMBAR**

Gambar 2.1 Kenaikan Kekuatan Mortar Kubus Sesuai Umurnya.....	11
Gambar 2.2 Pasir Zona 1 .....	13
Gambar 2.3 Pasir Zona 2 .....	13
Gambar 2.4 Pasir Zona 3 .....	14
Gambar 2.5 Pasir Zona 4 .....	14
Gambar 2.6 Perbedaan Suhu dalam 2 Jam Pertama Setelah Pengecoran Terhadap Kekuatan Tekan Mortar.....	17
Gambar 2.7 Pengaruh Suhu Perawatan Terhadap Kuat Tekan Mortar .....	17
Gambar 2.8 Kekuatan Tekan Terhadap Masa Perawatan Pada Suhu Berlainan .....	18
Gambar 2.9 Perbedaan Suhu Selama 2 Jam Pada Kekuatan Tekan Mortar .....	19
Gambar 2.10 Faktor Air Semen Terhadap Kekuatan Tekan Mortar .....	20
Gambar 2.11 Tingkat Pematatan Yang Tidak Sempurna Terhadap Kuat Tekan Mortar ....	22
Gambar 2.12 Hubungan Umur Dengan Kuat Tekan Mortar .....	23
Gambar 4.1 Gradasi Agregat Halus.....	36
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Suhu Air Pengecoran dan Waktu Ikat Awal.....	53
Gambar 4.3 Hubungan Umur dan Kuat Tekan Mortar.....	55
Gambar 4.4 Hasil Regresi Hubungan Umur dan Kuat Tekan Mortar .....	56
Gambar 4.5 Hubungan Suhu Air Pengecoran dengan Kuat Tekan Mortar .....	57
Gambar 4.6 Hasil Regresi Hubungan Suhu Air Pengecoran dengan Kuat Tekan Mortar.....	57





# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sejalan dengan perkembangan ilmu dan teknologi dibidang konstruksi dan industri saat ini telah banyak penelitian tentang semen yang dilakukan dengan tujuan utama untuk memperbaiki mutu dan efisien biaya produksi beton.

Semen (*cement*) adalah hasil industri dari paduan bahan baku : batu kapur/gamping sebagai bahan utama dan lempung / tanah liat atau bahan pengganti lainnya dengan hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk/*bulk*, yang memberikan daya rekat dan mempunyai kekuatan disebabkan terjadinya suatu proses hidrasi.

Dalam campuran beton, semen merupakan salah satu komponen penting dalam suatu perancangan dan perencanaan beton untuk struktur bangunan sipil. Pada umumnya setiap bangunan sipil yang didirikan berhubungan dengan beton. Karena itu beton mempunyai peranan penting, dimana beton harus kuat menerima beban yang bekerja dan menyalurkan beban ke pondasi.

Salah satu sifat dan karakteristik semen adalah ketika semen dan air bereaksi akan menimbulkan panas, yang disebut panas hidrasi. Dalam pelaksanaan panas hidrasi dapat menimbulkan suatu permasalahan yaitu terjadinya retakan pada beton ketika adanya perubahan suhu dari panas menjadi lebih dingin.

Usaha untuk mengatasi panas hidrasi antara lain salah satunya dengan pengaturan suhu campuran beton. Pengaturan suhu air sebagai bahan campuran beton merupakan salah satu cara untuk mengatasi adanya penurunan suhu campuran beton normal.

Indonesia yang memiliki iklim tropis rata-rata mempunyai suhu udara diatas 28°C dengan suhu sepanas itu beton cepat mengeras sehingga tidak memungkinkan dilaksanakannya apabila transportasi yang diperlukan memakan waktu yang cukup lama. Guna mengatasi hal tersebut maka diperlukannya bahan tambahan jenis retader. Keuntungan lain dengan penambahan retader adalah dapat menurunkan panas hidrasi semen yang berdampak mengurangi retak-retak rambut akibat evolusi penguapan air sehingga kekuatan tekan beton bertambah.



Dengan adanya permasalahan diatas maka perlu adanya studi bagaimana bisa menghindari adanya bahan tambahan campuran untuk beton yang tidak mengurangi kualitas beton dan tidak merubah sifat-sifat beton. Dalam sekripsi ini penulis menguji tentang **“Pengaruh Penggunaan Variasi Suhu Air Terhadap Waktu Ikat Awal dan Kuat Tekan Mortar”** dengan pembahasan bagaimana pengaruh penggunaan variasi suhu air

### **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Adakah pengaruh penggunaan variasi suhu air terhadap waktu ikat awal semen.
2. Adakah pengaruh penggunaan variasi suhu air terhadap kuat tekan mortar.

### **1.3 Batasan Masalah**

Penelitian ini kami batasi pada:

1. Air yang digunakan sebagai bahan pencampur mortar digunakan air PDAM yang sudah diatur suhunya -2, 0, 5, 10, 15 dan 22 °C dan tidak dilakukan pengujian khusus.
2. Penelitian ini tidak dilakukan analisa total terhadap semen yang digunakan (semen gresik type I) dengan pertimbangan semen tersebut merupakan hasil pabrikasi sehingga sudah memenuhi standart SNI.
3. Penelitian yang dilakukan hanyalah waktu ikat awal semen dan kuat tekan mortar.
4. Tidak dilakukan mix desing mortar, tetapi campuran yang digunakan berdasarkan acuan AASTHO T – 131 - 73

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan peneliti ini adalah untuk mengetahui waktu ikat awal pasta semen dengan berbagai variasi suhu air pencampurnya.

Disamping itu juga untuk mengetahui seberapa besar perbedaan kuat tekan mortar tanpa dan dengan memvariasikan beberapa suhu air sesuai umur mortar.

Jadi kesimpulan yang diperoleh dapat digambarkan dengan grafik :

1. Hubungan antara waktu ikat awal pasta semen dengan variasi suhu air sebagai pencampur adukan.
2. Hubungan antara kuat tekan mortar dengan variasi suhu air sebagai bahan pencampur adukan sesuai dengan umur pengujian.

3. Hubungan antara kuat tekan mortar dengan variasi suhu air sebagai bahan pencampur adukan sesuai dengan umur pengujian.

### 1.5 Kegunaan Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai informasi bagi praktisi maupun akademisi untuk mengembangkan maupun membuat mortar dengan menggunakan variasi suhu air, seberapa besar perbedaan waktu ikat awal dan kuat tekan mortar dengan perbedaan suhu air yang telah divariasi.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Mortar/adukan adalah campuran semen, pasir dan air dalam proporsi yang ditentukan (L.J. Murdock, 1999). Secara umum mengetahui perubahan suhu terhadap kekuatan tekan mortar sangatlah penting. Suhu yang biasa digunakan pada campuran mortar pada umumnya adalah suhu sekitar 16°C hingga 27°C (Neville, 1995). Suhu ini akan meningkat selama proses pengeringan, dan proses hidrasi oleh kandungan semen dalam mortar itu sendiri.

**Proses Hidrasi** (Young, 1981) ialah panas yang ditimbulkan pada saat reaksi semen dan air yang bergabung pada susunan kimia, kehalusan butiran, saat perawatan, suhu sekitarnya, jenis cetakan dan suhu mortar saat dicetak. Ini karena semen mempunyai kandungan bahan aktif yang mudah bereaksi apabila tercampur dengan air.

#### 2.1 Semen

Semen (*cement*) adalah hasil industri dari paduan bahan baku : batu kapur/gamping sebagai bahan utama dan lempung / tanah liat atau bahan pengganti lainnya dengan hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk/*bulk*, tanpa memandang proses pembuatannya, yang mengeras atau membatu bila tercampuran dengan air. Batu kapur/gamping adalah bahan alam yang mengandung senyawa Calcium Oksida (CaO), sedangkan lempung/tanah liat adalah bahan alam yang mengandung senyawa : Silika Oksida (SiO<sub>2</sub>), Aluminium Oksida (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), Besi Oksida (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan Magnesium Oksida (MgO). Untuk menghasilkan semen, bahan baku tersebut dibakar sampai meleleh, sebagian untuk membentuk *clinkernya*, yang kemudian dihancurkan dan ditambah dengan gips (*gypsum*) dalam jumlah yang sesuai. Hasil akhir dari proses produksi dikemas dalam kantong/zak dengan berat rata-rata 40 kg atau 50 kg.

Fungsi semen sebagai pengikat butir-butir agregat menjadi satu dan padat seperti batu, semen bila dicampur dengan air membentuk adukan pasta, dan bila dicampur dengan pasir dan air menjadi mortar semen.

Menurut Troxell (1956), terdapat empat jenis kandungan utama dalam semen Portland yaitu kapur, silika, alumina dan oksida besi. *Pada tabel 2.1 menunjukkan bagian utama Semen Portland.*



Tabel 2.1 : Bagian Utama Semen Portland(Troxell, 1956)

Nama Bagian	Rencamanoksida	Singkatan
Triokalsium silikat	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$
Diookalsium silikat	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$
Triokalsium aluminat	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$
Tetrapokalsium aluminoforit	$4\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$

Di antara empat bagian utama,  $\text{C}_3\text{S}$  dan  $\text{C}_2\text{S}$  paling stabil dan terdapat kurang lebih 75% dalam semen Portland. Kedua komponen ini memberi pengaruh terhadap sifat mortar. Hidrasi  $\text{C}_3\text{S}$  adalah paling cepat apabila semen Portland dicampur air.  $\text{C}_2\text{S}$  pula terhidrasi dengan perlahan.  $\text{C}_3\text{A}$  merupakan komponen yang paling aktif dalam hidrasi maka, dalam konteks ini gypsum memainkan peranan dalam memperlahankan sedangkan sebaliknya.  $\text{C}_4\text{AF}$  juga terhidrasi dengan cepat, bagian yang menyumbang kepada kekuatan mortar ialah  $\text{C}_3\text{S}$  dan  $\text{C}_2\text{S}$ . *Komposisi kimia semen Portland seperti yang terlihat pada tabel 2.2*

Tabel 2.2 : Komposisi kimia semen Portland (Jackson and Dhir, 1995)

Komposisi Kimia	Persen
Kapur, $\text{CaO}$	64.73
Silika, $\text{SiO}_2$	21.2
Alumina, $\text{Al}_2\text{O}_3$	5.22
Ferum Oksida, $\text{Fe}_2\text{O}_3$	3.08
Magnesia, $\text{Mg}$	1.04
Sulfur Trioksida, $\text{SO}_3$	2.01
Soda, $\text{Na}_2\text{O}$	0.19
Potash, $\text{K}_2\text{O}$	0.42
Kehilangan pencucuhan, LOI	1.45
Bahan tak larut, IR	0.666

### 2.1.1 Jenis Semen

Pada masa kini, terdapat berbagai jenis semen Portland yang telah dihasilkan. Kebanyakan dari pada jenis semen tersebut telah dipergunakan untuk keperluan pembuatan beton dalam berbagai keadaan. Menurut Neviile(1995), jenis semen portland utama adalah seperti yang ditunjuk pada Tabel 2.3.

tabel 2.3.jenis semen portland utama ( Neviile, 1995)

Penamaan British	Penamaan ASTM
Portland Biasa	Jenis I
Portland Cepat Mengeras	Jenis III
Portland Sangat Mengeras	
Portland Ultratinggi Kekuatan Awal	
Portland Haba Rendah	Jenis IV
Simen Terubahsuai	Jenis II
Portland Tahan Sulfat	Jenis V
Portland Relau-Bagas	Jenis IS
Portland Putih	
Portland-Pozzolana	Jenis IP/Jenis P
Simen Jermang	Jenis S

- Jenis I : Semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus.
- Jenis II : Semen portland yang penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- Jenis III : Semen portland yang penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi setelah pengerasan terjadi.

- Jenis IV : Semen portland yang penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
- Jenis V : Semen portland yang penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.
- Semen portland mutu 32S yaitu semen Portland dengan kekuatan tekan umur 28 hari sebesar  $325 \text{ kg/cm}^2$
- Semen portland mutu 400S yaitu semen Portland dengan kekuatan tekan umur 28 hari sebesar  $400 \text{ kg/cm}^2$
- Semen portland mutu S-475 yaitu semen Portland dengan kekuatan tekan umur 28 hari sebesar  $475 \text{ kg/cm}^2$
- Semen portland mutu S-525 yaitu semen Portland dengan kekuatan tekan umur 28 hari sebesar  $525 \text{ kg/cm}^2$
- Semen portland mutu S-550 yaitu semen Portland dengan kekuatan tekan umur 28 hari sebesar  $550 \text{ kg/cm}^2$

Sebagai ukuran untuk waktu pengerasan serta pengembangan kekuatan diterapkan kekuatan benda uji yang berumur 7, 14 dan 28 hari.

### 2.1.2 Proses Pembuatan Semen

Proses pembuatan semen dapat dibedakan menurut :

- Proses basah : semua bahan baku yang ada dicampur dengan air, dihancurkan dan diuapkan kemudian dibakar dengan menggunakan bahan bakar minyak, bakar (*bunker crude oil*). Proses ini jarang digunakan karena masalah keterbatasan energi BBM.
- Proses kering : menggunakan teknik penggilingan dan *blending* kemudian dibakar dengan bahan bakar batubara. Proses ini meliputi lima tahap pengelolaan yaitu :
  - Proses pengeringan dan penggilingan bahan baku di rotary dryer dan roller meal.
  - Proses pencampuran (homogenizing raw meal) untuk mendapatkan campuran yang homogen.
  - Proses pembakaran raw meal untuk menghasilkan terak (clinker : bahan setengah jadi yang dibutuhkan untuk pembuatan semen).
  - Proses pendinginan terak.



- Proses penggilingan akhir di mana *clinker* dan *gypsum* digiling dengan *cement mill*.

Dari proses pembuatan semen di atas akan terjadi penguapan karena pembakaran dengan suhu mencapai 900 derajat Celcius sehingga menghasilkan : residu (sisa) yang tak larut, sulfur trioksida, silika yang larut, besi dan alumunium oksida, oksida besi, kalsium, magnesium, alkali, fosfor, dan kapur bebas.

Semen dapat mengeras memberikan daya rekat dan mempunyai kekuatan yang disebabkan oleh terjadinya suatu proses hidrasi semen yaitu panas yang ditimbulkan pada saat reaksi semen dan air yang bergabung pada susunan kimia, kehalusan butiran, saat perawatan, suhu disekitarnya, jenis acuan dan suhu mortar saat dicetak.

Dalam proses hidrasi tersebut semen mengalami 2 tahap yaitu waktu ikat awal (setting time) dan waktu ikat akhir (final setting time)

1. Waktu ikat awal (setting time) adalah waktu mulai semen kena air hingga mulai terjadi pengerasan. Dengan mengetahui waktu ikat awal ini maka kita dapat memperkirakan kebutuhan waktu untuk mengaduk, mengangkat, menuang/mengecor dan meratakan permukaan beton yang akan dibuat.
2. Waktu ikat akhir (final setting time) setelah waktu ini berlalu maka kita sudah tidak dapat mengganggu beton yang sudah dibuat karena beton sudah kehilangan sifat plastinya atau sudah mengeras.

### 2.1.3 Panas Hidrasi

Menurut Neville(1995), Panas hidrasi adalah kuantiti Panas yang diukur dalam joule setiap gram semen tak terhidrasi, yang biarkan setelah berlangsung proses hidrasi sepenuhnya pada suhu yang tertentu. Keadaan yang biasa digunakan untuk menentukan panas hidrasi adalah dengan mengukur reaksi larutan semen tak terhidrasi dan semen terhidrasi dalam campuran asam nitrik dan asam hidroflorik. Perbedaan di antara dua nilai tersebut menunjukkan panas hidrasi. *Tabel 2.4 menunjukkan panas hidrasi yang terbentuk setelah 72 jam pada suhu yang berlainan.*

Tabel 2.4: Panas Hidrasi Selepas 72 Jam (Neville, 1995)

Jenis Semen	Panas Hidrasi Yang Terbentuk pada Suhu							
	4°C (40°F)		24°C (75°F)		32°C (90°F)		41°C (105°F)	
	J/g	kal/g	J/g	kal/g	J/g	kal/g	J/g	Kal/g
I	154	36.9	285	68	309	73.9	335	80
III	221	52.9	348	83.2	357	85.3	390	93.2
IV	108	25.7	195	46.6	192	45.8	214	51.2

#### 2.1.4 Faktor Yang Mempengaruhi Waktu Ikut Semen

Beberapa faktor yang mempengaruhi waktu ikat semen :

##### 1. Umur

Meskipun semen disimpan dalam kondisi yang baik, semen dalam bungkusan dapat kehilangan 20 persen dari kekuatannya setelah disimpan selama 2 bulan, dan 40 persen setelah disimpan 6 bulan. Pengikatan semen oleh udara dapat terjadi pada semen yang disimpan di udara terbuka. Hal ini disebabkan oleh penyerapan uap air udara oleh semen dan menyebabkan pengikatan sebagian. Penyerapan uap air dari tumpukan udara terbuka dapat dikurangi dengan sedapat mungkin mencegah aliran udara ke arah tumpukan semen.

##### 2. Suhu

Kecepatan reaksi kimia pada umumnya tergantung oleh suhu lingkungan dan suhu massa yang tereduksi. Untuk panas hidrasi yang baik suhunya 23°C

##### 3. Perbandingan faktor air semen

Faktor air semen adalah perbandingan antara berat air dan berat semen. Semen bersenyawa dengan air, dari persenyawaan ini butiran semen membentuk suatu reaksi. Suatu hubungan yang erat akan terjadi bila produksi/reaksi dari seluruh butiran-butiran semen seakan-akan saling tumbuh menyatu.

Faktor air semen yang rendah (kadar air sedikit) menyebabkan air diantara bagian-bagian semen sedikit, sehingga jarak antara butiran-butiran semen pendek, akibatnya masa semen menunjukkan saling berkaitan. Karena kekuatan awal mulai terjadi dan akhirnya batuan semen mencapai kepadatan tinggi.



Semen dapat mengikat air sekitar 40% dari beratnya, dengan kata lain air sebanyak 0,4 kali berat semen telah cukup untuk membentuk seluruh semen berhidrasi. Air yang berlebihan tinggal dalam pori-pori. Beton normal selalu bervolume pori-pori halus rata yang saling berhubungan, karena itu disebut pori-pori kapiler. Bila spesi beton ditambah ekstra air, maka sebenarnya hanya pori-porinya yang bertambah banyak. Akibatnya beton lebih berpori-pori dan kekuatan serta massa pakainya berkurang.

#### 4. Kehalusan semen

Kehalusan penggilingan semen mempengaruhi kecepatan. Pengikatan. Kehalusan penggilingan dinamakan *penampang spesifik* (adalah total diameter penampang semen). Jika seluruh permukaan penampang lebih besar semen akan memperluas bidang kontak (persinggungan) dengan air semakin besar. Lebih besar bidang persinggungannya semakin cepat kecepatan bereaksinya. Karena itu kekuatan awal dari semen-semen yang lebih halus (penampang spesifik besar) lebih tinggi, sehingga pengaruh kekuatan akhir berkurang.

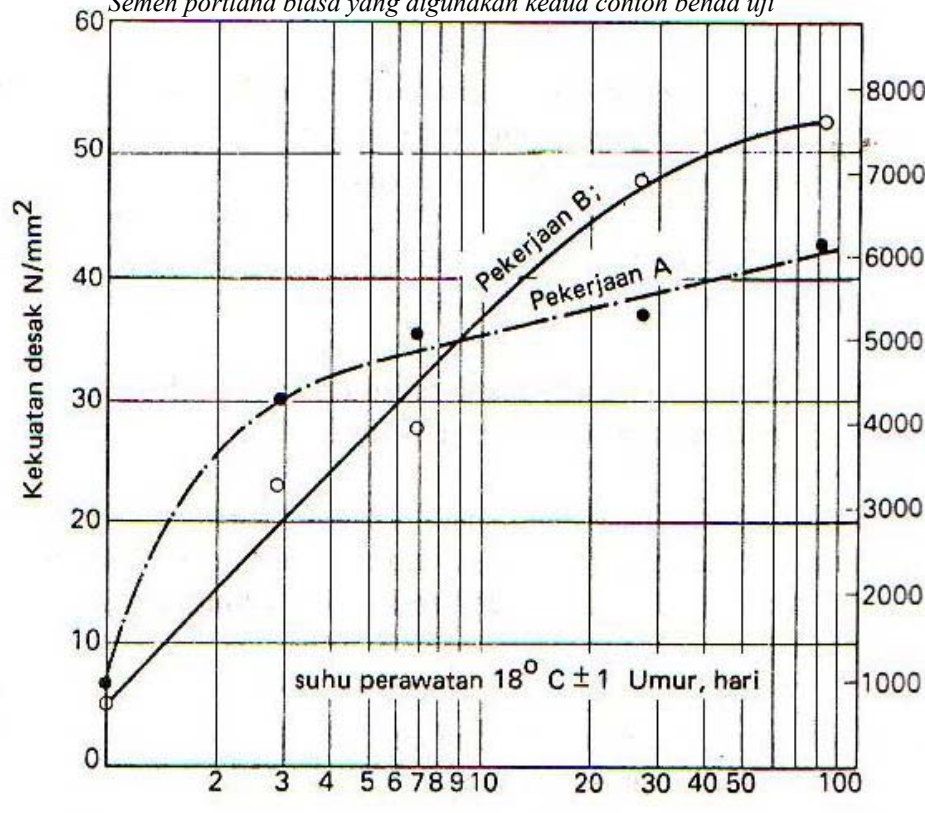
#### 2.1.5 Peningkatan Kekuatan Semen Sesuai Dengan Umurnya

Kecepatan penambahan kekuatan dari semen dan mortar telah diuji dan tampaknya hal ini tergantung pada senyawa-senyawa yang ada. Kekuatan naik dengan pesat selama awal dari pengerasan dan makin lama makin berkurang. Pada awal dari hidrasi hanya berlangsung reaksi kimia pada sebelah luar partikel semen. Dan bila sepotong mortar diperiksa dibawah mikroskop, tampak masih adanya partikel yang belum mengalami hidrasi ini terus menyerap air dari udara meskipun air pencampur telah kering. Proses kimia yang berkelanjutan ini secara berangsur-angsur meningkatkan kakuatan dan kepadatan mortar, sebuah proses yang berkelanjutan sampai beberapa tahun. Ini adalah partikel semen yang belum mengalami hidrasi yang menjadi sebab timbulnya gejala penutupan retak oleh mortar sendiri.

Semen tidak mengeras dengan kecepatan yang sama. Gambar 2.1 membandingkan mortar kubus pada umur 90 hari, untuk dua buah benda uji dari semen portland biasa. Perubahan kuat desa antara bermacam-macam kelas semen portland umur lebih dari satu tahun.cenderung kecil dibanding pada umur muda.



Gambar 2.1. kenaikan kekuatan mortar kubus sesuai umurnya.  
Semen portland biasa yang digunakan kedua contoh benda uji



Sumber : Bahan dan Praktek Beton Edisi ke empat

## 2.2 air

Secara umum untuk diketahui bahwa yang paling murah dan mudah untuk mengatur suhu awal beton sesuai dengan apa yang kita rencanakan dengan cara memvariasikan suhu air sebagai bahan pencampurnya.

Jika pengecoran dilakukan pada musim dingin maka kita dapat memanaskan air campurannya, dengan variasi suhu yang dibutuhkan pada air berkisar antara  $50^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$  dan harus diperhatikan agar suhu air dapat dipastikan tidak lebih dari  $70^{\circ}\text{C}$ .

Jika pengecoran pengecoran dilakukan di musim panas air campuran harus dijaga agar sedingin mungkin dengan penyimpanan di dalam tangki yang dilindungi dari sinar matahari, dan mungkin perlu untuk mendinginkan air dengan menambahkan pecahan es atau mesin pendingin.

### 2.2.1 Fungsi Air Dalam Campuran Mortar

Air dalam campuran beton ada dua fungsi :

1. Untuk proses reaksi hidrasi yang menyebabkan pengikatan atau pengerasan semen
2. Sebagai pelumas campuran agar mudah pekerjaan.

### 2.2.2 Persyaratan Air

Guna membuat mortar yang baik maka air harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Air harus jernih

Bila air keruh harus diendapkan dan dilaksanakan pengujian pra pelaksanaan. Air yang mengandung kotoran akan memperlambat waktu ikatan awal adukan beton dan mengakibatkan lemahnya kekuatan beton setelah mengeras dan daya tahannya menurun

2. PH harus netral

Bila PH rendah disebabkan oleh asam organik hasil penguraian tumbuhan atau hasil buangan industri. Pengaruh asam dapat melarutkan beton

Bila PH tinggi disebabkan oleh karbonat dari unsur natrium, kalium dan kalsium dalam tanah . pengaruh dapat menyebabkan pengembangan dan mengurangi kekuatan.

Sulfat. ( $SO_4$ ) tidak melebihi 1000 ppm

Sulfat dapat menyebabkan pengembangan/swelling

Minyak tidak boleh ada

Pengaruh dapat memperlambat pengerasan dan mengurangi kekuatan

3. Tidak mengandung lumpur lebih dari 2 gram/liter

4. Tidak mengandung zat organik, asam dan garam-garam yang dapat merusak beton lebih dari 15 gram/liter

Air digunakan untuk menjadikan semen bereaksi dan dijadikan pelumas antara butiran-butiran agregat sehingga mudah dipadatkan dan dikerjakan, biasanya jumlah air yang digunakan dalam campuran beton berkisar 25% dari berat semen, air ini hanya untuk mereaksikan semen, kelebihan penggunaan air dapat mengurangi kekuatan dari beton itu sendiri.

### 2.3 Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang ukuran butiran tertahan ayakan No.200 dan lolos ayakan dengan lubang 4,75 mm. Agregat halus yang digunakan berupa pasir alam sebagai bahan campuran mortar tidak boleh mengandung organik lebih dari 5%, apabila kandungannya melebihi dari yang disyaratkan maka material tersebut harus dicuci dan agregat halus juga diharapkan tidak mengandung bahan organik yang dapat merusak mortar.

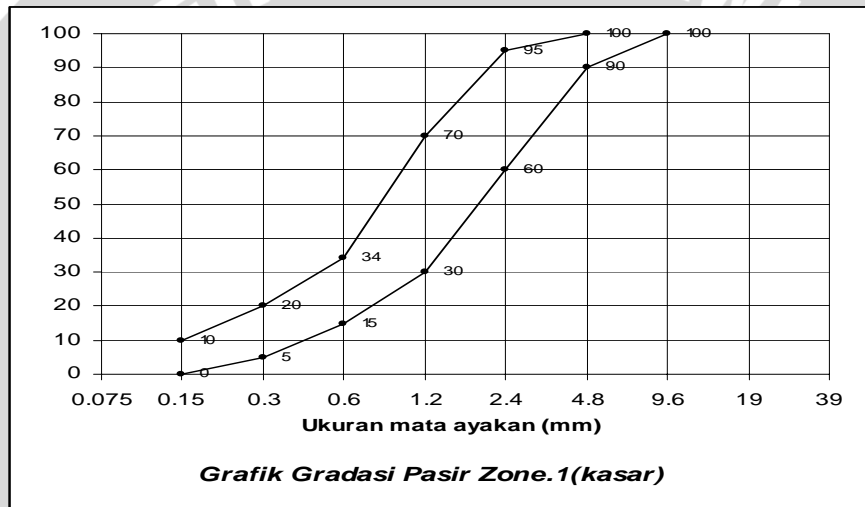


Tabel 2.5 Berat jenis, Porositas( $n$ ), Angka pori ( $e$ ), dan Kadar air ( $w$ )

Jenis Pasir	$n$ (%)	$e$	$w$ (%)	$\gamma_b$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )
Pasir seragam, tidak padat	46	0,85	32	1,89	1,43
Pasir seragam, padat	34	0,51	19	2,09	1,75
Pasir berbutir campuran, tidak padat	40	0,67	25	1,99	1,59
Pasir berbutir campuran, padat	30	0,43	16	2,16	1,89

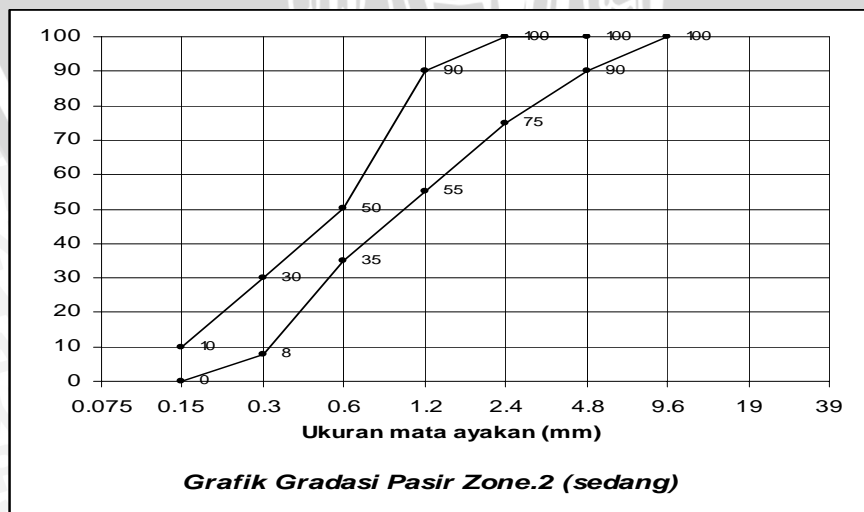
(Hary christady hardiyatmo, mekanika tanah)

Menurut British Standard (BS) yang juga dipakai di Indonesia saat ini, kekasaran pasir dapat dibagi menjadi empat kelompok gradasi (zone) seperti yang diperlihatkan dibawah ini (Dr.W Samekto, Teknologi Beton, 2001) :



Gambar 2.2 Grafik Pasir Zone 1

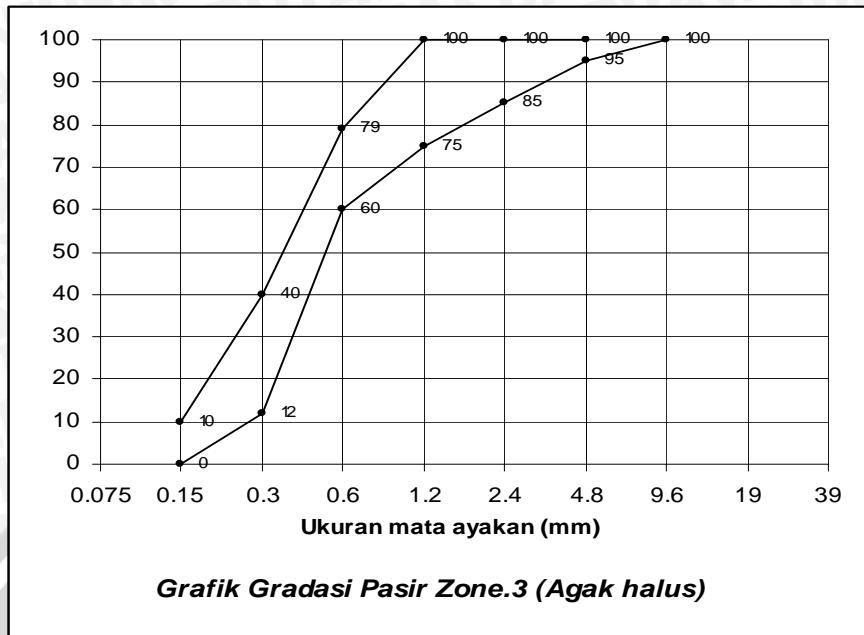
Sumber :Dr. W Samekto, MPd, Buku Teknologi Beton, 2001



Gambar 2.3 Grafik Pasir Zone 2

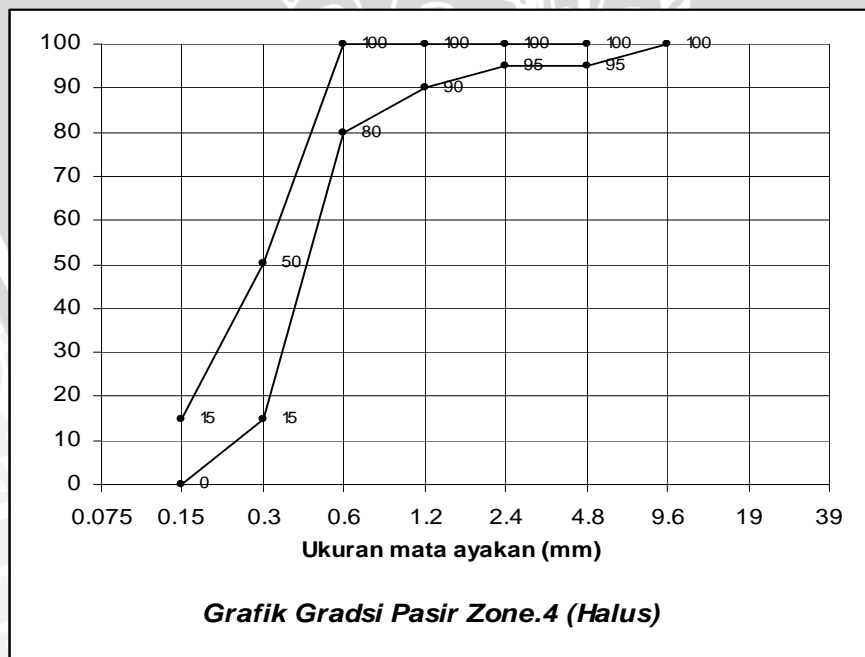
Sumber :Dr. W Samekto, MPd, Buku Teknologi Beton, 2001





**Gambar 2.4 Grafik Pasir Zone 3**

Sumber :Dr. W Samekto, MPd, Buku Teknologi Beton, 2001



**Gambar 2.5 Grafik Pasir Zone 4**

Sumber :Dr. W Samekto, MPd, Buku Teknologi Beton, 2001

Persyaratan yang harus dipenuhi agregat halus adalah :

1. Agregat halus harus terdiri dari butiran-butiran tajam dan keras serta kekal tidak lapuk oleh cuaca
2. Kandungan lumpur tidak lebih dari 5%

Dalam jumlah yang cukup banyak dapat mengurangi kekuatan mortar, dan hal-hal negatif lain karena tendesinya yang menghambat proses hidrasi semen. Keadaanya lebih buruk lagi bilamana membentuk lapisan yang menyelimuti agregat sehingga menyegah terjadinya adhesi-semen.

3. Tidak mengandung bahan organik

Kandungan bahan organik (humus, berisi asam-asam organik) dapat menghambat hidrasi semen, oleh karena itu memperlama pengerasan dan mengurangi kekuatan.

#### 2.4 Suhu Bahan-Bahan

Suhu mortar ketika dibuat untuk pertama kalinya tergantung pada suhu, panas spesifik, dan berat dari bahan-bahan pilihannya. Suhu mortar dapat diperkirakan dengan perhitungan memakai rumus di bawah ini :

$$T_c = \frac{t_c + At_a + 5Wt_w}{I + A + 5W}$$

Dimana :

$T_c$	= Suhu mortar
$t_c$	= Suhu Semen
$t_a$	= Suhu Agregat
$t_w$	= Suhu Air
$A$	= Perbandingan Agregat/Semen
$W$	= Perbandingan Air/Semen

Suhu mortar yang dihasilkan dapat dihitung dari suhu dan berat setiap bahan secara individu dengan rumus yang tertera diatas. Pada campuran mortar, dapat diperlihatkan bahwa pada batas sekitar 1°C penurunan suhu mortar dapat diperoleh dengan mereduksi 2°C suhu agregat maupun reduksi 4°C suhu air.

#### 2.5 Kuat Tekan Kubus Mortar

Mortar/adukan dibuat dengan mencampur semen, pasir dan air dalam proporsi yang ditentukan kemudian dimasukan kedalam cetakan kubus berukuran 5 x 5 x 5 cm. Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan kuat tekan mortar semen berbentuk kubus ukuran

5 x 5 x 5 cm yang dibuat dan dirawat dilaboratorium. Kekuatan tekan mortar adalah beban persatuan luas penampang yang menyebabkan mortar hancur.

Perhitungan :

$$\text{Kuat tekan mortar} = \frac{P}{A} (\text{kg/cm}^2)$$

Dimana : P = kuat tekan maksimum (kg)

A = luas penampang benda uji

beberapa faktor lain yang berpengaruh terhadap hasil akhir pada mortar tersebut (Murdock, 1986):

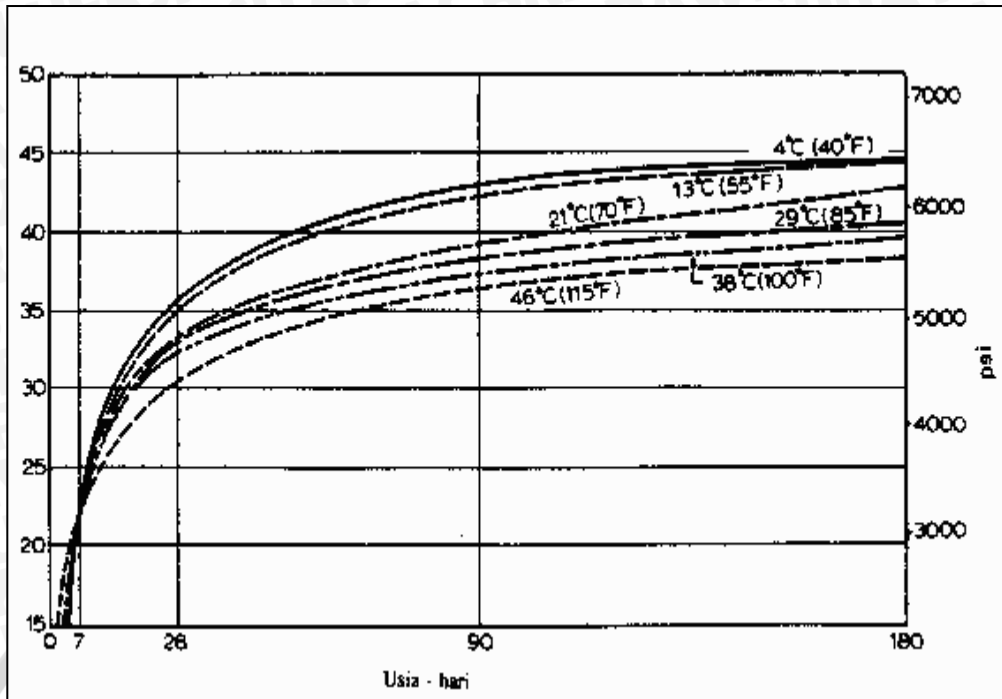
- Jenis semen dan kualitasnya : ini mempengaruhi kekuatan rata-rata dan kekuatan batas.
- Efisiensi dari perawatan : perawatan adalah hal yang sangat penting dalam pembuatan benda uji di laboratorium.
- Suhu : pada umumnya kecepatan pengerasan mortar bertambah dengan bertambahnya suhu.
- Umur : pada keadaan yang normal kekuatan mortar bertambah sejalan dengan umurnya, kecepatan pertambahan kekuatan tergantung pada jenis semen.
- Pemadatan : gelembung udara yang terperangkap akibat pemadatan yang kurang baik akan mempengaruhi kekuatan itu sendiri.

## 2.6 Pengaruh Suhu Terhadap Kekuatan Mortar

Peningkatan suhu awal mempercepat proses hidrasi kimia. Ini akan memberi kesan yang baik terhadap kekuatan awal mortar tanpa memperhatikan kekuatan seterusnya. Namun suhu yang lebih tinggi sewaktu pencampuran, walaupun meningkatkan kekuatan yang sangat awal, mungkin membawa dampak buruk pada kekuatan pada hari ke-7 dan seterusnya. Ini karena hidrasi awal yang terlalu cepat membentuk hasil yang struktur fizikal yang lebih lemah dan berlubang..

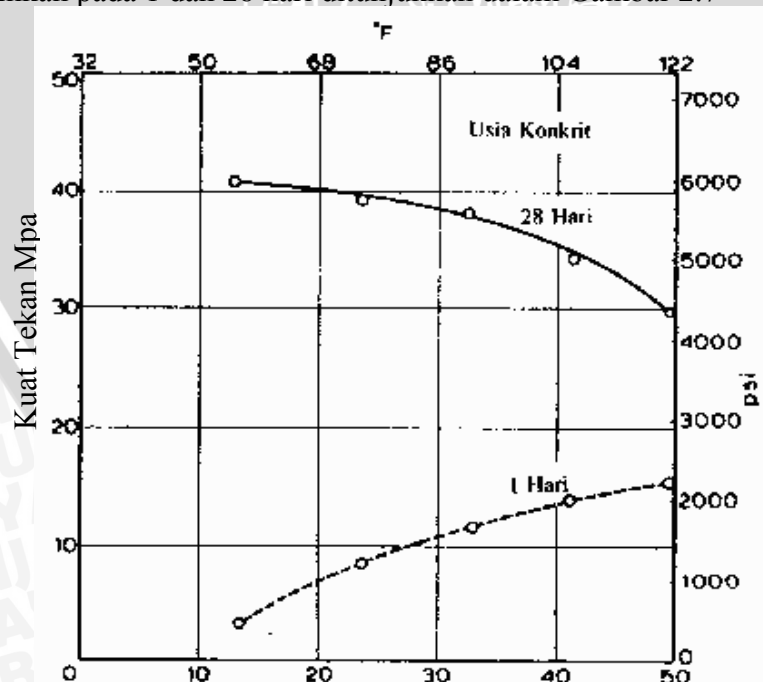
Menurut aturan gel/ruang(Neville, 1995), ini akan menghasilkan kekuatan yang lebih rendah dibanding dengan beton yang pada suhu normal . *gambar 2.6 menunjukkan perbedaan suhu dalam 2 jam pertama setelah pencampuran terhadap kekuatan beton dengan kandungan air-semen 0.53.*





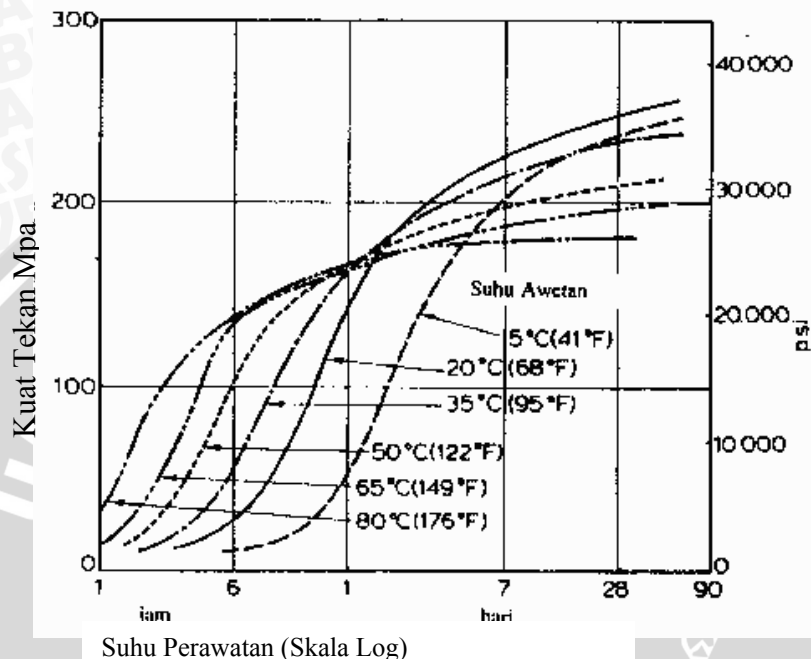
Gambar 2.6. perbedaan suhu dalam 2 jam pertama setelah pencampuran terhadap kekuatan mortar dengan kandungan air-semen 0.53

Beberapa pengujian telah memastikan tentang pengaruh suhu pada kekuatan mortar, lazimnya kenaikan 5°C (90 °F) suhu menyebabkan kekuatan berkurang sebanyak 1.9 MPa (270 psi). Pengaruh suhu perawatan terhadap kekuatan beton yang diuji setelah didinginkan pada 1 dan 28 hari ditunjukkan dalam Gambar 2.7



Gambar 2.7 : Pengaruh suhu perawatan terhadap kekuatan tekan mortar (Neville, 1995)

Walau bagaimanapun suhu sewaktu pengujian juga menjadi faktor, sekurang-kurangnya dalam campuran adonan semen (Portland biasa) air yang dipergunakan dengan kandungan air-semen 0.14. Sekiranya suhu dibiarkan dari permulaan hidrasi, apabila diuji pada 64 hari dan 128 hari pada suhu perawatan, maka akan didapati berkekuatan lebih rendah pada suhu yang lebih tinggi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8

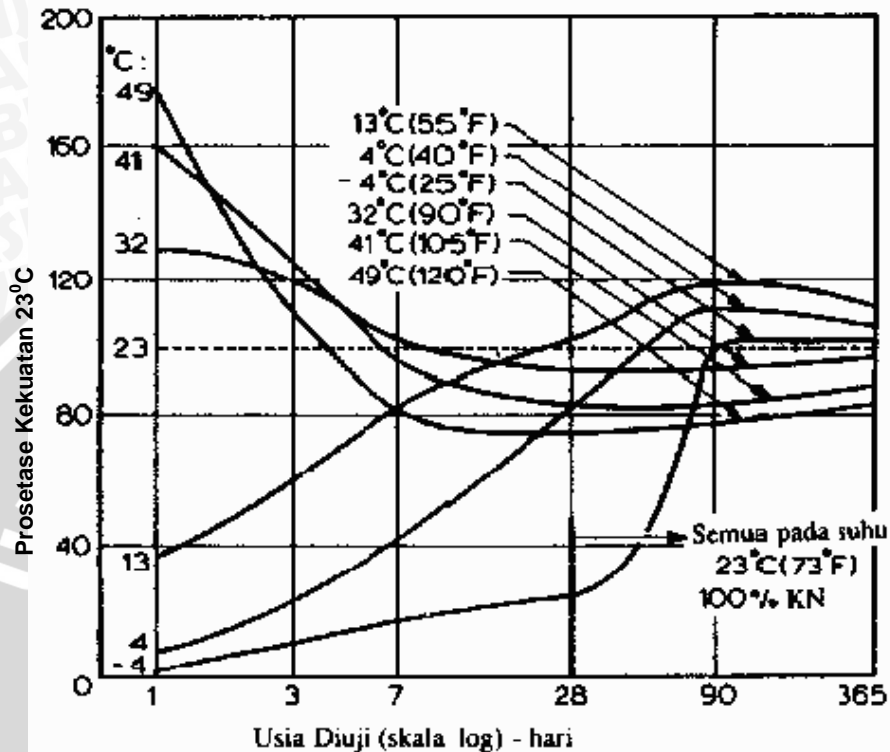


Gambar 2.8 : Kekuatan Tekan terhadap masa perawatan pada suhu berlainan (Neville, 1995)

Pengujian juga telah dilakukan pada beton yang direndam dalam air pada suhu yang berbeda-beda untuk selama 28 hari. Suhu yang lebih tinggi didapati menjadikan kekuatan meningkat untuk beberapa hari pertama setelah proses pengecoran dilakukan, tetapi setelah beton tersebut berusia antara satu hingga empat minggu keadaan ini bertukar dengan cepat.

Contoh pengujian yang dibuat pada suhu antara 4°C hingga 23°C (40°F hingga 73°F) hingga usia 28 hari menunjukkan kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan contoh yang buat pada suhu 32°C hingga 49°C (90°F hingga 120°F). Dalam keadaan yang seperti itu, kemerosotan berlaku lebih besar dengan meningkatnya suhu. Tetapi dalam jumlah suhu yang rendah terdapat kondisi suhu optimum yang menghasilkan kekuatan tertinggi. Satu contoh menarik yang diperhatikan ialah walaupun beton dibuat pada suhu 4°C (40°F) dan disimpan pada suhu rendah, serendah -4°C (25°F) selama empat minggu dan kemudian pada suhu 23°C (75°F), beton tersebut pada usia 3 bulan dan seterusnya

didapati lebih kuat daripada beton yang serupa tetapi disimpan pada suhu kamar 23°C (73°F).



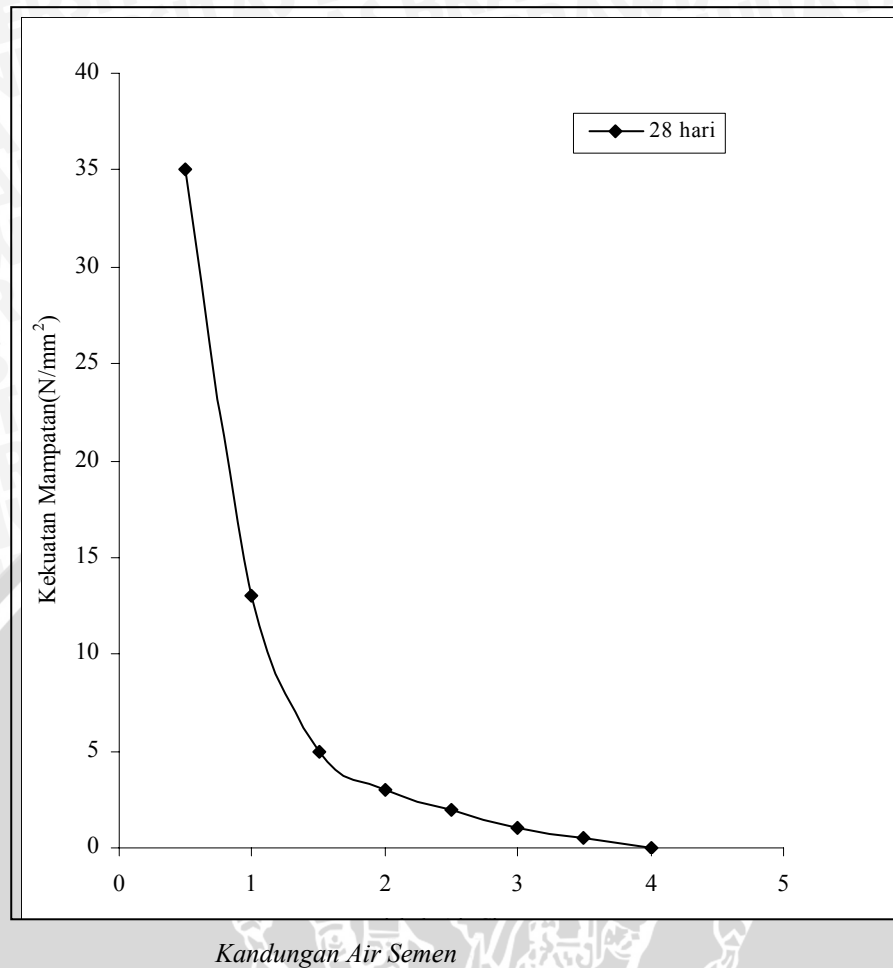
Gambar 2.9 : Perbedaan Suhu selama 28 hari pada kekuatan mortar (Neville,1995)

## 2.7 Faktor Air Semen

### 2.7.1 Kajian Tentang Faktor Air-Semen

Hubungan antara faktor air-semen dengan kekuatan pada mortar (campuran semen, batu baur halus dan air) telah mula dikenal pasti oleh penyelidik negara French yaitu Feret pada sekitar tahun 1940. Peneliti bernama Abrams (Gilkey, et al,1961) yang giat dalam teknologi beton telah mengemukakan kenyataan penting yang berkaitan dengan hubungan diantara faktor air-semen dengan kekuatan. Beliau menyatakan bahawa untuk campuran beton sama yang berada dalam keadaan penuangan, pengawetan dan ujikaji yang sama, kekuatan beton hanya bergantung kepada faktor air bebas terhadap semen. Beliau telah mengemukakan grafik kekuatan tekan terhadap faktor air-semen berdasarkan kajiannya seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.10.





Gambar 2.10 : Kekuatan tekan terhadap faktor Air-Semen (Gilkey, et al,1961)

### 2.7.2 Faktor Air-Semen Terhadap Kekuatan Mortar

Faktor air-semen ialah faktor berat air dengan berat semen yang digunakan dalam suatu campuran. Jumlah berat air yang dimaksudkan disini ialah berat air yang dicampurkan ke dalam campuran mortar dan berat air bebas di permukaan agregat. Maka, ini lebih tepat dikenali sebagai faktor air – semen. Kekuatan mortar pada suatu umur tertentu dan dibuat dalam keadaan tertentu adalah bergantung kepada dua faktor utama yaitu faktor air-semen dan tingkat pemadatan.

Apabila mortar dipadatkan sepenuhnya, kekuatan mortar adalah berbanding lurus dengan faktor air-semen. Kenyataan ini hanya benar apabila semen yang sama digunakan seperti yang dinyatakan dalam Kesimpulan Abrams' Law (*Generalization of Abrams' Law*). Ini karena, faktor air-semen secara tidak langsung dipengaruhi oleh faktor permukaan kalsium silica terhidrat yang menyerupai gel yang berfungsi sebagai pengikat (Lydon, 1972). Persamaan di bawah menunjukkan hubungan yang mengaitkan

kekuatan tekan dengan faktor air-semen (Lydon, 1972):

$$\mu = \phi [1/(w/c)]$$

Dimana

$\mu$  = Kekuatan tekan

w = Berat Air

c = Berat semen

$\phi$  = Faktor yang bergantung kepada material, waktu perawatan dan kondisi

Benda uji

Walaupun campuran yang faktor air-semen yang rendah dapat menghasilkan kekuatan tekan yang tinggi, tapi mortar tersebut mungkin sulit dipadatkan sepenuhnya dan terdapat banyak rongga udara yang membuat mortar tersebut lemah. Campuran mortar yang terlalu tinggi faktor air-semen pula akan menyebabkan pengasingan dan lelehan mudah berlaku. Pengasingan ialah pemisahan agregat satu campuran heterogen kepada agihan tidak seragam. Manakala lelehan ialah satu bentuk pengasingan dimana air terpisah dari campuran dan naik keatas permukaan beton yang baru dituang. Maka dapat disimpulkan bahawa nisbah air-semen yang sesuai adalah yang pertengahan iaitu diantara 0.4 hingga 0.6 yang dapat mengimbangj keadaan di atas bersesuaian dengan keadaan kerja.

## 2.8 Tingkat Pemadatan

Pemadatan yang mencukupi adalah penting untuk memastikan mortar mempunyai kekuatan mampatan yang tinggi dan kuat. Pemadatan yang tidak sempurna akan menyebabkan terjadinya rongga udara di dalam mortar dan melemahkan kuat tekan mortar. telah diterbitkan oleh Feret (Lydon, 1972) dimana hubungan antara kekuatan dengan tingkat pemadatan adalah seperti berikut :-

$$\mu = \psi [1 / (w + v)/c]$$

dimana

$\mu$  = kekuatan tekan

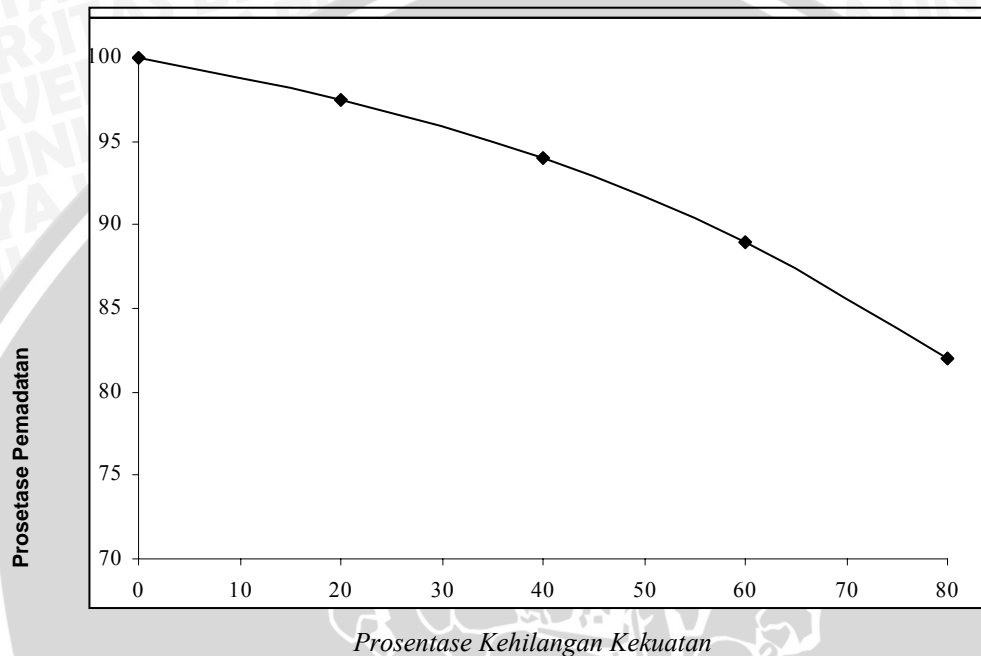
w = Isipadu air

c = Isipadu semen

v = Isipadu liang udara

$\psi$  = Pekali empirikal

Dari persamaan diatas dapat disimpulkan bahawa mortar yang telah dipadatkan sepenuhnya dimana rongga udara hampir sama dengan kosong ( $v = 0$ ) adalah lebih kuat. Berdasarkan kajian yang dijalankan oleh *Road Research laboratory* di London, didapati jika kurang 1% tingkat pepadatan akan menyebabkan kehilangan kekuatan tekan sebanyak 5% hingga 6% (Lydon, 1972). gambar 2.11 menunjukkan prosentase pepadatan terhadap prosentase kehilangan kekuatan.

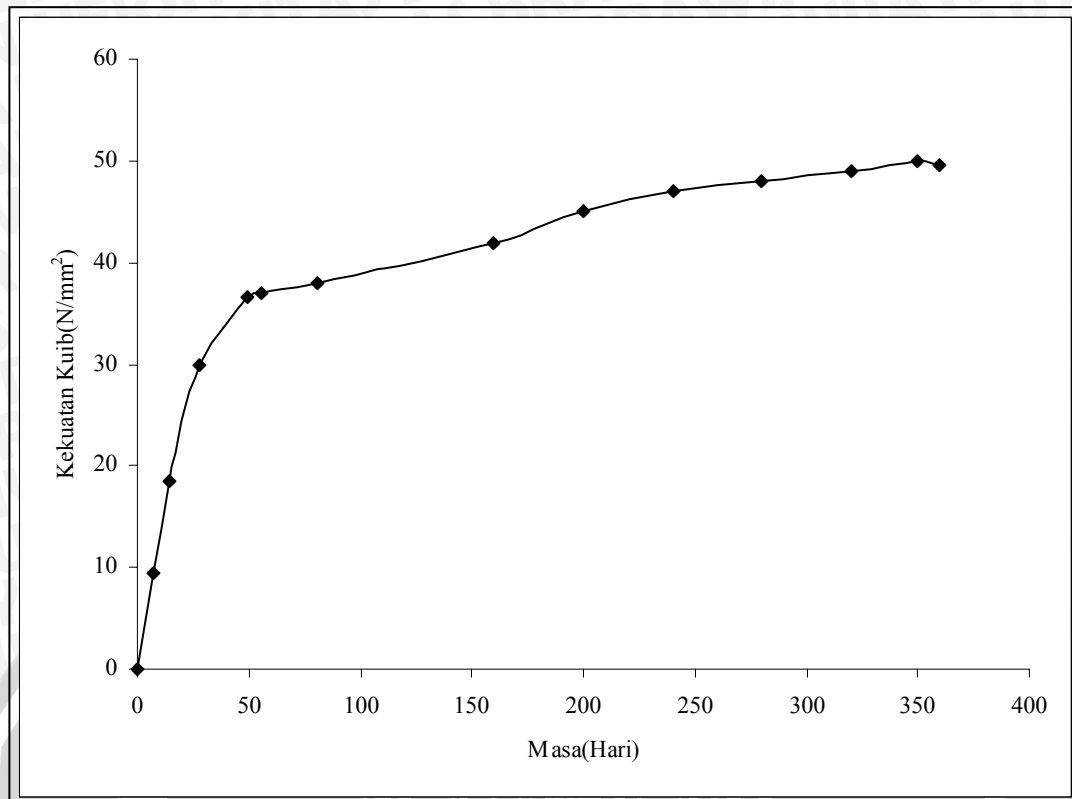


Gambar 2.11 : Tingkat Pepadatan Yang Tidak Sempurna Terhadap Kekuatan(Lydon, 1972)

## 2.9 Umur Mortar

Kekuatan mampatan mortar adalah semakin bertambah mengikuti umurnya. mortar yang tiada mengalami pengaruh faktor lain, kekuatannya akan selalu meningkat mengikuti umur sehingga menjadi kuat (Lydon, 1972). *Hubungannya adalah seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.12*





Gambar 2.12 : Hubungan Umur Dengan Kekuatan Kuib (Lydon, 1972)

## 2.10 Waktu Perawatan

Untuk menghasilkan mortar yang berkekuatan tinggi, mortar perlu dibuat pada suatu persekitaran yang sesuai. Tujuan perawatan mortar ialah untuk menentukan mortar agar basah atau hampir-hampir basah yaitu ruang matrik terisi air supaya mencapai hidrasi semen yang optimum. Tahap Perawatan diperlukan karena proses hidrasi semen akan terus terjadi dengan adanya air.

Carrasquillo, et al.(1981) menyatakan bahwa waktu perawatan yang lebih panjang akan menghasilkan kekuatan tekan yang lebih tinggi. Yuan, et al.(1991) juga menyatakan kepentingan perawatan. Dari hasil pengujian Yuan dan Nilson, di dapati bahwa waktu perawatan yang melebihi 28 hari dapat menghasilkan kekuatan tekan yang tinggi. Neville(1981) mengatakan dari pada kajiannya bahwa mortar yang dibuat basah menghasilkan kekuatan mampatan yang lebih tinggi dari pada yang dibuat kering.

## 2.11 Analisa Statistis

Statistik dalam praktek banyak berhubungan dengan angka, sehingga banyak orang yang menganggap sebagai sekumpulan data, namun selain merupakan sekumpulan data statistik juga dipakai untuk melakukan berbagai analisis terhadap data, seperti melakukan peramalan, melakukan uji hipotesis dan lain-lain.

Aplikasi ilmu statistik dalam berbagai bidang dapat dibagi dalam dua bagian Statistik Deskriptif : statistik ini berusaha menjelaskan atau menggambarkan berbagai karakteristik data seperti berapa rata-ratanya, seberapa jauh data bervariasi dan lain-lain.

Statistik Induktif (Inferensi) : berusaha membuat berbagai inferensi terhadap sekelompok data yang berasal dari suatu sampel, tindakan inferensi tersebut seperti melakukan perkiraan, peramalan, pengambilan keputusan dan sebagainya.

Dalam praktek kedua statistik tersebut dipakai bersama-sama, biasanya dimulai dengan statistik deskriptif lalu dilanjutkan dengan statistik inferensi, berdasarkan ukuran kenormalan data (data berasal dari populasi yang sama atau tidak) statistik induktif dibedakan menjadi dua bagian :

- a. Statistik parametrik : jika data yang akan diolah terdistribusi secara normal maka data tersebut dilakukan berbagai inferensi dengan metode statistik ini, yang termasuk dalam statistik ini antara lain uji T, uji F, uji korelasi dan regresi.
- b. Statistis nonparametrik : jika data yang akan diolah tidak terdistribusi secara normal maka data tersebut dilakukan berbagai inferensi dengan metode statistik ini, yang termasuk dalam statistik ini antara chi square test, sign test, median test dan lain-lain.

### Statistical Product and Service Solutions (SPSS)

Komputer memang didesain untuk melakukan pengolahan data yang didasarkan pada operasi matematika seperti ( $x$ ,  $/$ ,  $+$ ,  $-$ ) dan operasi logika ( $>$ ,  $<$ ,  $=$ ).

Dilain sisi statistik pada dasarnya adalah ilmu yang penuh dengan operasi perhitungan matematika, jadi proses pengolahan data statistik berbasis pula pada perhitungan matematika, maka computer menyediakan sarana pengolahan data statistik sehingga dihasilkan informasi yang relevan menjadi lebih cepat dan akurat.

Pengolahan data statistik dapat dilakukan dengan software yang khusus untuk pengolahan data statistik yang berupa data deskriptif maupun induktif dan menyajikan berbagai grafik yang relevan untuk membantu pengambilan keputusan.

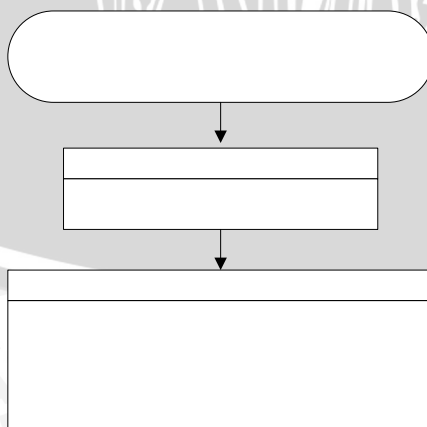
Sekarang banyak beredar berbagai paket program computer statistik seperti SPSS, statistica dan lain-lain, dari beberapa software yang ada saat ini, SPSS yang paling banyak digunakan.

SPSS sebagai software statistik, pertama kali dibuat tahun 1968 oleh tiga mahasiswa Stanford University, yang dioperasikan pada koputer mainframe, pada tahun 1984 SPSS pertama kali muncul dalam versi PC (dapat dipakai untuk computer desktop) dengan nama SPSS/PC+ dan sejalan dengan populernya sitem operasi windows pada 1994 sampai 1998 SPSS melakukan kebijakan strategis untuk pengembangan software statistik.

Hal ini membuat SPSS yang tadinya ditujukan bagi pengolahan data statistic untuk ilmu social (SPSS saat itu kepanjangan dari Statistical Package for the Social Science), sekarang diperluas untuk melayani berbagai unsure, sehingga sekarang kepanjangan SPSS adalah **Stastical Product and Service Solitions**.

Dalam penelitian ini penulis menggunakan program SPSS dengan tujuan untuk mempermudah pengujian data penelitian, dengan menggunakan program ini data yang sudah diperoleh bisa diuji apakah data tersebut sudah masuk pada sebaran normal, dan untuk menguji apakah hipotesa awal yang diambil benar atau salah.

Cara kerja SPSS ditunjukkan pada bagan dibawah ini :





Penjelasan proses diatas adalah :

- Data yang akan diproses dimasukkan lewat menu DATA EDITOR yang otomatis muncul dilayar saat SPSS dijalankan.
- Data yang telah diinput kemudian diproses, juga lewat DATA EDITOR.
- Hasil pengolahan data muncul dilayar yang lain dari SPSS, yaitu OUTPUT NAVIGATOR, pada menu output navigator, informasi atau output statistik dapat ditampilkan secara :
  - ✓ Teks atau tulisan, pengerjaan yang berhubungan dengan output berbentuk teks dapat dilakukan lewat menu TEXT OUTPUT EDITOR.
  - ✓ Tabel, pengerjaan yang berhubungan dengan output yang berbentuk tabel dapat dilakukan lewat menu PIVOT TABLE EDITOR.
  - ✓ Chart atau grafik, pekerjaan yang berhubungan dengan output berbentuk grafik dapat dilakukan lewat menu CHART EDITOR.

(Sumber : Singgih Santoso, 2001)

Langkah – langkah pengerjaan SPSS :

- Menginput / memasukkan data pada lembar kerja (SPSS Data Editor) dengan cara sebagai berikut :
  - Buka lembar kerja baru
  - Menamai variabel yang diperlukan : yang perlu diperhatikan disini adalah tipe data, isilah tipe data sesuai dengan variabel yang dimasukkan, misalkan variabel yang dimasukkan berupa huruf maka pilih tipe variabel *STRING*, jika variabel yang dimasukkan berupa angka tipe variabel *NUMERIK* dan sebagainya.
  - Masukkan data yang akan diolah : masukkan data kedalam lembar kerja SPSS
- Memproses data yang telah dimasukkan dengan prosedur statistik yang sesuai:
  - Lakukan pengujian dengan menggunakan statistik deskriptif seperti melakukan pengujian Normalitas, uji homogenitas, mencari mean, median, kuartil, dan sebagainya yang paling penting dari proses ini adalah uji normalitas untuk mengetahui kenormalan suatu data untuk proses pengujian

selanjutnya.

- lakukan pengujian dengan menggunakan statistik inferensi, untuk menentukan metode yang akan dipakai disini dilihat dari ukuran kenormalan datanya, jika data yang akan diolah sebarannya normal maka gunakan pengujian dengan metode statistik parametric, uji T, uji F, uji regresi dan lain-lain, jika data yang akan diolah sebarannya tidak normal maka gunakan pengujian dengan metode statistik non parametric seperti chi square test, sign test, median test dan lain-lain.

### 2.12 Hipotesis Penelitian

Hipotesa penelitian ini adalah

1. Adanya hubungan antara suhu air yang digunakan untuk bahan campuran pasta semen, bahwa semakin dingin suhu air yang digunakan untuk campuran akan membutuhkan waktu ikat awal yang lama dibandingkan dengan air suhu normal ( $22^{\circ}\text{C}$ ).
2. Adanya hubungan antara suhu air dengan kuat tekan mortar, bahwa semakin dingin suhu air yang digunakan akan meningkatkan kuat tekan mortar dibandingkan dengan suhu air normal ( $22^{\circ}\text{C}$ ).

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi, Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Brawijaya Malang, waktu penelitian direncanakan dimulai pada bulan September 2006.

#### 3.2 Peralatan dan Bahan

Sebelum melakukan penelitian perlu persiapan alat dan bahan diantaranya:

##### ❖ Alat

- Timbangan(neraca)
- Cetakan kubus ukuran 5 x 5 x 5 cm
- Gelas ukur dengan ketelitian 200 ml
- Stop watch
- Sendok perata (spatula)
- Tongkat besi pemadat mortar
- Alat pengaduk
- Mesin tekan
- 1 set alat vicat
- Termometer

##### ❖ Bahan

- Semen Gresik tipe 1
- Pasir
- Air (air yang ada dilingkungan Laboratorium Konstruksi Sipil yang suhunya divariasikan menjadi -2, 0, 5, 10, 15 dan 22<sup>0</sup>C)

#### 3.3 Prosedur Kerja Penelitian

Ada beberapa hal yang perlu dilaksanakan sebelum melakukan pembuatan benda uji diantaranya :

##### a. Batasan bahan penelitian

- Semen Portland



Dalam penelitian ini digunakan semen tipe 1 merek Gresik. Pemeriksaan semen dilakukan secara visual, dimana semen yang digunakan tidak menggumpal.

➤ Agregat Halus (Pasir)

Pasir yang digunakan adalah Pasir alam (untuk pengecoran)

➤ Air

Air yang disyaratkan untuk adukan mortar tidak mengandung zat organik dan telah divariasikan suhunya -2, 0, 5, 10, 15, 22 dan pada penelitian ini air yang digunakan adalah air yang berada di lingkungan Laboratorium Teknologi Beton Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang yang berasal dari PAM.

### 3.4 Metode Pembuatan Benda Uji

➤ Pembuatan Benda Uji Untuk Kuat Tekan Mortar

Langkah Pembuatan Benda Uji

1. Masukkan air pencampur sesuai dengan variasi suhu yang diinginkan, kontrol suhu air ditempat pengaduknya.
2. Masukkan semen dan pasir kedalam pengaduknya.
3. Jalankan mesin pengaduk dengan kecepatan  $(145 \pm 5)$  rpm selama 30 detik.
4. Hentikan mesin pengaduk, naikan putaran kecepatan menjadi  $(285 \pm 1)$  rpm selama 30 detik.
5. Hentikan mesin pengaduk dan segera bersihkan mortarnya yang menempel pada pinggir mangkok selama 15 detik, kemudian mortar biarkan selama 15 detik.
6. Aduk lagi mortar dengan kecepatan pengadukan  $(285 \pm 10)$  rpm selama satu menit.
7. Lakukan percobaan leleh dengan mengisi mortar ke dalam cincin yang terletak diatas meja leleh. Cincin ini diisi dalam dua lapis, dalam setiap lapis dipadatkan dengan menumbuk setiap lapis sebanyak 20 kali. Ratakan mortar dengan sendok perata (spatula) angkatlah cincin dan getarkan meja leleh sebanyak 25 kali selama 25 detik.
8. Ukurlah diameter leleh, sekurang-kurangnya ada 4 tempat dan ambil harga rata-rata. Diameter leleh harus antara 110-115% dari diameter semula.

9. Apabila diameter yang disyaratkan belum dapat ulangi pekerjaan dari 1 sampai 8 dengan merubah kadar air.
  10. Setelah diameter yang disyaratkan didapat, mortar dimasukan kedalam mangkok dan aduk kembali dengan kecepatan  $(285 \pm 10)$  rpm selama 13 detik.
  11. 30 detik setelah pengadukan, cetaklah mortar dengan cetakan kubus  $(5 \times 5 \times 5)$  cm cetakan diisi dalam 2 lapis dimana setiap lapis dipadatkan dengan menumbuk sebanyak 32 kali dalam 4 putaran. Keseluruhan waktu yang digunakan untuk mencetak mortar tidak lebih dari 2 menit.
  12. Tatakan permukaan mortar dengan sendok perata. Kemudian biarkan selama 24 jam.
  13. bukalah cetakan dan rendam mortar sesuai dengan umur yang diinginkan.
  14. Setelah mortar umur 7, 14, 21 dan 28 hari, benda uji siap untuk diuji tekan
- Pembuatan Benda Uji Untuk Waktu Ikat Awal Semen
- Langkah Pembuatan Benda Uji
1. Masukan air pencampur sesuai dengan variasi suhu yang diinginkan, kontrol suhu air ditempat pengaduknya.
  2. Masukan semen kedalam mangkok pengaduk, diamkan selama 15 detik..
  3. Jalankan mesin pengaduk dengan kecepatan  $(140 \pm 5)$  rpm selama 30 detik.
  4. Hentikan mesin pengaduk selama 15 detik, selama waktu ini bersihkan pasta yang menempel dipinggir mangkok.
  5. Aduk lagi mortar dengan kecepatan pengadukan  $(285 \pm 10)$  rpm selama satu menit.
  6. Buatlah pasta terbentuk seperti bola dengan tangan, kemudian lemparkan sebanyak 6 kali dari satu tangan ke tangan yang lain dengan jarak kira-kira 15 cm.
  7. Peganglah pasta dengan satu tangan, kemudian tekan kedalam cincin konik yang dipegang oleh tangan lain melalui lubang besar, sehingga cincin terisi penuh dengan pasta.
  8. Kelebihan pasta pada lubang besar diratakan dengan sendok perata (spatula) yang digerakan dengan posisi miring terhadap permukaan cincin.

9. Letakkan pelat kaca pada lubang besar, ratakan dan licinkan kelebihan pasta pada lubang kecil cincin konik dengan sendok perata.
10. Letakkan cincin konik dibawah jarum kecil vicat, kontakkan jarum dengan bagian tengah permukaan pasta.
11. Jatuhkan jarum setiap 15 menit sampai mencapai penurunan 25mm. Setiap menjatuhkan jarum catatlah penurunan yang terjadi selama 30 detik (masing-masing ditempat yang berbeda). Jarak antara titik setiap menjatuhkan jarum adalah 0,5 cm dan jarak titik dari pinggir cincin konik tidak boleh kurang dari 1 cm.

### 3.5 Rancangan Penelitian

#### 3.5.1 Prosedur Perhitungan Kuat Tekan Mortar

1. Benda untuk kuat tekan mortar 78 kubus mortar dengan ukuran 5x5x5 cm
2. Faktor umur :
  - 3 hari = 0,4
  - 7 hari = 0,65
  - 14 hari = 0,88
  - 28 hari = 0,95
3. Kuat Tekan = 
$$\frac{\text{Tekan} \times 100}{A \times \text{Faktor Umur}}$$
4. Rencana benda uji penelitian

Suhu Air Pencampur : °C

No	Luas Permukaan	Tanggal		umur (hari)	beban	Kuat tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	
		pembuatan	pengujian				
1	25 cm <sup>2</sup>			7			
2				14			
3				21			
4				28			



### 3.5.2 Prosedur Perhitungan Waktu Ikat Awal

1. Benda untuk waktu ikat awal pasta semen sebanyak 18 benda uji.
2. Waktu ikat awal terjadi apabila penurunan pada jarum vicat 25 mm.
3. Rencana benda uji penelitian

No	Waktu Penurunan (Menit)	Penurunan (mm) Dengan Variasi Suhu Air (°C)					
		-2	0	5	10	15	22
1	30						
2	45						
3	60						
4	75						

### 3.6 Pengumpulan dan Pengambilan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan membuat 72 buah benda uji kubus ukuran  $5 \times 5 \times 5$  cm<sup>2</sup> untuk pengujian kuat tekan mortar. Sedangkan untuk pengujian waktu ikat awal dipergunakan 18 buah benda uji.

Pengambilan data adalah dengan mencatat besar nilai waktu yang diperlukan untuk pengikatan semen dan kuat tekan hancur mortar kubus.

### 3.7 Variabel Penelitian

Ada dua variable dalam penelitian ini yaitu :

#### 1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti mengikuti aturan yang dipergunakan. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah suhu air yang digunakan untuk campuran mortar dengan suhu air sebagai berikut -2, 0, 5, 10, 15, dan 22.

#### 2. Variabel Terukur

Variabel terukur adalah variable yang nilainya tergantung dari variabel bebas. Variabel terukur dalam penelitian ini adalah waktu ikat awal dan kuat tekan mortar.

### 3.8 Analisa Data

Pengolahan dan analisa data menggunakan teknik statistik baik statistik deskriptif maupun analitik. Statistik diskriptif digunakan untuk mendiskripsikan variabel penelitian dalam bentuk rata-rata, simpangan baku, grafik dan lain-lain. Statistik analitik digunakan untuk menguji hipotesis dengan menggunakan varian satu arah.

Analisis varian satu arah dipergunakan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh pengaturan variasi suhu air terhadap waktu ikat awal dan kuat tekan mortar.

Bila ada suatu kasus dengan k sampel dan masing-masing mempunyai nilai rata-rata,  $U_1, U_2, U_3, \dots, U_k$ . Maka model ini dinamakan klasifikasi satu arah kemudian diuji dengan uji F yaitu untuk mengetahui apakah ada pengaruh yang nyata diantara variabel.

Hipotesis nol dan hipotesis alternatif ditulis dengan :

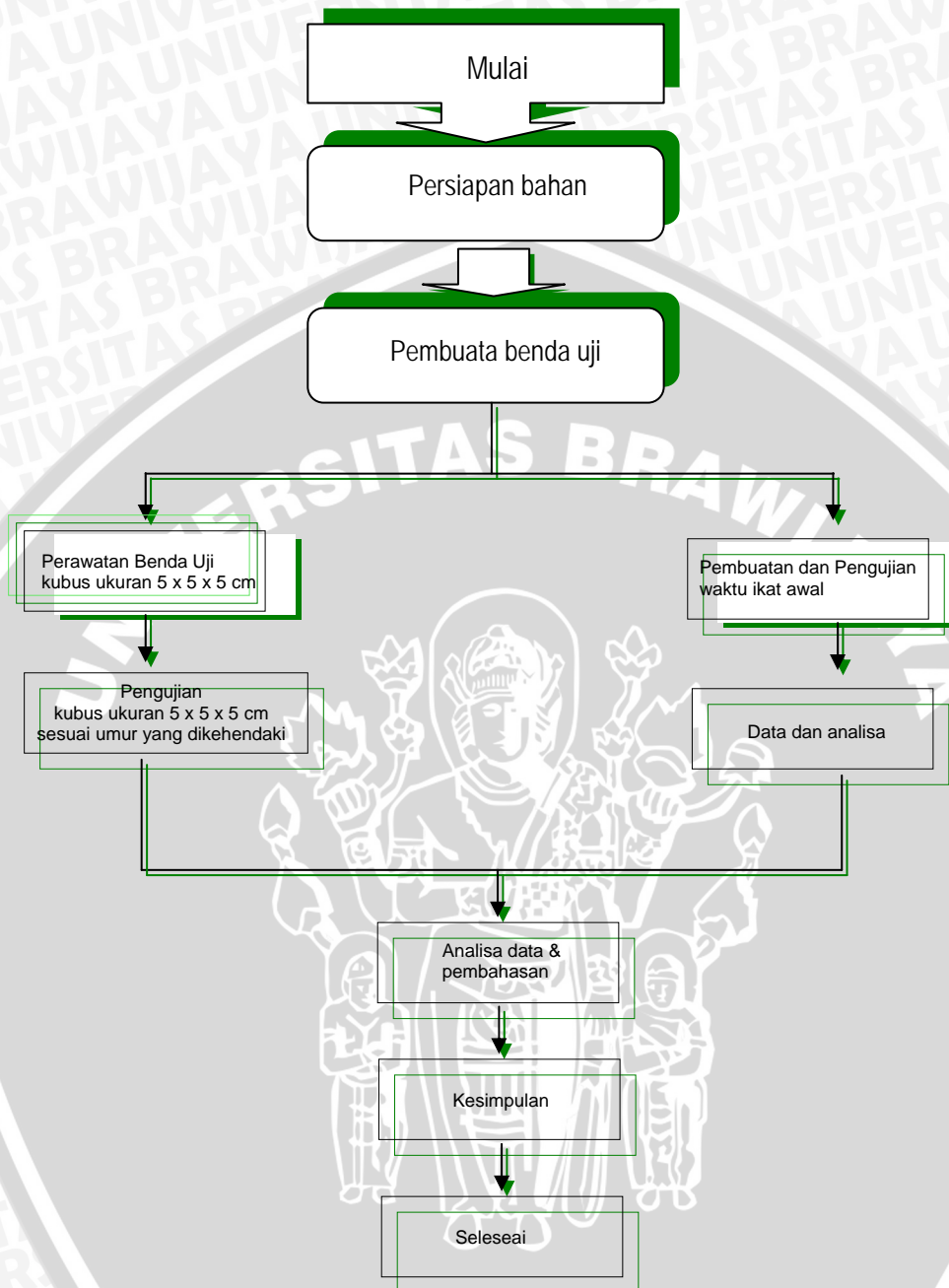
$$H_0 : U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_k$$

$$H_a : U_1 \neq U_2 \neq U_3 \neq \dots \neq U_k$$

$H_0$  diterima jika  $F_{hitung} < F_{tabel}$  artinya tidak terdapat pengaruh yang nyata dengan pengaturan variasi suhu air sebagai bahan pencampur terhadap waktu ikat awal dan kuat tekan mortar.

$H_0$  ditolak jika  $F_{hitung} > F_{tabel}$  artinya terdapat pengaruh yang nyata dengan memvariasikan suhu air sebagai bahan pencampur terhadap waktu ikat awal dan kuat tekan mortar.

### 3.9 Diagram Alir Penelitian





## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisa Bahan yang Digunakan

##### 4.1.1 Semen

Dalam penelitian ini tidak dilakukan analisa total terhadap semen yang dipakai (semen gresik type I) dengan pertimbangan semen tersebut merupakan hasil pabrikasi sehingga sudah memenuhi standart SII 0013.81

##### 4.1.2 Air

Air yang digunakan dalam pembuatan benda uji adalah air bersih dari Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) yang telah diatur suhunya yaitu pada suhu -2, 0, 5, 10, 15, dan 22<sup>0</sup> C. Pengaturan suhu yang dilakukan dengan cara air diberi gumpalan es. Air ini dianggap telah memenuhi syarat sebagai bahan pengaduk semen, sehingga dalam penelitian ini tidak dilakukan analisis lagi.

##### 4.1.3 Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir alam yang diambil dari daerah sekitar malang. *Perhitungan berat jenis dan absorpsi agregat halus dapat dilihat pada Lampiran 1. dan Hasil pemeriksaan agregat halus dapat dilihat pada tabel 4.1*

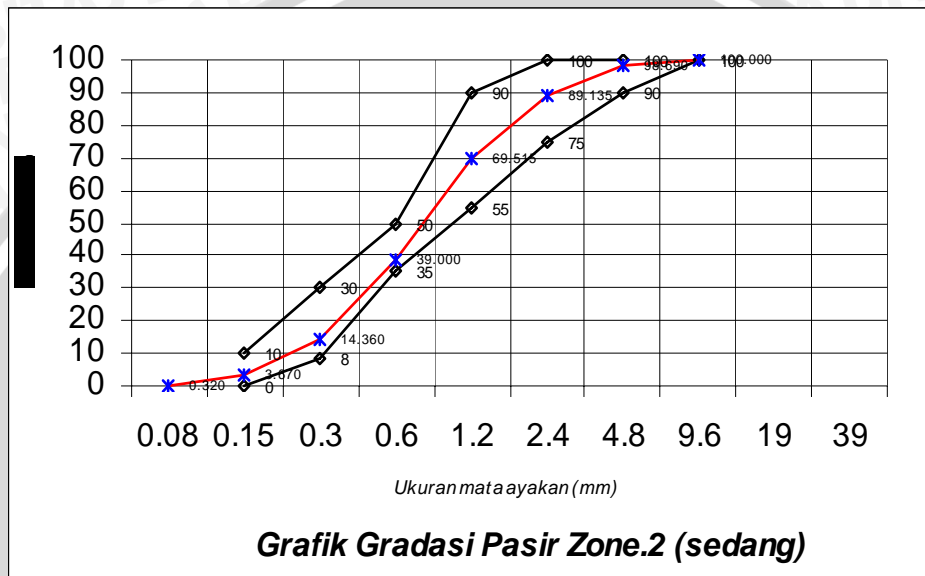
*Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus*

Jenis Pemeriksaan	Satuan	Nilai
Berat Jenis Curah	-	2,606
Berat Jenis SSD	-	2,618
Berat Jenis Semu	-	2,637
Absorpsi	%	0,452

Sumber : Hasil Penelitian

Setelah dilakukan pengujian gradasi pasir yang digunakan dalam penelitian ini, maka didapatkan bahwa pasir termasuk kedalam zona 2, yang menyatakan bahwa pasir bergradasi sedang dan bagus digunakan dalam adukan mortar, dengan kandungan lumpur  $0,320 \% < 5 \%$  yang disyaratkan, sehingga pasir tidak perlu dicuci untuk mengurangi kadar lumpur yang dapat merusak kekuatan mortar. Hasil perhitungan gradasi pasir dapat dilihat pada Lampiran 2, dan zona pasir terlampir pada Grafik 4.1 dibawah ini.

Grafik 4.1 Grafik Gradasi Agregat Halus



Sumber : Hasil Penelitian

Dari hasil pemeriksaan didapat berat jenis agregat adalah 2,618, berdasarkan berat jenisnya agregat diatas merupakan agregat normal karena memiliki berat jenis yang berkisar antara 2,5 sampai 2,7.

#### 4.2 Pengujian Waktu Ikat Awal Semen

Penelitian terhadap semen hanya dilakukan terhadap waktu ikat awalnya saja, yang sebelumnya dicari konsistensi normalnya dan didapatkan konsistensi normalnya 27,5 % penambahan air. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada tabel 4.2

Table 4.2 konsesistensi normal semen

No	Berat Semen	Berat Air	Kadar Air	Penurunan
1	500 gr	140 gr	28 %	4 mm
2	500 gr	140 gr	28 %	10,8 mm
3	500 gr	137,50 gr	27,50	27,5 mm

Sumber : Hasil Penelitian

Hasil Penelitian waktu ikat awal pasta semen dapat dilihat pada tabel 4.3 sampai tabel 4.8

Tabel 4.3 Waktu Ikat Awal Semen Suhu Air Pencampur  $-2^{\circ}C$

No	Waktu Penurunan ( Menit)	Penurunan (mm)			
		Benda Uji 1	Benda Uji 2	Benda Uji 3	Rata
1	30	42	42	42	42,00
2	45	42	42	42	42,00
3	60	42	42	42	42,00
4	75	42	42	42	42,00
5	90	42	42	42	42,00
6	105	42	42	42	42,00
7	120	42	42	42	42,00
8	135	42	41	42	41,67
9	150	42	41	42	41,67
10	165	40	39	39	39,33
11	180	37	35	36	36,00
12	195	34	30	31	31,67
13	200	26	25	27	26,00
14	202	25	25	25,5	25,17

Sumber : Penelitian

Tabel 4.4 Waktu Ikat Awal Semen Suhu Air Pencampur  $0^{\circ}C$

No	Waktu Penurunan ( Menit)	Penurunan (mm)			
		Benda Uji 1	Benda Uji 2	Benda Uji 3	Rata
1	30	40	40	40	40,00
2	45	40	40	40	40,00
3	60	40	40	40	40,00
4	75	40	40	40	40,00
5	90	40	40	40	40,00
6	105	40	40	40	40,00
7	120	40	40	39	39,67
8	135	39	40	39	39,33
9	150	37	38	35	36,67
10	165	31	32	31	31,33
11	180	28	27	29	28,00
12	184	25	26	26	25,67
13	185		25	24	24,50

Sumber : Penelitian



Tabel 4.5 Waktu Ikut Awal Semen Suhu Air Pencampur 5<sup>0</sup> C

No	Waktu Penurunan	Penurunan (mm)			
	( Menit)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	Benda Uji 3	Rata
1	30	42	42	40	41,33
2	45	42	42	40	41,33
3	60	42	42	40	41,33
4	75	42	42	40	41,33
5	90	42	42	40	41,33
6	105	42	42	40	41,33
7	120	42	42	39	41,00
8	135	39	42	39	40,00
9	150	38	40	35	37,67
10	165	29	31	31	30,33
11	170	28	27	29	28,00
12	175	26	26	26	26,00
13	176	25	24,5	26	25,17
14	180			25	

Sumber : Penelitian

Tabel 4.6 Waktu Ikut Awal Semen Suhu Air Pencampur 10<sup>0</sup> C

No	Waktu Penurunan	Penurunan (mm)			
	( Menit)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	Benda Uji 3	Rata
1	30	41	41	41	41,00
2	45	41	41	41	41,00
3	60	41	41	41	41,00
4	75	41	41	41	41,00
5	90	41	41	41	41,00
6	105	41	40	41	40,67
7	120	35	37	41	37,67
8	135	34	34	39	35,67
9	150	28	30	35	31,00
10	160	27	26	28	27,00
11	163	26	25	26	25,67
12	164	25	23,5	26	24,83
13	165			25,5	25,50
14	166			25	25,00

Sumber : Penelitian

Tabel 4.7 Waktu Ikat Awal Semen Suhu Air Pencampur 15<sup>0</sup> C

No	Waktu Penurunan	Penurunan (mm)			
	( Menit)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	Benda Uji 3	Rata
1	30	44	44	44	44,00
2	45	44	44	44	44,00
3	60	44	44	44	44,00
4	75	43	43	44	43,33
5	90	43	43	44	43,33
6	105	40	39	44	41,00
7	120	36	37	38	37,00
8	135	30	32	30	30,67
9	150	27	29	28	28,00
10	160	26	28	28	27,33
11	161	25	28	28	27,00
12	165	22	26	26	24,67
13	166		25	25	25,50
14					

Sumber : Penelitian

Tabel 4.8 Waktu Ikat Awal Semen Suhu Air Pencampur 22<sup>0</sup> C

No	Waktu Penurunan	Penurunan (mm)			
	( Menit)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	Benda Uji 3	Rata
1	30	41	41	41	41,00
2	45	41	41	41	41,00
3	60	41	41	41	41,00
4	75	41	41	41	41,00
5	90	41	41	41	41,00
6	105	41	41	41	41,00
7	120	41	37	35	37,67
8	135	37	29	30	32,00
9	150	30	27	28	28,33
10	155	30	26	25	27,00
11	160	27	25	23,5	25,17
12	165	26	23		26,00
13	166	25			25,50
14					

Sumber : Penelitian

#### 4.2.1 Pemeriksaan Berat Isi Benda Uji Mortar

Mortar dibuat berupa benda uji kubus dengan Ukuran 5 x 5 x 5 cm, setelah mencapai umur mortar yang ditentukan dalam penelitian ini yaitu (14, 7, 21 dan 28) hari maka dilakukan pengukuran dimensi pada benda uji dan ditimbang beratnya untuk mengetahui berat isinya, *berat isi benda uji terdapat pada Tabel 4.9 sampai dengan tabel 4.14 dibawah ini.*

Tabel 4.9 Berat Volume Benda Uji Dengan Suhu Air Pencampur -2<sup>o</sup>

No. Benda Uji	Berat (Gram)	Luas Permukaan ( cm <sup>2</sup> )	Tanggal		Umur	Berat Isi
			Pembuatan	Pengujian		
1	293	25	16/11/2006	23/11/2006	7	2,34
	290					2,32
	290					2,32
2	289		16/11/2006	30/11/2006	14	2,31
	285					2,28
	290					2,32
3	298		23/11/2006	14/12/2006	21	2,38
	285					2,28
	297					2,37
4	290		23/11/2006	21/12/2006	28	2,32
	302					2,41
	293					2,34

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4.10 Berat Volume Benda Uji Dengan Suhu Air Pencampur 0<sup>o</sup>

No. Benda Uji	Berat (Gram)	Luas Permukaan ( cm <sup>2</sup> )	Tanggal		Umur	Berat Isi
			Pembuatan	Pengujian		
1	284	25	16/11/2006	23/11/2006	7	2,27
	280					2,24
	284					2,27
2	288		16/11/2006	30/11/2006	14	2,30
	280					2,24
	288					2,30
3	305		23/11/2006	14/12/2006	21	2,44
	295					2,36
	293					2,34
4	300		23/11/2006	21/12/2006	28	2,40
	299					2,39
	290					2,32

Sumber : Hasil Penelitian



Tabel 4.11 Berat Volume Benda Uji Dengan Suhu Air Pencampur 5<sup>0</sup>

No. Benda Uji	Berat (Gram)	Luas Permukaan (cm <sup>2</sup> )	Tanggal		Umur	Berat Isi
			Pembuatan	Pengujian		
1	280	25	16/11/2006	23/11/2006	7	2,24
	284					2,27
	284					2,27
2	280		16/11/2006	30/11/2006	14	2,24
	280					2,24
	288					2,30
3	293		23/11/2006	14/12/2006	21	2,34
	300					2,40
	291					2,32
4	295		23/11/2006	21/12/2006	28	2,36
	300					2,40
	304					2,43

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4.12 Berat Volume Benda Uji Dengan Suhu Air Pencampur 10<sup>0</sup>

No. Benda Uji	Berat (Gram)	Luas Permukaan (cm <sup>2</sup> )	Tanggal		Umur	Berat Isi
			Pembuatan	Pengujian		
1	286	25	16/11/2006	23/11/2006	7	2,28
	280					2,24
	285					2,28
2	280		16/11/2006	30/11/2006	14	2,24
	280					2,24
	288					2,30
3	290		23/11/2006	14/12/2006	21	2,32
	290					2,32
	300					2,40
4	290		23/11/2006	21/12/2006	28	2,32
	290					2,32
	298					2,38

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4.13 Berat Volume Benda Uji Dengan Suhu Air Pencampur 15<sup>0</sup>

No. Benda Uji	Berat (Gram)	Luas Permukaan (cm <sup>2</sup> )	Tanggal		Umur	Berat Isi
			Pembuatan	Pengujian		
1	285	25	16/11/2006	23/11/2006	7	2,28
	280					2,24
	287					2,29
2	284		16/11/2006	30/11/2006	14	2,27
	280					2,24
	282					2,25
3	294		23/11/2006	14/12/2006	21	2,35
	291					2,32
	293					2,34
4	298		23/11/2006	21/12/2006	28	2,38
	290					2,32
	296					2,36

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4.14 Berat Volume Benda Uji Dengan Suhu Air Pencampur 22<sup>0</sup>

No. Benda Uji	Berat (Gram)	Luas Permukaan (cm <sup>2</sup> )	Tanggal		Umur	Berat Isi
			Pembuatan	Pengujian		
1	280	25	16/11/2006	23/11/2006	7	2,24
	280					2,24
	280					2,24
2	284		16/11/2006	30/11/2006	14	2,27
	290					2,32
	290					2,32
3	283		23/11/2006	14/12/2006	21	2,26
	279					2,23
	279					2,23
4	283		23/11/2006	21/12/2006	28	2,26
	306					2,44
	288					2,30

Sumber : Hasil Penelitian

### 4.3 Pengujian Kuat Tekan Mortar

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan kuat tekan mortar semen Portland dengan benda uji berbentuk kubus ukuran 5 x 5 x 5 cm. Dan setelah mencapai umur perawatan yang ditentukan yaitu (14, 7, 21 dan 28) hari kubus mortar tersebut diuji kuat tekan. *Kuat tekan benda uji mortar terdapat pada tabel 4.15 sampai dengan 4.20*

Tabel 4.15 Kuat Tekan Mortar Suhu Air Pencampur -2<sup>0</sup>

No. Benda Uji	Berat (Gram)	Berat Isi	Luas Permukaan (cm <sup>2</sup> )	Tanggal		Umur	Beban (kN)	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rata (kg/cm <sup>2</sup> )
				Pembuatan	Pengujian				
1	293	2,34	25	16/11/2006	23/11/2006	7	54,30	217,20	234,13
	290	2,32					61,20	244,80	
	290	2,32					60,10	240,40	
2	289	2,31		16/11/2006	30/11/2006	14	80,50	322,00	326,67
	285	2,28					80,20	320,80	
	290	2,32					84,30	337,20	
3	298	2,38		23/11/2006	14/12/2006	21	95,20	380,80	345,87
	285	2,28					79,00	316,00	
	297	2,37					85,20	340,80	
4	290	2,32		23/11/2006	21/12/2006	28	78,50	314,00	370,93
	302	2,41					98,80	395,20	
	293	2,34					100,90	403,60	

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4.16 Kuat Tekan Mortar Suhu Air Pencampur 0<sup>0</sup>

No. Benda Uji	Berat (Gram)	Berat Isi	Luas Permukaan (cm <sup>2</sup> )	Tanggal		Umur	Beban	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rata (kg/cm <sup>2</sup> )
				Pembuatan	Pengujian				
1	284	2,27	25	16/11/2006	23/11/2006	7	41,90	167,60	205,87
	280	2,24					52,20	208,80	
	284	2,27					60,30	241,20	
2	288	2,30		16/11/2006	30/11/2006	14	84,30	337,20	323,60
	280	2,24					74,10	296,40	
	288	2,30					84,30	337,20	
3	305	2,44		23/11/2006	14/12/2006	21	76,20	304,80	388,80
	295	2,36					101,20	404,80	
	293	2,34					114,20	456,80	
4	300	2,40		23/11/2006	21/12/2006	28	90,50	362,00	434,93
	299	2,39					108,50	434,00	
	290	2,32					127,20	508,80	

Sumber : Hasil Penelitian



Tabel 4.17 Kuat Tekan Mortar Suhu Air Pencampur 5<sup>0</sup>

No. Benda Uji	Berat (Gram)	Berat Isi	Luas Permukaan (cm <sup>2</sup> )	Tanggal		Umur	Beban (kN)	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rata (kg/cm <sup>2</sup> )
				Pembuatan	Pengujian				
1	280	2.24	25	16/11/2006	23/11/2006	7	60.70	242.80	229.20
	284	2.27					50.90	203.60	
	284	2.27					60.30	241.20	
2	280	2.24		16/11/2006	30/11/2006	14	85.40	341.60	321.07
	280	2.24					71.10	284.40	
	288	2.30					84.30	337.20	
3	293	2.34		23/11/2006	14/12/2006	21	104.20	416.80	398.27
	300	2.40					98.30	393.20	
	291	2.32					96.20	384.80	
4	295	2.36		23/11/2006	21/12/2006	28	129.20	516.80	450.80
	300	2.40					110.10	440.40	
	304	2.43					98.80	395.20	

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4.18 Kuat Tekan Mortar Suhu Air Pencampur 10<sup>0</sup>

No. Benda Uji	Berat (Gram)	Berat Isi	Luas Permukaan (cm <sup>2</sup> )	Tanggal		Umur	Beban (kN)	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rata (kg/cm <sup>2</sup> )
				Pembuatan	Pengujian				
1	286	2.28	25	16/11/2006	23/11/2006	7	31.30	125.20	135.07
	280	2.24					30.00	120.00	
	285	2.28					40.00	160.00	
2	280	2.24		16/11/2006	30/11/2006	14	73.10	292.40	279.47
	280	2.24					52.20	208.80	
	288	2.30					84.30	337.20	
3	290	2.32		23/11/2006	14/12/2006	21	49.00	196.00	388.39
	290	2.32					112.29	449.16	
	300	2.40					130.00	520.00	
4	290	2.32		23/11/2006	21/12/2006	28	110.30	441.20	440.40
	290	2.32					120.20	480.80	
	298	2.38					99.80	399.20	

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4.19 Kuat Tekan Mortar Suhu Air Pencampur 15<sup>0</sup>

No. Benda Uji	Berat (Gram)	Berat Isi	Luas Permukaan (cm <sup>2</sup> )	Tanggal		Umur	Beban (kN)	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rata (kg/cm <sup>2</sup> )
				Pembuatan	Pengujian				
1	285	2.28	25	16/11/2006	23/11/2006	7	42.30	169.20	159.20
	280	2.24					36.60	146.40	
	287	2.29					40.50	162.00	
2	284	2.27		16/11/2006	30/11/2006	14	64.60	258.40	301.07
	280	2.24					89.50	358.00	
	282	2.25					71.70	286.80	
3	294	2.35		23/11/2006	14/12/2006	21	112.00	448.00	339.73
	291	2.32					81.40	325.60	
	293	2.34					61.40	245.60	
4	298	2.38		23/11/2006	21/12/2006	28	117.40	469.60	477.73
	290	2.32					136.90	547.60	
	296	2.36					104.00	416.00	

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4.20 Kuat Tekan Mortar Suhu Air Pencampur 22<sup>0</sup>

No. Benda Uji	Berat (Gram)	Berat Isi	Luas Permukaan (cm <sup>2</sup> )	Tanggal		Umur	Beban (kN)	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rata (kg/cm <sup>2</sup> )
				Pembuatan	Pengujian				
1	280	2.24	25	16/11/2006	23/11/2006	7	22.50	90.00	133.73
	280	2.24					40.50	162.00	
	280	2.24					37.30	149.20	
2	284	2.27		16/11/2006	30/11/2006	14	62.50	250.00	222.27
	290	2.32					41.90	167.60	
	290	2.32					62.30	249.20	
3	283	2.26		23/11/2006	14/12/2006	21	66.00	264.00	332.27
	279	2.23					88.60	354.40	
	279	2.23					94.60	378.40	
4	283	2.26		23/11/2006	21/12/2006	28	91.60	366.40	375.33
	306	2.44					101.50	406.00	
	288	2.30					88.40	353.60	

Sumber : Hasil Penelitian

#### 4.4 Perawatan Mortar

Perawatan dilakukan untuk menjamin tersedianya air, guna proses hidrasi dan perawatan yang dilakukan terhadap benda uji adalah sebagai berikut :

1. Benda uji dikeluarkan dari cetakan setelah 24 jam.
2. Selama umur rencana benda uji direndam dalam bak perendam.
3. Benda uji diangkat dari bak perendaman 3 hari kemudian benda uji dibiarkan kering di udara terbuka sebelum benda uji mau di uji sesuai dengan umur yang direncanakan.

#### 4.5 Pengujian Hipotesis

Hipotesa penelitian ini adalah

1. Adanya hubungan antara suhu air yang digunakan untuk bahan campuran pasta semen, bahwa semakin dingin suhu air yang digunakan untuk campuran akan membutuhkan waktu ikat awal yang lama dibandingkan dengan dipakainya air suhu normal ( $22^{\circ}\text{C}$ ).
2. Adanya hubungan antara suhu air dengan kuat tekan mortar, bahwa semakin dingin suhu air yang digunakan akan meningkatkan kuat tekan mortar dibandingkan dengan dipakainya suhu air normal ( $22^{\circ}\text{C}$ ).

Berdasarkan hipotesis penelitian pada sub bab 2.12 bahwa suhu air sebagai bahan campuran mortar akan berpengaruh terhadap waktu ikat awal dan kuat tekan mortar dengan asumsi awal semakin dingin suhu air semakin baik nilai kuat tekan mortar dan semakin lama waktu ikat awal semen, pengujian hipotesis dilakukan dengan menggunakan analisa perbedaan rata-rata dengan T-test, karena pada penelitian ini akan diuji dua variabel bebas yang saling berhubungan yaitu hubungan antara variasi suhu air (Nsa) dengan hubungan waktu ikat awal pasta semen (Wt) dan variasi suhu air (Nsa) dengan kuat tekan mortar (Ft).

Hipotesis ini secara statistik dapat dijelaskan sebagai berikut :

$$H_0 = \mu_0 = \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n$$

$$H_1 = \mu_0 \neq \mu_1 \neq \mu_2 \neq \dots \neq \mu_n$$

dengan :

$H_0$  ; Hipotesis awal, yang menyatakan tidak ada pengaruh antara suhu air sebagai bahan campuran dengan waktu ikat awal dan kuat tekan mortar



$H_1$  ; Hipotesis alternatif, yang menyatakan ada pengaruh antara suhu air sebagai bahan campuran dengan waktu ikat awal dan kuat tekan mortar

Dengan menggunakan persamaan uji hipotesis data, kriteria pengujian analisa perbedaan rata rata T-test dengan memakai uji Paired Sample t-test adalah :

$$\alpha = 0,05 \text{ (resiko kegagalan)}$$

$$n = 6 \text{ (jumlah data)}$$

Batas kritis derajat kebebasan (Degree of Freedom) pada tabel analisa T-test adalah :

$$df = n-1$$

$$df = 6-1 = 5$$

#### 4.6 Pengujian Hipotesis

Dari tabel T-test didapat sebagai berikut:

- ❖ Uji Hubungan antara variasi suhu air (Nsa) dengan waktu ikat awal semen (Wt)

$$t(0,025 ; 5) = 2,571$$

Dengan menggunakan software SPSS 11 untuk menguji nilai t-test dari data dibawah ini, maka diperoleh output sebagai berikut :

**Tabel 4.21 Data uji T-test**

No	Suhu Air (Nsa)	Waktu Ikat Awal (Menit)
1	-2 <sup>0</sup> C	202
2	0 <sup>0</sup> C	184
3	5 <sup>0</sup> C	176
4	10 <sup>0</sup> C	164
5	15 <sup>0</sup> C	165
6	22 <sup>0</sup> C	165

Sumber : Hasil Penelitian

**Tabel 4.22 Output uji SPSS - Paired Samples t-test untuk Nsa - Wt**

*Paired Samples Statistics*

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 Nsa	8,333	6	9,1797	3,7476
Wt	176,0000	6	15,0067	6,1264

Paired Samples Statistics

		Paired Difference					t	df	Sig. (2- tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	Nsa - Wt	- 167,6667	23,2608	9,4962	-192,0774	-143,2559	17,656	5	,000

Analisa data berdasarkan output dari SPSS 11 yaitu :

- ✓ Dari tabel 4.22 analisa t-test antara hubungan variasi suhu air dengan waktu ikat awal didapat nilai  $t_{hitung} = 17,656$  sedangkan  $t_{tabel} = 2,571$  dan nilai output signifikansi sebesar 0,000
- ✓ sesuai ketentuan jika output signifikan  $< 0,05$ , dan  $t_{hitung} > t_{tabel}$  ( $17,656 > 2,571$ ) maka ***Ho ditolak (ada pengaruh variasi suhu air terhadap waktu ikat awal)***.
- ❖ Uji Hubungan antara Variasi Suhu Air (Nsa) dengan Kuat Tekan Mortar (Ft)  
 $t(0,025 ; 5) = 2,571$

Dengan menggunakan software SPSS 11 untuk menguji nilai t-test dari data dibawah ini, maka diperoleh output sebagai berikut :

**Tabel 4.23 Data uji T-test**

Umur (Hari)	Suhu Air (Nsa)	Kuat Tekan (kN/Cm <sup>2</sup> )
7	-2 <sup>0</sup> C	234
	0 <sup>0</sup> C	206
	5 <sup>0</sup> C	229
	10 <sup>0</sup> C	135
	15 <sup>0</sup> C	159
	22 <sup>0</sup> C	134

**Tabel 4.24 Output uji SPSS - Paired Samples t-test untuk Nsa-ft**

Paired Samples Statistics

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair Nsa	8,333	6	9,1797	3,7476
1 Ft7	45,7550	6	11,4429	4,6715



Paired Samples Statistics

		Paired Difference				t	df	Sig. (2- tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower				Upper
Pair 1	Sa - Wt	- 37,4217	19,8380	8,0988	-58,2404	-16,6030	4,6030	5	,006

Analisa data berdasarkan output dari SPSS 11 yaitu :

- ✓ dari tabel 4.22 analisa t-test antara hubungan variasi suhu air dengan waktu ikat awal didapat nilai t hitung = 4,6030 sedangkan t tabel = 2,571 dan nilai output signifikansi sebesar 0,006
- ✓ sesuai ketentuan jika output signifikan <0,05, dan  $t_{hitung} > t_{tabel}$  (4,6030 > 2,571) maka **Ho ditolak (ada pengaruh variasi suhu air terhadap kuat tekan mortar).**
- ❖ Uji Hubungan antara Variasi Suhu Air (Nsa) dengan Kuat Tekan Mortar (Ft)  
 $t(0,025 ; 5) = 2,571$

Dengan menggunakan software SPSS 11 untuk menguji nilai t-test dari data dibawah ini, maka diperoleh output sebagai berikut :

**Tabel 4.25 Data uji T-test**

Umur (Hari)	Suhu Air (Nsa)	Kuat Tekan (kN/Cm <sup>2</sup> )
14	-2 <sup>o</sup> C	327
	0 <sup>o</sup> C	324
	5 <sup>o</sup> C	321
	10 <sup>o</sup> C	279
	15 <sup>o</sup> C	301
	22 <sup>o</sup> C	222

**Tabel 4.26 Output uji SPSS - Paired Samples t-test untuk Nsa-ft**

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair	Nsa	8,3333	6	9,1797	3,7476
1	Ft14	73,9250	6	10,0404	4,0990



Paired Samples Statistics

		Paired Difference				t	df	Sig. (2- tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower				Upper
Pair 1	Sa - Wt	- 65,5917	18,6617	7,6168	-85,1759	-46,0075	8,609	5	,000

Analisa data berdasarkan output dari SPSS 11 yaitu :

- ✓ dari tabel 4.26 analisa t-test antara hubungan variasi suhu air dengan waktu ikat awal didapat nilai  $t_{hitung} = 8,609$  sedangkan  $t_{tabel} = 2,571$  dan nilai output signifikansi sebesar 0,000
- ✓ sesuai ketentuan jika output signifikan  $<0,05$ , dan  $t_{hitung} > t_{tabel}$  ( $8,609 > 2,571$ ) maka ***Ho ditolak (ada pengaruh variasi suhu air terhadap kuat tekan mortar).***

- ❖ Uji Hubungan antara Variasi Suhu Air (Nsa) dengan Kuat Tekan Mortar (Ft)  
 $t(0,025 ; 5) = 2,571$

Dengan menggunakan software SPSS 11 untuk menguji nilai t-test dari data dibawah ini, maka diperoleh output sebagai berikut :

**Tabel 4.27 Data uji T-test**

Umur (Hari)	Suhu Air (Nsa)	Kuat Tekan (kN/Cm <sup>2</sup> )
21	-2 <sup>o</sup> C	346
	0 <sup>o</sup> C	389
	5 <sup>o</sup> C	398
	10 <sup>o</sup> C	388
	15 <sup>o</sup> C	340
	22 <sup>o</sup> C	332

**Tabel 4.28 Output uji SPSS - Paired Samples t-test untuk Nsa-ft**

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair	Nsa	8,3333	6	9,1797	3,7476
1	Ft21	91,4567	6	7,2750	2,9700



Paired Samples Statistics

		Paired Difference				t	df	Sig. (2- tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower				Upper
Pair 1	Sa - Wt	- 83,1233	14,4113	5,8834	-98,2471	-67,9996	14,128	5	,000

Analisa data berdasarkan output dari SPSS 11 yaitu :

- ✓ dari tabel 4.28 analisa t-test antara hubungan variasi suhu air dengan waktu ikat awal didapat nilai t hitung = 14,128 sedangkan t tabel = 2,571 dan nilai output signifikansi sebesar 0,000
- ✓ sesuai ketentuan jika output signifikan  $<0,05$ , dan  $t_{hitung} > t_{tabel}$  ( $14,128 > 2,571$ ) maka ***Ho ditolak (ada pengaruh variasi suhu air terhadap kuat tekan mortar).***

- ❖ Uji Hubungan antara Variasi Suhu Air (Nsa) dengan Kuat Tekan Mortar (Ft)  
 $t(0,025 ; 5) = 2,571$

Dengan menggunakan software SPSS 11 untuk menguji nilai t-test dari data dibawah ini, maka diperoleh output sebagai berikut :

**Tabel 4.29 Data uji T-test**

Umur (Hari)	Suhu Air (Nsa)	Kuat Tekan (ft)
28	-2° C	371
	0° C	435
	5° C	451
	10° C	440
	15° C	478
	22° C	375

**Tabel 4.30 Output uji SPSS - Paired Samples t-test untuk Nsa-ft**

Paired Samples Statistics

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 Nsa	8,3333	6	9,1797	3,7476
1 Ft28	91,4567	6	7,2750	2,9700



## Paired Samples Statistics

		Paired Difference				t	df	Sig. (2- tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower				Upper
Pair 1	Sa - Wt	-- 97,9200	13,7877	5,62,88	-112,3893	-83,4507	17,396	5	,000

Analisa data berdasarkan output dari SPSS 11 yaitu :

- ✓ dari tabel 4.30 analisa t-test antara hubungan variasi suhu air dengan waktu ikat awal didapat nilai t hitung = 17,396 sedangkan t tabel = 2,571 dan nilai output signifikansi sebesar 0,000
- ✓ sesuai ketentuan jika output signifikan  $<0,05$ , dan  $t_{hitung} > t_{tabel}$  ( $17,396 > 2,571$ ) maka ***Ho ditolak (ada pengaruh variasi suhu air terhadap kuat tekan mortar).***



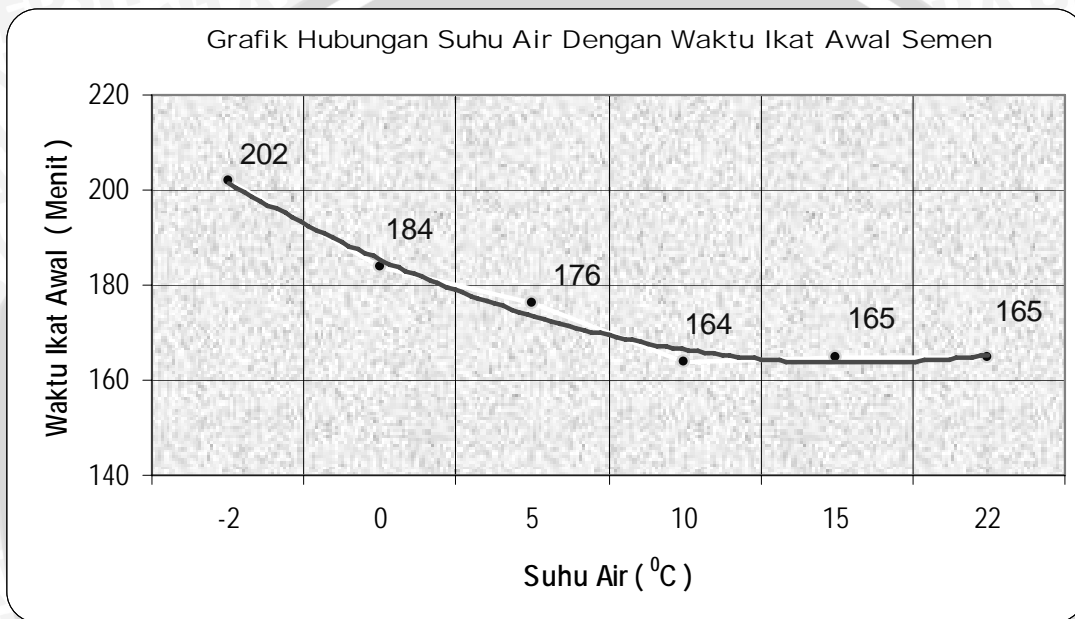


## 4.7 Pembahasan

### 4.7.1 Pembahasan Pengaruh Variasi Suhu Air Terhadap Waktu Ikut

Dari data pengujian waktu ikat awal, yang selanjutnya di uji hipotesis dengan alat bantu komputer program SPSS menyatakan adanya pengaruh suhu air pengecoran terhadap waktu ikat awal pasta semen. Semakin dingin suhu air yang digunakan akan membutuhkan waktu ikat yang agak lama dibandingkan dengan suhu air normal.

**Gambar 4.2 Grafik Hubungan Suhu Air dan Waktu Ikut Awal**



### 4.7.2 Pembahasan Pengaruh Variasi Suhu Air Terhadap Kuat Tekan Mortar

Berdasarkan uji perbedaan rata-rata dengan uji paired sample t-test didapatkan adanya hubungan antara variasi suhu air dengan kuat tekan mortar baik pada usia 7, 14, 21 dan 28 hari. Adapun hubungannya adalah semakin dingin suhu air yang digunakan ( $-2^{\circ}$ ) tidak menghasilkan kekuatan tekan mortar yang maksimum akan tetapi terdapat kondisi suhu optimum ( $8^{\circ}\text{C}$ ) yang menghasilkan kekuatan tertinggi pada umur 28 hari.

#### a. Umur 7 Hari

Suhu	Kuat Tekan (kN/cm <sup>2</sup> )	Naik (%)
-2	234	74,63
0	206	53,73
5	229	70,90
10	135	0,75
15	159	18,66
22	134	0,00

## b. Umur 14 Hari

Suhu	Kuat Tekan (kN/cm <sup>2</sup> )	Naik (%)
-2	327	47,30
0	324	45,95
5	321	44,59
10	279	25,68
15	301	35,59
22	222	0,00

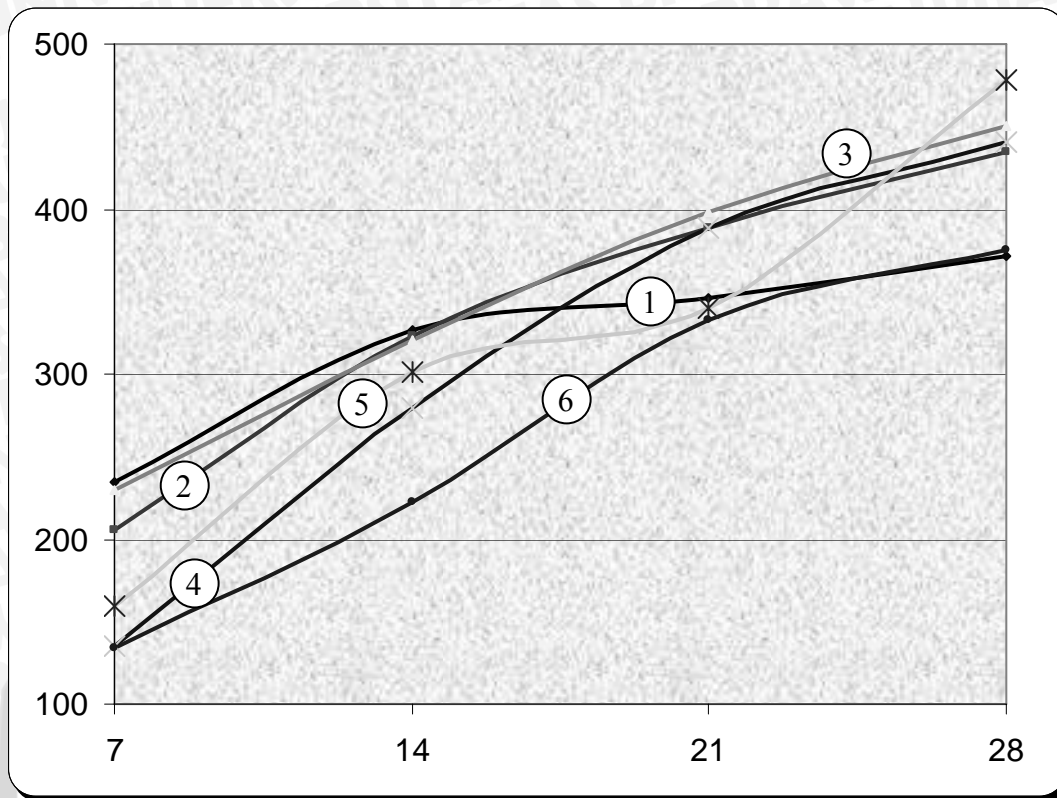
## c. Umur 21 Hari

Suhu	Kuat Tekan (kN/cm <sup>2</sup> )	Naik (%)
-2	346	4,22
0	389	17,17
5	398	19,88
10	388	16,87
15	340	2,41
22	332	0,00

## d. Umur 28 Hari

Suhu	Kuat Tekan (kN/cm <sup>2</sup> )	Naik (%)
-2	371	-1,07
0	435	16,00
5	451	20,27
10	440	17,33
15	478	27,47
22	375	0,00

Gambar 4.3 Grafik Hubungan Umur dan Kuat Tekan Mortar

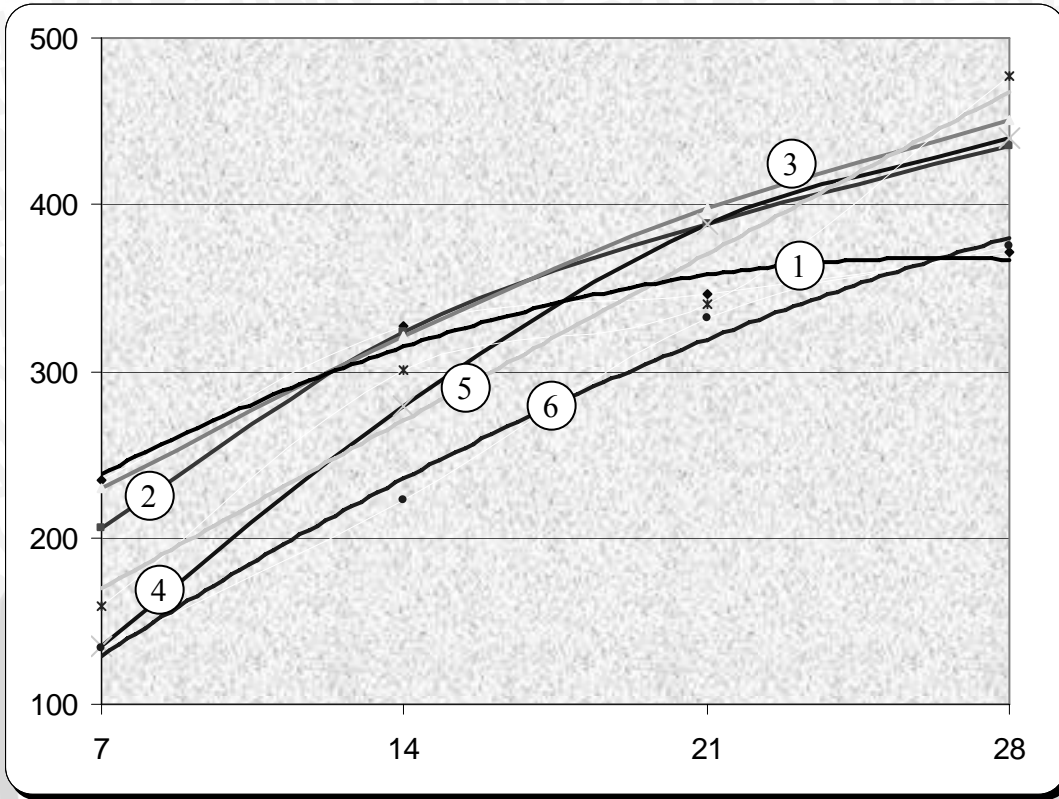
**Keterangan :**

1. Suhu Air -2<sup>0</sup> C
2. Suhu Air 0<sup>0</sup> C
3. Suhu Air 5<sup>0</sup> C
4. Suhu Air 10<sup>0</sup> C
5. Suhu Air 15<sup>0</sup> C
6. Suhu Air 22<sup>0</sup> C





**Gambar 4.4 Grafik Hasil Regresi Hubungan Umur dan Kuat Tekan Mortar**  
 Perhitungan Hasil Regresi Hubungan Umur dan Kuat Tekan Terlampir Pada Lampiran 3

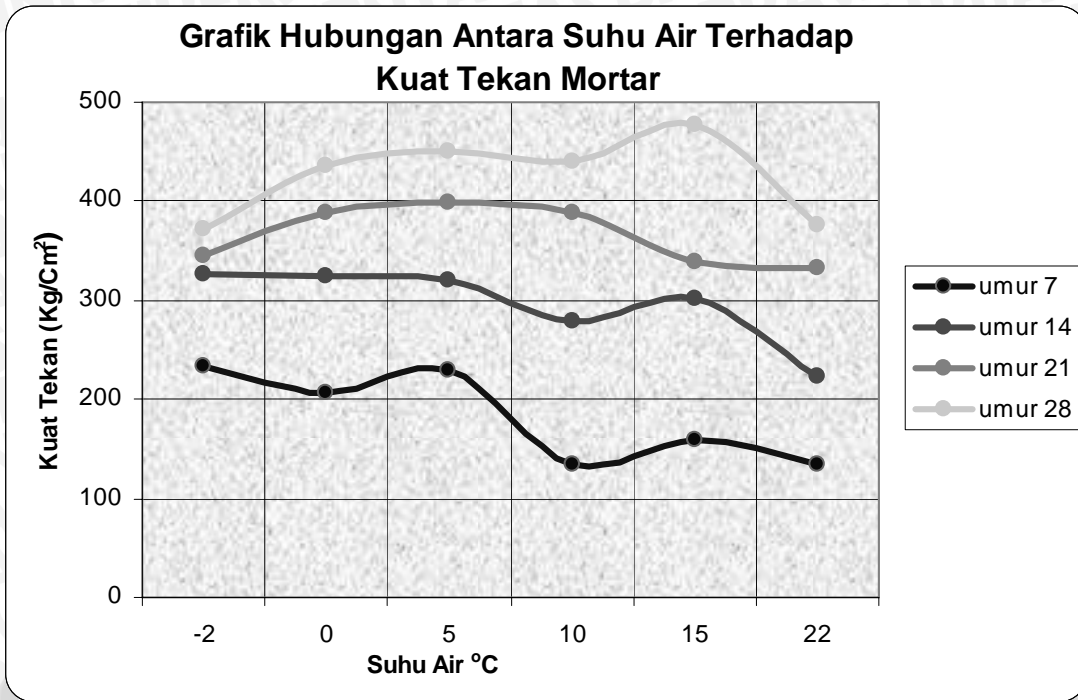


**Keterangan :**

1. Suhu Air -2<sup>0</sup> C
2. Suhu Air 0<sup>0</sup> C
3. Suhu Air 5<sup>0</sup> C
4. Suhu Air 10<sup>0</sup> C
5. Suhu Air 15<sup>0</sup> C
6. Suhu Air 22<sup>0</sup> C

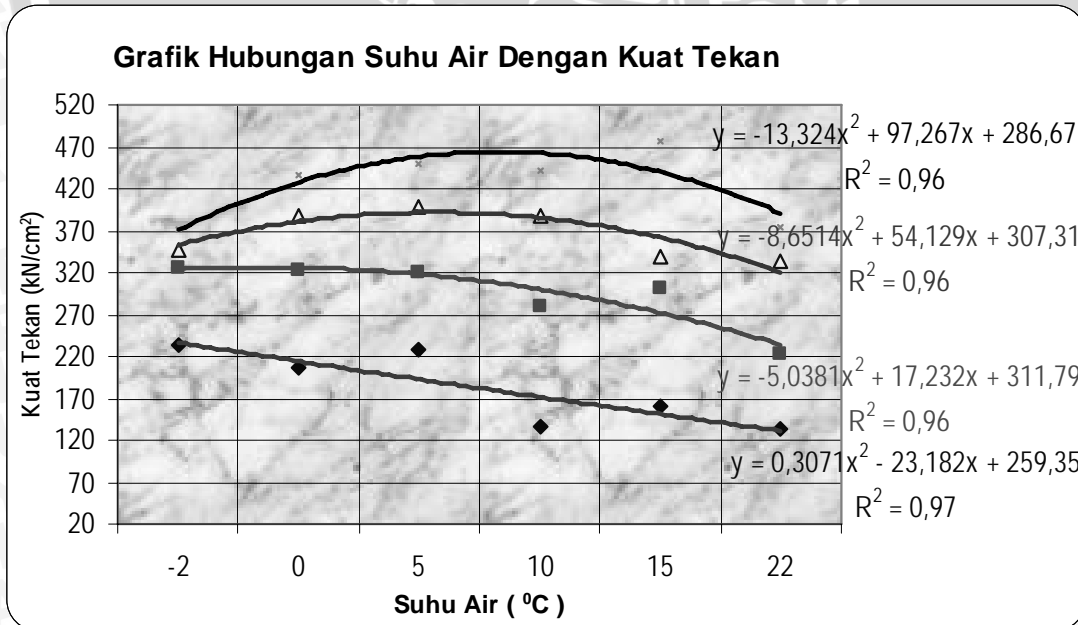


Gambar 4.5 Grafik Hubungan Suhu Air Pengecoran dan Kuat Tekan Mortar



Gambar 4.6 Grafik Hasil Regresi Hubungan Suhu Air Pengecoran dan Kuat Tekan Mortar

Perhitungan Hasil Regresi Hubungan Umur dan Kuat Tekan Terlampir Pada Lampiran 4



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan seperti yang telah diuraikan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan digunakannya suhu air pengecoran yang semakin dingin untuk pembuatan pasta semen didapatkan waktu ikat awal semakin lama.
2. Dari data kuat tekan mortar yang diperoleh bahwa semakin dingin suhu air pengecoran yang digunakan tidak akan menghasilkan kuat tekan yang maksimum, tetapi kondisi suhu air pengecoran optimum ( $5-10^{\circ}\text{C}$ ) yang menghasilkan kekuatan tertinggi pada umur 28 hari.
3. Dari data kuat tekan mortar yang diperoleh bahwa suhu air pengecoran yang lebih dingin dapat meningkatkan kuat tekan mortar pada usia 7 sampai 14 hari.

#### 5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian dan mengetahui hasilnya, maka penulis dapat memberikan saran sebagai berikut :

1. Jika melakukan penelitian lanjutan usahakan gunakan variasi suhu air panas untuk pengecoran sehingga dapat melengkapi pengaruh suhu air pengecoran terhadap waktu ikat awal dan kuat tekan mortar.
2. Jika melakukan pengecoran untuk beton gunakan suhu air pengecoran antara  $5^{\circ}\text{C}$  sampai  $10^{\circ}\text{C}$ , karena pada kondisi suhu tersebut akan didapatkan peningkatan kuat tekannya baik umur 7, 14, 21 maupun 28 apabila dibandingkan dengan suhu normal air pengecoran.



## DAFTAR PUSTAKA

Dipohusodo, I. 1993. *Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-199103*. Jakarta: Badan LITBANG PU.

SK SNI M-62-1990-03. *Metoda Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Mortar Di Laboratorium*. Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU.

Suhendro, B. 2000. *Teori Model Struktur dan Teknik Eksperimental*. Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM Yogyakarta.

Ir. Herri Mahyar, 1999, *Konstruksi Beton I Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03*. Politeknik Negeri Lhokseumawe

Musbar, ST. 2002, *Job Sheet Pengujian Bahan II*. Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe.

Musbar, ST. 2002, *Job Sheet Pengujian Bahan II*. Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe.



**Lampiran 1.****Tabel Hasil Pengujian Berat Jenis dan Panyerapan Agregat Halus (Pasir)**

Nomor Contoh	N
Berat benda uji kering permukaan Jenuh (gr)	500.00
Berat benda uji kering oven Bk (gr)	497.75
Berat piknometer diisi air (pada suhu kamar) B (gr)	675.91
Berat piknometer + benda uji ssd + air (pada suhu kamar) Bt (gr)	984.90
Nomor Contoh	N
Berat jenis curah ; $Bk / (B + 500 - Bt)$	2.606
Berat jenis kering permukaan jenuh ; $500 / (B + 500 - Bt)$	2.618
Berat jenis semu ; $Bk / (B + Bk - Bt)$	2.637
Penyerapan (%) ; $((500-Bk)/Bk) \times 100$	0.452

Sumber : Penelitian di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil UNIBRAW

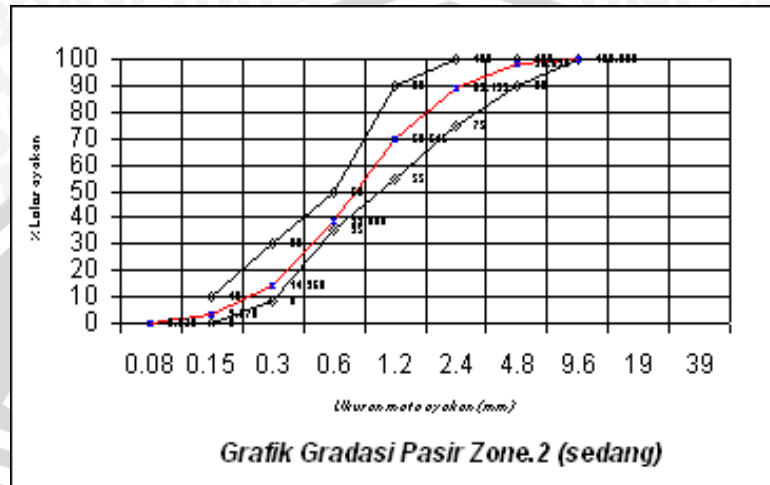
**Lampiran 2.****Tabel Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus (Pasir)**

Lubang Saringan		Pasir			
		Tertinggal		Kumulatif	
No	mm	gram	%	Tertinggal	Lolos
3"	76.2	0	0	0	100
2,5"	63.5	0	0	0	100
2"	50.8	0	0	0	100
1,5"	38.1	0	0	0	100
1"	25.4	0	0	0	100
½"	12.7	0	0	0	100
3/8"	9.52	0	0	0	100
4	4.75	13.100	1.310	1.310	98.690
8	2.36	95.550	9.555	10.865	89.135
16	1.18	196.200	19.620	30.485	69.515
30	0.6	305.150	30.515	61.000	39.000
50	0.25	246.400	24.640	85.640	14.360
100	0.15	106.900	10.690	96.330	3.670
200	0.075	33.500	3.350	99.680	0.320
PAN		3.200	0.320	100.000	0.000
Jumlah		1000.000		485.310	

Sumber : Penelitian di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil UNIBRAW

Modulus Kehalusan Pasir ,  $F_{m-p} = 485,310/100 = 4,853$

- ❖  $F_{m-p} = 2,3 - 3,1$  (ASTM C 35-37)
- ❖  $F_{m-p} = 4,853 > 3,1$  (tidak masuk ASTM, pasir lebih kasar masuk Standar PBI 1971)
- ❖ Berdasarkan Grafik, maka pasir pengujian termasuk zona 2.
- ❖ Kandungan Lumpur  $< 5\%$  (syarat)  
 Lolos No.200 =  $0,320\% < 5\%$  ,(Ok); maka agregat tidak perlu di cuci





**Lampiran 3.**

**Perhitungan Hasil Regresi Hubungan Umur dan Kuat Tekan**

➤ Perhitungan Regresi Kuat Tekan Mortar Dengan Suhu Pengecoran Air -2° C

n = 4  
 $\bar{x}$  = 17.5  
 $\bar{y}$  = 319.4  
 m = 2

Untuk polynomial orde 2, diferensial dari D<sup>2</sup> terhadap tiap koefisien dari polynomial menghasilkan bentuk:

$$\begin{matrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 & a_0 & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & a_1 & \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & a_2 & \sum x_i^2 y_i \end{matrix}$$

No	x <sub>i</sub>	y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> <sup>2</sup>	x <sub>i</sub> <sup>3</sup>	x <sub>i</sub> <sup>4</sup>	x <sub>i</sub> y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> <sup>2</sup> y <sub>i</sub>
1	7	234	49	343	2401	1638,933	11472,53
2	14	327	196	2744	38416	4573,333	64026,67
3	21	346	441	9261	194481	7263,2	152527,20
4	28	371	784	21952	614656	10368,13	290811,7
n	70	1278	1470	34300	849954	23861,6	518838,10

Dari table diatas diperoleh persamaan

$$\begin{aligned} 4a_0 + 70 a_1 + 1470 a_2 &= 1278 \\ 70a_0 + 1470 a_1 + 34300 a_2 &= 23861,6 \\ 1470a_0 + 34300 a_1 + 849954 a_2 &= 518838,10 \end{aligned}$$

a<sub>0</sub> = 127,67  
 a<sub>1</sub> = 18,185  
 a<sub>2</sub> = - 0,33402

Persamaan kurvanya adalah:

$$y = 127,67 + 18,185 X - 0,33402X^2$$

No	x <sub>i</sub>	y <sub>i</sub>	(y <sub>i</sub> -y) <sup>2</sup>	(y <sub>i</sub> - a <sub>0</sub> - a <sub>1</sub> .x <sub>i</sub> - a <sub>2</sub> .x <sub>i</sub> <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>
1	7	234	7270,404	23,61794697
2	14	327	105408,40	148,3482572
3	21	346	119623,80	129,5082708
4	28	371	137591,50	13,39684493
n	70	1278	369894,10	314,873198

$$S_{y/x} = \sqrt{\frac{Sr}{n-1}} = \sqrt{\frac{314,873}{4-2}} = 12,5473$$



$$r^2 = \frac{369894,10 - 314,873}{369894,10} = 0,999149$$

$$r = 0,99954$$

➤ **Perhitungan Regresi Kuat Tekan Mortar Dengan Suhu Pengecoran Air 15° C**

$$n = 4$$

$$\bar{x} = 17,5$$

$$\bar{y} = 319,43$$

$$m = 2$$

Untuk polynomial orde 2, diferensial dari  $D^2$  terhadap tiap koefisien dari polynomial menghasilkan bentuk:

$$\begin{matrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 & a_0 & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & a_1 & \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & a_2 & \sum x_i^2 y_i \end{matrix}$$

No	$x_i$	$y_i$	$x_i^2$	$x_i^3$	$x_i^4$	$x_i y_i$	$x_i^2 y_i$
1	7	159	49	343	2401	1114,40	7800,8
2	14	301	196	2744	38416	4212,93	59009,07
3	21	340	441	9261	194481	7134,40	149822,90
4	28	478	784	21952	614656	13376,53	374542,9
n	70	1278	1470	34300	849954	25840,27	591175,2

Dari table diatas diperoleh persamaan

$$4a_0 + 70 a_1 + 1470 a_2 = 1278$$

$$70a_0 + 1470 a_1 + 34300 a_2 = 25840$$

$$1470a_0 + 34300 a_1 + 849954 a_2 = 591175,20$$

$$a_0 = 66,033$$

$$a_1 = 14,894$$

$$a_2 = -0,0197$$

Persamaan kurvanya adalah:

$$y = 66,033 + 14,894X - 0,0197X^2$$

No	$x_i$	$y_i$	$(y_i - \bar{y})^2$	$(y_i - a_0 - a_1 x_i - a_2 x_i^2)^2$
1	7	159	25674,72	35,16
2	14	301	89440,87	123,25
3	21	340	115418,7	123,50
4	28	478	228229,10	20,26
n	70	1278	4587663,50	301,92

$$S_{y/x} = \sqrt{\frac{Sr}{n-1}} = \sqrt{\frac{301,92}{4-2}} = 12,286$$

$$r^2 = \frac{369894,10 - 314,873}{369894,10} = 0,999342$$

$$r = 0,99967$$

➤ **Perhitungan Regresi Kuat Tekan Mortar Dengan Suhu Pengecoran Air 22° C**

$$n = 4$$

$$\bar{x} = 17,5$$

$$\bar{y} = 265,90$$

$$m = 2$$

Untuk polynomial orde 2, diferensial dari  $D^2$  terhadap tiap koefisien dari polynomial menghasilkan bentuk:

$$\begin{matrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 & a_0 & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & a_1 & \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & a_2 & \sum x_i^2 y_i \end{matrix}$$

No	$x_i$	$y_i$	$x_i^2$	$x_i^3$	$x_i^4$	$x_i y_i$	$x_i^2 y_i$
1	7	134	49	343	2401	936,133	6552,933
2	14	222	196	2744	38416	3111,733	43564,27
3	21	332	441	9261	194481	6977,600	146529,60
4	28	375	784	21952	614656	10509,33	294261,30
n	70	1064	1470	34300	849954	21534,80	490908,10

Dari table diatas diperoleh persamaan

$$4a_0 + 70 a_1 + 1470 a_2 = 1064$$

$$70a_0 + 1470 a_1 + 34300 a_2 = 21535$$

$$1470a_0 + 34300 a_1 + 849954 a_2 = 490908$$

$$a_0 = 0,3667$$

$$a_1 = 20,04476$$

$$a_2 = - 0,232$$

Persamaan kurvanya adalah:

$$y = 0,3667 + 20,0447X - 0,232X^2$$

No	$x_i$	$y_i$	$(y_i - \bar{y})^2$	$(y_i - a_0 - a_1 x_i - a_2 x_i^2)^2$
1	7	134	17468,03	19,539
2	14	222	48517,40	179,826
3	21	332	110401,10	175,826
4	28	375	140875,10	19,536
n	70	1064	317261,70	390,728



$$s_{y/x} = \sqrt{\frac{Sr}{n-1}} = \sqrt{\frac{390,728}{4-2}} = 13,977$$

$$r^2 = \frac{317261,70 - 390,728}{317261,70} = 0,99877$$

$$r = 0,99938$$

**Lampiran 4.**

**Perhitungan Hasil Regresi Hubungan Kuat Tekan Mortar dengan Umur**

➤ **Perhitungan Regresi Hubungan Kuat Tekan Mortar dengan Umur Pada Umur 7 Hari**

n = 6  
 $\bar{x}$  = 8,333  
 $\bar{y}$  = 182,867  
 m = 2

Untuk polynomial orde 2, diferensial dari D<sup>2</sup> terhadap tiap koefisien dari polynomial menghasilkan bentuk:

$$\begin{matrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 & a_0 & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & a_1 & \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & a_2 & \sum x_i^2 y_i \end{matrix}$$

No	x <sub>i</sub>	y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> <sup>2</sup>	x <sub>i</sub> <sup>3</sup>	x <sub>i</sub> <sup>4</sup>	x <sub>i</sub> y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> <sup>2</sup> y <sub>i</sub>
1	-2	234	4	-8	16	-468,267	936,533
2	0	206	0	0	0	0	0
3	5	229	25	125	625	1146	5730
4	10	135	100	1000	10000	1350,667	13506,67
5	15	159	225	3375	50625	2388	35820
6	22	134	484	10648	234256	2942,133	64726,93
n	50	1097	838	15140	295522	7358,533	120720,10

Dari table diatas diperoleh persamaan

$$\begin{matrix} 6a_0 & + 50 a_1 & + 838 a_2 & = 1097 \\ 50a_0 & + 838 a_1 & + 15140 a_2 & = 7359 \\ 838a_0 & + 15140 a_1 & + 295522 a_2 & = 120720 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} a_0 = 259,35 \\ a_1 = -23,182 \\ a_2 = 0,7332 \end{matrix}$$

Persamaan kurvanya adalah:

$$y = 259,35 - 23,185X + 0,307X^2$$



No	$x_i$	$y_i$	$(y_i - \bar{y})^2$	$(y_i - a_0 - a_1 x_i - a_2 x_i^2)^2$
1	-2	234	2628,71	1,304
2	0	206	529	108,260
3	5	229	2146,778	138,860
4	10	135	2284,84	113,860
5	15	159	560,111	79,005
6	22	134	2414,084	0,792
n	50	1097	7588,889	442,080

$$S_{y/x} = \sqrt{\frac{Sr}{n-1}} = \sqrt{\frac{442,080}{6-2}} = 9,402$$

$$r^2 = \frac{7588,889 - 442,080}{7588,889} = 0,9417$$

$$r = 0,9704$$

➤ **Perhitungan Regresi Hubungan Kuat Tekan Mortar dengan Umur Pada Umur 14 Hari**

- n = 6
- $\bar{x}$  = 8,333
- $\bar{y}$  = 295,6889
- m = 2

Untuk polynomial orde 2, diferensial dari  $D^2$  terhadap tiap koefisien dari polynomial menghasilkan bentuk:

$$\begin{matrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 & a_0 & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & a_1 & \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & a_2 & \sum x_i^2 y_i \end{matrix}$$

No	$x_i$	$y_i$	$x_i^2$	$x_i^3$	$x_i^4$	$x_i y_i$	$x_i^2 y_i$
1	-2	327	4	-8	16	-653,333	1306,667
2	0	324	0	0	0	0	0
3	5	321	25	125	625	1605,333	8026,667
4	10	279	100	1000	10000	2794,6674516	27946,67
5	15	301	225	3375	50625	4516	67740
6	22	222	484	10648	234256	4889,867	107577,10
n	50	1774	838	15140	295522	13152,53	212597,10

Dari table diatas diperoleh persamaan

$$\begin{aligned} 6a_0 + 50 a_1 + 838 a_2 &= 1774 \\ 50a_0 + 838 a_1 + 15140 a_2 &= 13153 \\ 838a_0 + 15140 a_1 + 295522 a_2 &= 212597 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_0 &= 311,79 \\ a_1 &= 17,232 \\ a_2 &= -5,0381 \end{aligned}$$



Persamaan kurvanya adalah:

$$y = 311,79 + 17,232X - 5,038X^2$$

No	$x_i$	$y_i$	$(y_i - \hat{y})^2$	$(y_i - a_0 - a_1 \cdot x_i - a_2 \cdot x_i^2)^2$
1	-2	327	959,622	4,892
2	0	324	779,030	0,334
3	5	321	644,031	13,692
4	10	279	263,160	49,930
5	15	301	28,920	55,470
6	22	222	5390,823	42,796
n	50	1774	2645,845	167,114

$$S_{y/x} = \sqrt{\frac{Sr}{n-1}} = \sqrt{\frac{167,114}{6-2}} = 5,781$$

$$r^2 = \frac{2645,845 - 167,114}{2645,845} = 0,9368$$

$$r = 0,968$$

➤ **Perhitungan Regresi Hubungan Kuat Tekan Mortar dengan Umur Pada Umur 21 Hari**

$$n = 6$$

$$\bar{x} = 8,333$$

$$\bar{y} = 365,553$$

$$m = 2$$

Untuk polynomial orde 2, diferensial dari  $D^2$  terhadap tiap koefisien dari polynomial menghasilkan bentuk:

$$\begin{matrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 & a_0 & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & a_1 & \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & a_2 & \sum x_i^2 y_i \end{matrix}$$

No	$x_i$	$y_i$	$x_i^2$	$x_i^3$	$x_i^4$	$x_i y_i$	$x_i^2 y_i$
1	-2	346	4	-8	16	-691,773	1383,467
2	0	389	0	0	0	0	0
3	5	398	25	125	625	1991,333	9956,667
4	10	388	100	1000	10000	3883,867	38838,67
5	15	340	225	3375	50625	5096	76440
6	22	332	484	10648	234256	7309,867	160817,10
n	50	2193	838	15140	295522	17589,33	287435,90

Dari table diatas diperoleh persamaan

$$6a_0 + 50 a_1 + 838 a_2 = 2193$$

$$50a_0 + 838 a_1 + 15140 a_2 = 17589$$



$$838a_0 + 15140 a_1 + 295522 a_2 = 287436$$

$$a_0 = 307,31$$

$$a_1 = 54,129$$

$$a_2 = -8,651$$

Persamaan kurungnya adalah:

$$y = 307,31 + 54,129X - 8,651X^2$$

No	$x_i$	$y_i$	$(y_i - \bar{y})^2$	$(y_i - a_0 - a_1 x_i - a_2 x_i^2)^2$
1	-2	346	387,5648	36,630
2	0	389	540,4075	24,020
3	5	398	1070,162	18,750
4	10	388	521,3611	3,640
5	15	340	666,6724	71,670
6	22	332	1108,002	11,320
n	50	2193	2519,496	166,030

$$S_{y/x} = \sqrt{\frac{Sr}{n-1}} = \sqrt{\frac{166,030}{6-2}} = 5,762$$

$$r^2 = \frac{2519,496 - 166,030}{2519,496} = 0,934$$

$$r = 0,966$$

➤ **Perhitungan Regresi Hubungan Kuat Tekan Mortar dengan Umur Pada Umur 28 Hari**

$$n = 6$$

$$\bar{x} = 8,333$$

$$\bar{y} = 425,022$$

$$m = 2$$

Untuk polynomial orde 2, diferensial dari  $D^2$  terhadap tiap koefisien dari polynomial menghasilkan bentuk:

$$\begin{matrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 & a_0 & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & a_1 & \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & a_2 & \sum x_i^2 y_i \end{matrix}$$

No	$x_i$	$y_i$	$x_i^2$	$x_i^3$	$x_i^4$	$x_i y_i$	$x_i^2 y_i$
1	-2	371	4	-8	16	-741,867	1483,733
2	0	435	0	0	0	0	0
3	5	451	25	125	625	2254	11270
4	10	440	100	1000	10000	4404	44040
5	15	478	225	3375	50625	7166	107490
6	22	375	484	10648	234256	8257,333	181661,30
n	50	2550	838	15140	295522	21339,47	345945,10



Dari table diatas diperoleh persamaan

$$6a_0 + 50 a_1 + 838 a_2 = 2550$$

$$50a_0 + 838 a_1 + 15140 a_2 = 21339$$

$$838a_0 + 15140 a_1 + 295522 a_2 = 345945$$

$$a_0 = 280,67$$

$$a_1 = 97,267$$

$$a_2 = -13,324$$

Persamaan kurvanya adalah:

$$y = 280,67 + 97,267 X - 13,324X^2$$

No	$x_i$	$y_i$	$(y_i - \bar{y})^2$	$(y_i - a_0 - a_1 \cdot x_i - a_2 \cdot x_i^2)^2$
1	-2	371	2925,608	21,210
2	0	435	98,230	58,670
3	5	451	664,4938	71,250
4	10	440	236	67,350
5	15	478	2778,461	67,330
6	22	375	2468,986	3,960
n	50	2550	3924,808	289,770

$$S_{y/x} = \sqrt{\frac{Sr}{n-1}} = \sqrt{\frac{289,770}{6-2}} = 7,613$$

$$r^2 = \frac{3924,808 - 289,770}{3924,808} = 0,926$$

$$r = 0,962$$

