

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi yang semakin canggih seperti sekarang ini, mengakibatkan manusia berusaha mendapatkan sarana dan prasarana yang memuaskan keinginannya. Karena adanya masalah tersebut, hampir setiap negara di dunia kini saling berlomba dan bersaing dalam mengembangkan teknologi untuk merebut pangsa pasar. Karena itu teknologi memegang peranan penting disamping ekonomi. Salah satu cabang teknologi yang penting adalah teknologi bahan bangunan yang memegang peranan penting bagi masyarakat, misalnya beton mutu tinggi, beton prategang dan juga mortar komposit.

Dalam masa pembangunan seperti sekarang ini, khususnya di Indonesia, kuantitas bangunan yang berdiri dari tahun ke tahun semakin meningkat. Hal ini dapat dilihat dengan semakin banyaknya bermunculan usaha di bidang jasa konstruksi.

Salah satu masalah yang berpengaruh dalam mendirikan suatu bangunan adalah masalah finansial yang erat kaitannya dengan harga bangunan. Setiap pengusaha dalam menjalankan usahanya tentu menerapkan prinsip ekonomi. Demikian pula dengan usaha di bidang konstruksi bangunan. Dengan memanfaatkan biaya yang murah (tanpa mengesampingkan persyaratan yang berlaku) untuk mendapatkan bangunan yang kuat, aman dan nya-

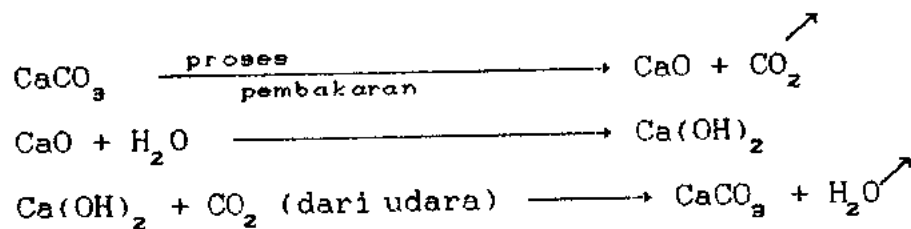


man. Salah satu usahanya adalah dengan menekan harga bangunan yakni dengan cara memanfaatkan bahan bangunan lokal yang harganya relatif lebih murah dari bahan impor tetapi mutunya juga tidak kalah.

Indonesia merupakan negara kepulauan yang kaya akan pegunungan. Hampir setiap pulauanya terdapat deretan pegunungan, dari gunung berapi yang masih aktif sampai pegunungan tandus berkarang, serta pegunungan kapur yang mengandung batu kapur di dalamnya. Batu kapur ini merupakan bahan dasar kapur.

Di pasaran dikenal dua macam kapur yang biasa digunakan sebagai bahan bangunan, yaitu kapur mentah dan kapur matang (bakar). Kapur mentah dipakai tanpa melalui proses pembakaran, tapi ditumbuk halus. Umumnya di pasaran ditemui dalam bentuk bubuk, bahkan ada yang sudah dikemas dalam kantong. Kapur matang diperoleh setelah melalui proses pembakaran batu kapur. Di pasaran biasanya berupa bongkahan, sehingga sebelum digunakan terlebih dahulu disiram air sampai padam dan terbentuk bubuk/tepung.

*Reaksi kimia kapur :*



Oleh sebagian pelaksana bangunan di lapangan, kapur ini digunakan sebagai bahan campuran mortar semen. Campuran mor-

tar semen dengan kapur banyak digunakan untuk plesteran dinding dan spesi batu/bata. Walau kapur bakar ini sering dimanfaatkan sebagai bahan tambah campuran, namun pengaruhnya terhadap kekuatan mortar semen sering kurang mendapat perhatian. Oleh karena itu penelitian tentang pengaruh kapur bakar terhadap kekuatan mortar semen ini dilakukan.

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian mengenai serapan terhadap air, berat jenis dan kuat tekan mortar beserta angka konversinya. Hal ini berkaitan dengan aplikasi penggunaan mortar secara langsung sebagai plester dan spesi, atau pula memungkinkan kapur ini sebagai bahan-tambah dalam pembuatan pelapis jalan/trotoir (*paving*).

## **I.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui beberapa permasalahan, antara lain sebagai berikut ini.

1. Pengaruh kandungan kapur bakar terhadap kekuatan mortar semen.
2. Besarnya angka konversi pada kuat tekan mortar semen dengan campuran kapur bakar.
3. Besarnya daya serap mortar terhadap air.
4. Berat jenis mortar.

## **I.3 Batasan Masalah**

Untuk dapat memberikan hasil penelitian yang lebih baik, maka penelitian ini dibatasi pada masalah seperti berikut ini.

1. Kapur yang digunakan sebagai bahan tambah mortar semen adalah hasil pembakaran batu kapur dengan menggunakan bahan bakar solar. dan berasal dari pembakaran batu kapur (perusahaan gamping) di daerah Klaten. Jawa Tengah.
2. Jenis pasir yang digunakan adalah pasir kali dari sungai Progo Yogyakarta.
3. Menggunakan kekentalan adukan berdasar nilai slump sekitar 5 sampai 10 cm.
4. Pengujian mortar semen dengan kapur terhadap serapan air. berat jenis dan kuat tekannya.
5. Perbandingan volume bahan campuran yang diteliti tertera pada tabel 1.1. berikut ini yang selanjutnya dalam pelaksanaan diubah menjadi perbandingan berat.

Tabel.1.1. Komposisi campuran yang diteliti.

Adukan	Semen Portland	Pasir	Kapur
I	1	3	0
			0.25
			0.50
			0.75
			1.00
II	1	4	0
			0.25
			0.50
			0.75
			1.00
III	1	5	0
			0.25
			0.50
			0.75
			1.00

Komposisi campuran yang diteliti (*sambungan*).

Adukan	Semen Portland	Pasir	Kapur
IV	1	6	0 0.25 0.50 0.75 1.00

6. Pengujian kuat tekan mortar dilakukan pada mortar umur 7, 14, 21, dan 28 hari.
7. Untuk setiap komposisi campuran dibuat 5 buah benda uji per-pengujian dengan benda uji berupa kubus berdimensi 70 x70 x 70 (mm<sup>3</sup>)
8. Oleh karena keterbatasan waktu dan alat, maka contoh benda uji pada masing-masing variasi campuran dibuat 5 (lima) buah yang dibagi menjadi dua bagian, yakni 2 (dua) buah dengan perlakuan suhu oven dan 3 (tiga) buah dengan perlakuan suhu kamar.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1 Pengertian Umum

Mortar adalah suatu campuran yang terdiri dari air, pasir dan bahan-ikat dengan komposisi tertentu. Ada beberapa macam mortar sesuai dengan bahan ikat yang digunakan. yaitu mortar semen, mortar kapur, mortar lumpur dan mortar semen kapur atau biasa disebut dengan mortar komposit.

Mortar lumpur dibuat dari campuran pasir, tanah liat/-lumpur dan air. Ketiga bahan-susun tersebut dicampur sampai rata dan mempunyai kelecakan (konsistensi) yang cukup baik. Dalam penggunaannya pasir harus diberikan secara tepat untuk mendapatkan adukan yang baik. Apabila terlalu sedikit pasir yang digunakan, akan menghasilkan mortar yang retak-retak setelah mengering sebagai akibat besarnya susut pengeringan. Sebaliknya bila terlalu banyak pasir berakibat adukan kurang lekat. Mortar jenis ini umumnya dipakai sebagai spesi tembok atau bahan tungku api di desa-desa.

Mortar kapur tersusun atas campuran air, pasir, dan kapur sebagai bahan-ikat. Mortar kapur umumnya digunakan sebagai plester dan perekat (spesi) pada pembuatan dinding dari pasangan bata. Pada proses pengerasan kapur mengalami penyusutan, sehingga jumlah pasir yang dipakai dapat mencapai 2 sampai 3 kali volume kapur. Proses pengikatan dan pengerasan mortar kapur ini lebih lambat dari pada mortar semen.

Untuk mendapatkan kekuatan yang cukup tinggi pada mortar kapur ini, pasir yang dipergunakan harus pasir kasar dengan gradasi baik. Pasir dengan modulus halus butir 2 sampai 3 sangat cocok untuk mortar yang terbuat dari kapur gemuk (*fat lime*). Sedangkan pasir dengan modulus halus butir 1.5 sampai 2.5 cocok digunakan bersama-sama dengan kapur hidrolis (Singh, 1992). Untuk memperbaiki waktu ikat awal pada mortar kapur ini, maka perlu ditambahkan semen portland sebanyak 5% sampai 20% jumlah kapur.

Mortar semen lebih kuat dari pada kedua jenis mortar di atas (mortar lumpur dan mortar kapur). Oleh karena itu lebih disukai untuk digunakan. Umumnya mortar semen ini digunakan sebagai bahan pelapis dan perekat (*spesi*) pasangan. Sebagai bahan pelapis, mortar semen digunakan untuk memperhalus permukaan dinding (dari pasangan bata, batako), permukaan lantai serta untuk pelapis beton siklop yang relatif kasar permukaannya. Selain itu mortar semen juga digunakan sebagai perekat pada pasangan batu, bata atau batako pada dinding, dan sebagai perekat tegel terhadap dasar lantai. Mortar semen juga sering digunakan sebagai bahan lapis perkerasan jalan/ trotoir (*paving block*).

Mortar semen akan memberikan kuat tekan yang baik/tinggi jika memakai pasir kasar dan bersih (tidak mengandung lumpur) serta bergradasi baik. Pemakaian air yang berlebihan akan menyebabkan segregasi (pemisahan butir) pada

semen dan pasir, yang berakibat membesarnya penyusutan dan mengurangi daya rekat (*adhesiveness*). Dengan demikian akan mempengaruhi pula daya tahannya terhadap penetrasi air hujan dan kekuatan batasnya (*ultimate strength*).

Komposisi bahan-susun mortar semen, umumnya menggunakan perbandingan volume semen dan pasir yang berkisar 1:2 sampai 1:6 disesuaikan dengan pemakaiannya. Idealnya mortar semen dengan perbandingan 1:2 dan 1:3 digunakan untuk plester pada dinding bagian luar atau untuk lapis kedap air. Sedangkan untuk spesi tembok dan fondasi dipakai mortar dengan perbandingan 1:6. Namun pada pelaksanaan di lapangan sering digunakan perbandingan 1:8 untuk spesi ini.

Kuat tekan mortar semen akan kurang baik apabila terdapat rongga (pori-pori) yang tak terisi oleh gel maupun butir-butir pasir. Pori-pori ini bila saling berhubungan akan membentuk kapiler setelah mortar mengering. Oleh karenanya mortar yang terbentuk akan bersifat tembus air (*porous*), daya-ikat berkurang dan mudah terjadi slip antar butir-butir pasir yang dapat mengakibatkan kuat tekan mortar berkurang. Untuk mengatasi hal tersebut maka perlu diberi bahan tambah, dalam hal ini menggunakan kapur bakar yang berfungsi sebagai bahan ikat sekaligus sebagai bahan pengisi. Kapur bakar ini akan mengisi pori-pori yang terbentuk, sehingga mengurangi terjadinya slip, meningkatkan kuat tekan mortar, serta mengurangi pemakaian jumlah semen portland. Selain itu penambahan kapur bakar ini juga dapat menambah sifat dapat di-



keretakan, plastisitas, susut pengerasan, daya-ikat serta keawetan (*durability*). Mortar yang terbentuk disebut mortar semen kapur atau mortar komposit.

Dengan demikian sifat yang penting dari mortar, adalah kuat tekan yang dapat menentukan dan/atau berhubungan dengan kualitas mortar. Sebagaimana yang telah diuraikan di atas, kualitas mortar ini sangat bergantung pada kualitas bahan penyusunnya. Oleh karena itu bahan susun mortar yang akan digunakan harus memenuhi syarat-syarat yang berlaku atau yang telah ditentukan dalam peraturan.

## II.2 Bahan Susun Mortar

Yang dimaksud dengan bahan susun mortar adalah material tertentu yang dicampur untuk membentuk mortar. Umumnya bahan susun mortar terdiri atas air, agregat halus (pasir) dan bahan-ikat.

Secara umum kualitas bahan susun mortar sama dengan yang digunakan pada beton. Karena itu bahan-susun yang digunakan harus dipilih dari bahan yang berkualitas baik.

### II.2.1 Air

Pengikatan dan pengerasan mortar terjadi berdasarkan reaksi kimia antara semen dan air selang beberapa waktu. Supaya reaksi kimia tersebut dapat berlangsung dengan baik, maka air yang dipakai harus memenuhi persyaratan sebagaimana telah diatur dalam peraturan yang berlaku di Indonesia.

Air pada campuran mortar berfungsi sebagai media untuk mengaktifkan reaksi pada semen dan kapur bakar agar dapat saling menyatu. Air juga berfungsi sebagai pelumas antara butir-butir pasir yang berpengaruh pada sifat mudah dikerjakan (*workability*) adukan mortar. Kekuatan, susut dan keawetan. Reaksi kimia antara air dengan semen, akan membentuk gel yang selanjutnya akan mengikat butir-butir pasir. Dalam pemakaiannya air harus diberikan secara tepat. Jika terlalu sedikit, maka adukan mortar akan sulit untuk dikerjakan, sebaliknya jika kelebihan dapat menyebabkan segregasi dan mengurangi daya-ikat. Selain itu kelebihan air akan bergerak ke permukaan adukan bersama-sama semen dan kapur yang dapat membentuk lapisan tipis (*laitance*). Lapisan ini akan mengurangi ikatan antar lapis mortar dan merupakan bidang sambung yang lemah. Akibatnya mortar yang terbentuk akan mempunyai kuat tekan yang lemah.

Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh air yang akan digunakan untuk adukan beton/mortar adalah berikut ini.

1. Air tawar yang dapat diminum, tidak mengandung minyak, asam, alkali, garam-garam, serta bahan-bahan organik yang dapat merusak beton/mortar.
2. Bila terdapat keragu-raguan mengenai air dianjurkan mengirim contoh air tersebut ke lembaga pemeriksaan bahan untuk diperiksa seberapa banyak air tersebut mengandung zat-zat yang dapat merusak beton/mortar.

3. Apabila pemeriksaan di laboratorium tidak dapat dilakukan, maka dalam adanya keraguan mengenai air harus diadakan percobaan perbandingan antara kekuatan tekan mortar semen + pasir dengan air tersebut dan dengan memakai air suling. Air tersebut dianggap dapat dipakai, apabila kuat tekan mortar dengan memakai air tersebut pada umur 7 dan 28 hari paling sedikit 90 % dari kuat tekan mortar dengan memakai air suling pada umur yang sama.
4. Jumlah air yang dipakai untuk membuat adukan beton/-mortar dapat ditentukan dengan ukuran isi atau ukuran berat dan harus dilakukan setepat-tepatnya.

Air yang mengandung kotoran akan mengurangi kekuatan dan daya tahan beton, dalam hal ini mortar, akan berpengaruh pada lamanya waktu ikatan awal adukan serta kekuatan setelah mengeras. Adanya butiran melayang (lumpur) dalam air yang terlalu banyak ini, dapat diendapkan dulu sebelum dipakai.

Adanya garam-garam yang terkandung dalam air dapat memperlambat ikatan awal sehingga kekuatan awalnya juga rendah. Dalam pemakaiannya air untuk beton (mortar) harus memenuhi pula syarat berikut (Tjokrodimulyo, 1995):

- a. tidak mengandung lumpur lebih dari 2 gram/liter.
- b. tidak mengandung garam-garam (asam, zat organik) lebih dari 15 gram/liter.
- c. tidak mengandung klorida (Cl)  $\geq$  0,5 gram/liter.
- d. tidak mengandung senyawa sulfat  $\geq$  1 gram/liter.

Air juga digunakan untuk rawatan mortar. Metode rawatan selanjutnya adalah dengan merendam mortar dalam air. Rawatan mortar ini dapat juga memakai air untuk adukan, tetapi harus yang tidak menimbulkan noda atau endapan yang dapat merusak warna permukaan sehingga tidak sedap dipandang. Besi dan zat organik dalam air umumnya sebagai penyebab utama pengotoran atau perubahan warna, terutama jika rawatan cukup lama.

### II.2.2 Semen Portland

Semen portland dibuat dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis ditambah bahan pengatur waktu ikat (umumnya menggunakan gips).

Klinker semen portland dibuat dari batu kapur ( $\text{CaCO}_3$ ), tanah liat dan bahan dasar berkadar besi. Bagian utama dari klinker ini adalah:

- |                                |   |               |                         |
|--------------------------------|---|---------------|-------------------------|
| 1. dikalsium silikat           | $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$                                      | $\rightarrow$ | $\text{C}_2\text{S}$ .  |
| 2. trikalsium silikat          | $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$                                      | $\rightarrow$ | $\text{C}_3\text{S}$ .  |
| 3. trikalsium aluminat         | $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$                             | $\rightarrow$ | $\text{C}_3\text{A}$ .  |
| 4. tetra kalsium aluminatferit | $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\rightarrow$ | $\text{C}_4\text{AF}$ . |

Bahan-bahan klinker tersebut digilas dalam kilang peluru (kogelmolens) sampai halus dengan disertai penambahan beberapa prosen gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), akhirnya terbentuklah semen portland (Kusuma, 1993).

Unsur Trikalsium Silikat ( $\text{C}_3\text{S}$ ) dan Dikalsium Silikat merupakan bagian yang dominan dalam membentuk sifat semen.

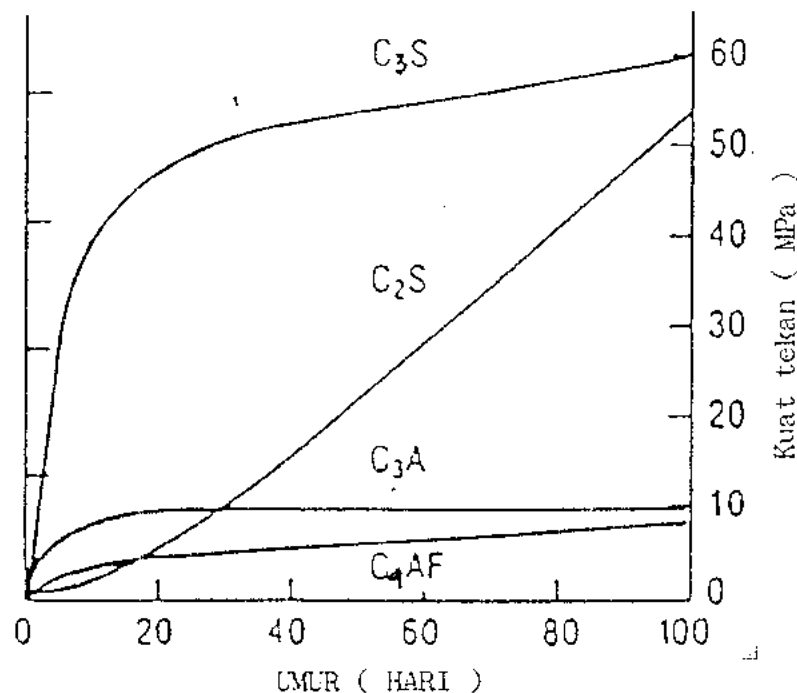
Kandungan kedua unsur ini mencapai 70% a 80% dari semennya. Namun demikian unsur Trikalسيوم Aluminat ( $C_3A$ ) adalah yang pertama melakukan pengikatan dan pengerasan bila terjadi kontak dengan air. Reaksi antara air dan unsur  $C_3A$  ini berlangsung sangat cepat dan hanya dalam waktu 24 jam memberikan kontribusi terhadap kekuatan semen.

Unsur Trikalسيوم Aluminat ( $C_3A$ ) sangat berpengaruh pada panas hidrasi tertinggi selama pengerasan awal maupun pengerasan berikutnya yang berlangsung panjang. Kelemahan dari unsur ini adalah, apabila kandungannya dalam semen melebihi 10 % mengakibatkan semen kurang tahan terhadap sulfat ( $SO_4$ ). Sulfat yang terkandung dalam air atau tanah apabila bereaksi dengan  $C_3A$  mengakibatkan semennya mengembang, sehingga mortar yang terbentuk akan menjadi retak-retak. Oleh karenanya kadar Trikalسيوم Aluminat dalam semen dibatasi 5% saja.

Selanjutnya penambahan kekuatan semen ditentukan oleh Trikalسيوم Silikat ( $C_3S$ ) dan Dikalسيوم Silikat ( $C_2S$ ). Trikalسيوم Silikat memberikan tambahan kekuatan hingga umur 14 hari, dan reaksinya dengan air menimbulkan panas. Untuk kelangsungan reaksi kimia, unsur  $C_3S$  membutuhkan air sebanyak 24% beratnya, dan unsur  $C_2S$  memerlukan 21%. Akan tetapi Kalسيوم Hidroksida ( $Ca(OH)_2$ ) yang dilepaskan oleh unsur  $C_3S$  pada proses hidrasi mencapai 3 kali lebih besar daripada yang dilepaskan oleh unsur  $C_2S$ . Karena itu semen yang prosentase kandungan  $C_3S$  -nya lebih tinggi dari  $C_2S$ , akan menghasilkan proses pengerasan yang cepat pada pembentukan kekuatan awal-

nya. Hal ini disertai pula dengan panas hidrasi yang tinggi. Demikian pula sebaliknya bila kandungan  $C_2S$  lebih tinggi. Namun kandungan  $C_2S$  yang lebih tinggi akan menghasilkan ketahanan terhadap serangan kimia yang lebih baik.

Unsur Dikalsium Silikat ( $C_2S$ ) akan memberikan pengaruh kekerasan terhadap semen pada umur 14 hari a 28 hari. Dengan kata lain unsur  $C_2S$  ini memberikan kekuatan akhir pada proses pengerasan semen. Dapat dikatakan bahwa waktu ikat awal semen ditentukan oleh unsur  $3CaO.Al_2O_3$  (Tri-kalsium aluminat), sedangkan waktu ikat akhir (*final setting time*) ditentukan oleh Dikalsium Silikat ( $2CaO.SiO_2$ ). Semen dengan kadar Tri-kalsium Aluminat yang rendah akan menghasilkan kekuatan awal yang rendah tetapi kekuatan ultimitnya tinggi.



Gambar 2.1. Hubungan Umur dan Kuat Tekan Pada Unsur-unsur Semen

Dalam proses pembuatan semen dikenal dua cara yang dipakai yaitu proses kering dan proses basah (Murdock.1979). Pada proses kering bahan-bahan penyusun dihancurkan, dikeringkan, lalu dimasukkan gilingan yang diperlengkapi bola penggiling hingga menjadi serbuk untuk dibakar dalam kondisi kering. Pada proses basah, bahan-bahan dihancurkan baru digiling dalam gilingan pencuci sampai bentuknya seperti bubur yang selanjutnya menuju tangki bubur bahan. Dari waktu ke waktu secara rutin contoh bubur ini diambil dari tangki tersebut untuk diuji dan koreksi terhadap komposisi kimia di dalamnya dengan merubah kandungan kapur dan tanah liat. Selanjutnya bubur bahan dipompa ke dapur pembakaran yang kemudian melebur, semen lebur ini selanjutnya menuju tempat pendingin. Akhirnya semen yang telah beku digiling dengan bola penggiling hingga mencapai kehalusan yang dikehendaki disertai penambahan bahan untuk memperlambat pengerasan (*retarder*) yang biasanya digunakan gips. Proses basah ini banyak diterapkan di negara kita.

Prosentase dari komposisi dan kadar senyawa kimia semen portland dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Prosentase komposisi dan kadar senyawa kimia semen Portland. (Murdock, 1979)

	Biasa	Pengerasan cepat	Panas rendah	tahan sulfat
<i>Analisa.</i>				
Kapur	63.1	64.5	60.0	64.0
Silikat	20.6	20.7	22.5	24.4
Alumina	6.3	5.2	5.2	3.7
Besi Oksid	3.6	2.9	4.6	3.0
<i>Senyawa kimia.</i>				
C <sub>3</sub> S	40	50	25	40
C <sub>2</sub> S	30	21	45	40
C <sub>3</sub> A	11	9	6	2
C <sub>4</sub> AF	11	9	14	9

Semen dan air saling bereaksi mengalami hidratisasi yang menghasilkan hidrasi-semen. Proses ini berlangsung sangat cepat. Dengan adanya penambahan beberapa prosen gips, yang bersifat menghambat pengikatan semen dan air, maka akhirnya beton/mortar dapat diangkut dan dikerjakan sebelum pembentukan ikatan berakhir. Kecepatan waktu ikat dipengaruhi oleh kehalusan semen, faktor air semen dan temperatur.

Kehalusan penggilingan atau penampang spesifik adalah total diameter penampang semen. Total permukaan penampang semen yang lebih besar akan memperluas bidang kontak dengan air. Semakin besar bidang kontak semakin cepat pula reaksinya. Karena itu kekuatan awal dari semen yang lebih halus (penampang spesifik besar) lebih tinggi, sehingga pengaruh kekuatan akhir berkurang.



Saat semen dan air bereaksi timbul panas (panas hidrasi). Jumlah panas yang dibentuk antara lain tergantung dari jenis semen yang dipakai dan kehalusan penggilingan. Dalam pelaksanaan, perkembangan panas ini dapat membentuk retakan yang terjadi ketika pendinginan.

Faktor yang besar pengaruhnya terhadap pembentukan panas hidrasi adalah faktor air semen. Faktor air semen yang rendah (kadar air sedikit) menyebabkan air diantara bagian-bagian semen sedikit, sehingga jarak antar butiran semen pendek. Akibatnya massa semen menunjukkan lebih berkaitan, karenanya kekuatan awal lebih dipengaruhi dan akhirnya batuan-semen mencapai kepadatan tinggi.

Semen dapat mengikat air sekitar 40% dari beratnya (Kusuma, 1993), dengan kata lain air sebanyak 0.4 kali berat semen, cukup untuk membentuk seluruh semen berhidrasi. Air berlebih akan tinggal dalam pori-pori.

Semen yang biasa digunakan untuk pekerjaan konstruksi normal, disebut semen portland normal atau tipe-I di A.S. Di Indonesia semen jenis ini dibedakan atas 5 macam menurut kehalusan butir dan kuat desaknya yaitu S-325, S-400, S-475, S-550, dan S-S.

Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh semen-Portland adalah kehalusan butir, sifat kekal bentuk, dan kuat desak adukan. Berdasarkan peraturan, paling sedikit 78% dari berat semen harus lolos lubang ayakan nomor 200 ( $\pm 0.09$  mm). Semen yang berbutir halus akan cepat bereaksi dengan air dan dapat

mengembangkan kekuatan, walaupun tidak mempengaruhi kekuatan ultimitnya (*ultimate strenght*). Namun perlu diketahui bahwa semen yang berbutir terlalu halus akan menyebabkan penyusutan yang besar dan menimbulkan retak susut pada mortar.

Sifat kekal bentuk pada semen diperlukan untuk menjamin supaya mortar tidak mudah retak, tidak berubah bentuk serta tidak mudah pecah (hancur).

Kuat tekan semen-Portland biasa tidak boleh kurang dari  $125 \text{ kg/cm}^2$  pada umur 3 (tiga) hari dan tidak boleh kurang dari  $200 \text{ kg/cm}^2$  pada umur 7 (tujuh) hari (Dept.F.U, 1982).

### 11.2.3 Pasir

Pasir (agregat halus) dalam beton, ataupun mortar, berfungsi sebagai bahan pengisi atau bahan yang diikat, dengan kata lain pasir dalam adukan tidak mengalami reaksi kimia. Umumnya pasir yang langsung digali dari dasar sungai cocok untuk digunakan. Pasir ini terbentuk ketika batu-batu terbawa arus sungai dari sumber air ke muara sungai. Akibat tergulung dan terkikis (pelapukan/erosi), akhirnya membentuk butir-butir halus. Butiran yang kasar (kerikil) diendapkan di hulu sungai, sedangkan yang halus diendapkan di muara sungai. Selain itu dapat pula digunakan pasir yang berasal dari hasil pemecah batu (*stone crusher*) yang lolos saringan 4,75 mm dan tertahan lobang ayakan 0,15 mm.

Walaupun pasir hanya berfungsi sebagai bahan pengisi, akan tetapi sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar.



Pemakaian pasir dalam mortar dimaksudkan untuk:

1. menghasilkan kekuatan mortar yang cukup besar.
2. mengurangi susut pengerasan.
3. menghasilkan susunan pampat pada mortar.
4. mengontrol *workability* adukan mortar.
5. mengurangi jumlah penggunaan semen Portland.

Selain itu pasir dapat membantu pengikatan kapur karena memungkinkan penetrasi karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dari udara. Sebagaimana telah diketahui bahwa kapur bakar yang telah padam dapat melakukan pengikatan apabila terjadi kontak dengan karbondioksida di udara dan mengembang. Oleh karenanya hal ini akan dapat mengurangi susut pengerasan mortar.

Pasir yang digunakan untuk beton/mortar hendaklah memenuhi syarat-syarat sebagaimana dalam peraturan yang berlaku, diantaranya dijelaskan di bawah ini.

1. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan memenuhi syarat berikut ini.
  - a. sisa diatas ayakan 4 mm, minimum 2% berat.
  - b. sisa diatas ayakan 1 mm, minimum 10% berat.
  - c. sisa diatas ayakan 0,25 mm,  $\pm$  80% - 95% berat.
2. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tajam, kuat, keras dan bersifat kekal bentuk yakni tidak pecah (hancur) oleh pengaruh cuaca seperti panas matahari dan hujan serta bergradasi baik. Sifat kuat dan keras guna menghasilkan mortar yang keras dan mempunyai

kuat desak yang cukup tinggi. Bentuk tajam diperlukan sebagai kaitan yang baik agar tidak mudah terjadi slip. Namun bentuk tajam juga dapat menimbulkan gesekan yang besar, sehingga mengurangi mobilitas dan sifat dapat dikerjakan (*workability*). ini dapat diatasi dengan penambahan air. Gradasi pasir yang digunakan harus baik, artinya mempunyai variasi butir yang beragam, supaya volume rongga berkurang dan menghemat semen-Portland. Gradasi pasir yang baik dapat menghasilkan mortar yang pampat (padat) dan mempunyai kekuatan yang besar.

3. Pasir tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% terhadap berat kering. Lumpur yang dimaksud adalah bagian yang dapat melalui ayakan 0,063 mm. Apabila kadar lumpur lebih dari 5% harus dicuci. Lumpur dalam pasir dapat menghalangi ikatan butir pasir dengan pasta semen. Bahan organik yang terkandung dalam pasir tidak boleh terlalu banyak, karena bahan ini dapat bereaksi dengan senyawa-senyawa dari semen-Portland yang dapat mengakibatkan berkurangnya kualitas adukan maupun mortar yang terbentuk.
4. Pasir juga tidak boleh mengandung silika aktif yang terdapat dalam opaline, chalcodonic cherts, phylites, rhyolites, tuff rhyolites, andhesite, tuff andhesite, batu gamping silika dan sebagainya. Zat-zat ini akan bereaksi dengan alkali dalam semen (reaksi alkali-agregat). Reaksinya diawali dengan serangan terhadap mine-

ral-mineral silika dalam agregat oleh alkalin hidrok-sida yang ada dalam semen. Reaksi ini akan membentuk *gel* alkali-silika yang menyelimuti butiran-butiran pasir. Butiran-butiran tersebut dikelilingi oleh pasta semen, dengan adanya pemuaian maka terjadilah tegangan internal yang dapat mengakibatkan retakan atau pecahnya pasta semen. Pemuaian ini disebabkan oleh hasil reaksi alkali-silika itu sendiri dan ditambah dengan tekanan hidrolik melalui proses osmosis.

5. Pasir laut tidak boleh dipakai kecuali dengan petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan yang diakui.

#### II.2.4 Kapur

Kapur pada bangunan terutama kapur bakar (padam) selain dipakai untuk pemutih tembok juga untuk spesi (mortar). Pada pembuatan mortar komposit, kapur berfungsi sebagai bahan pengisi dan juga bahan-ikat. Kapur yang berbutir halus ini akan mengisi pori-pori pada mortar sehingga akan mengurangi terjadinya slip antar butir pasir. Selain itu juga dapat meningkatkan sifat mudah dikerjakan (*workability*) adukan, mempercepat pengerasan, menambah daya-ikat (*adhesiveness*) dan keawetan mortar (*durability*) serta dapat mengurangi jumlah pemakaian semen-Portland.

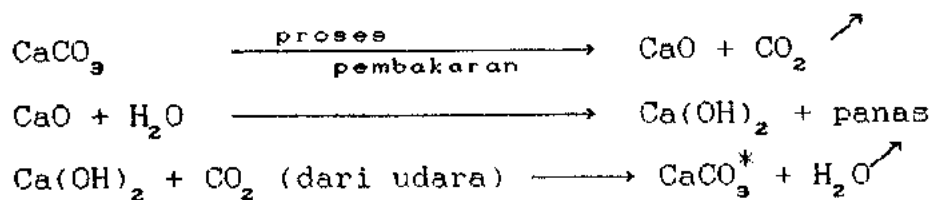
Sebagai bahan adukan mortar, kapur yang digunakan dapat berupa kapur padam (*slaked lime*), dan kapur mentah yang belum dibakar atau biasa disebut kapur kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ).

Kapur dapat diklasifikasikan dalam 3 (tiga) jenis, berikut ini.

### 1. Kapur Gemuk (*fat lime*).

Kapur gemuk ini disebut juga *high calcium* atau kapur putih yakni kapur yang mempunyai kandungan kalsium oksida tinggi (93%) dan pengikatan serta pengerasannya semata-mata mengandalkan penyerapan karbondioksida dari udara. Selain kalsium oksida (CaO) kapur ini juga mengandung silika dan alumina dalam bentuk lempung kurang dari 5%. Kapur ini dihasilkan dari pembakaran kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) murni. Pada proses pembakaran karbondioksida dilepaskan dan tinggal kapur mentah (kapur tohor/*quick lime*).

Pencampuran dengan air akan menghancurkan gumpalan kapur menjadi tepung dan mengembang 2 sampai 3 kali volume semula, menghasilkan kapur gemuk (*fat lime*). Pengembangan volume ini disertai pula dengan timbulnya panas. Proses tersebut dapat dituliskan dalam bentuk reaksi kimia seperti berikut ini.



\*CaCO<sub>3</sub> ini tidak larut dalam air dan akan mengeras.

### 2. Kapur Kurus (*Poor/Lean Lime*).

Kapur kurus ini mengandung lebih dari 5% kotoran yang berupa lempung. Karena itu, proses pepadamannya memerlukan

waktu yang lebih lama dibanding kapur gemuk (*fat lime*). Kapur jenis ini pengikatan dan pengerasannya lambat sehingga cocok untuk plester.

### 3. Kapur Hidrolis (*Hydraulic lime*).

Tidak seperti kapur gemuk ataupun kapur kurus yang pengikatannya dengan menyerap  $\text{CO}_2$  dari udara, kapur hidrolis ini melakukan ikatan di dalam air, Oleh karena itu disebut kapur hidrolis.

Kapur hidrolis ini digunakan dalam pekerjaan bangunan yang memerlukan kekuatan. Kapur jenis ini tidak cocok untuk memplester, karena partikel-partikel yang belum padam mungkin akan menjadi padam setelah jangka lama dan menyebabkan pengelupasan pada plester. Batu-batu kapur yang dihasilkan dari kapur hidrolis diketahui mengandung silika dan alumina dengan kadar yang bervariasi di samping kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ).

Pada pembakaran batu kapur, karbondioksida dilepaskan tinggal kapur mentahnya (*quick lime*) yang bila bereaksi dengan silika dan alumina membentuk kapur silikat dan kapur alumina. Penambahan air pada kapur giling halus menimbulkan reaksi kimia diantara unsur-unsur utamanya yang mengakibatkan terjadinya pengikatan dan pengerasan. Tergantung dari silika dan alumina yang dikandungnya kapur jenis ini digolongkan dalam 3 macam.

a. Kapur hidrolis mutu rendah (*Feebly hydraulic lime*).

Kapur hidrolis mutu rendah (*Feebly hydraulic*) ini mengandung silika dan alumina kurang dari 15%. Pengembangan volume pada saat pemataman kecil. Rata-rata pematamannya sangat lambat.

b. Kapur hidrolis mutu sedang (*Moderately hydraulic lime*)

Kandungan silika dan alumina pada jenis kapur hidrolis mutu sedang (*moderately hydraulic*) ini antara 15% - 25%. Pada proses pemataman terdapat sedikit peningkatan volume dan berlangsung lambat. Kapur jenis ini menghasilkan mortar lebih kuat daripada *feebly hydraulic lime*.

c. Kapur hidrolis mutu tinggi (*Eminently hydraulic lime*).

Komposisi kapur hidrolis ini sangat mirip dengan semen portland biasa (normal tipe I). Kandungan silika dan alumina sekitar 25% - 30%. Kapur jenis ini menghasilkan mortar yang lebih kuat dibandingkan dengan *moderately hydraulic lime* dan dapat digunakan sebagai pengganti semen Portland karena kemiripan sifatnya.

Adapun sifat-sifat yang dimiliki kapur sebagai bahan bangunan (bahan-ikat) adalah (Tjokrodimulyo, 1992)

1. mempunyai sifat plastis yang baik (tidak getas),
2. sebagai mortel, memberi kekuatan pada tembok.
3. dapat mengeras dengan mudah dan cepat.
4. mudah dikerjakan.
5. mempunyai ikatan yang bagus dengan batu atau bata.



Berdasarkan Syarat-syarat untuk Kapur Bahan Bangunan NI-7, kapur padam harus memenuhi syarat sebagai berikut.

- Kehalusan butir.

Semua kapur padam harus lolos ayakan 7 mm. Sisa di atas ayakan 4,8 mm untuk:

Tingkat I  $\leq 0\%$

Tingkat II  $\leq 0\%$

Tingkat III  $\leq 5\%$

- Kadar bagian yang aktif, yaitu Kadar  $\text{CaO} + \text{MgO} + (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  yang dapat larut), setelah diperhitungkan adanya  $\text{CO}_2$  dan  $\text{SO}_3$ .

Tingkat I  $\geq 90\%$

Tingkat II  $\geq 85\%$

Tingkat III  $\geq 80\%$

- Untuk kapur hidrolis berlaku syarat mekanik sebagai berikut: Kekuatan aduk dari campuran 1 kapur dan 3 pasir yang dihitung dalam perbandingan berat, setelah mengeras tujuh hari di udara lembab, kekuatan tekan harus  $\geq 15 \text{ Kg/cm}^2$ .

- Ketetapan bentuk.

Benda-benda percobaan tidak boleh menunjukkan adanya retak, pecah-pecah atau kerusakan lainnya yang berarti.

### II.3 Modulus Halus Butir Pasir

Modulus halus butir (mhb) didefinisikan sebagai jumlah prosen kumulatif dari butir-butir agregat yang tertinggal diatas suatu susunan ayakan (dalam satu set) dibagi seratus.

Modulus halus butir merupakan indeks yang dipakai sebagai ukuran kehalusan atau kekasaran butir-butir pasir. Adapun susunan ayakan yang dimaksud terdiri atas ukuran 4.75 mm, 2.36 mm, 1.18 mm, 0.6 mm, 0.3 mm, dan 0.15 mm. Semakin besar nilai mhb pasir, berarti semakin besar pula butir pasirnya. Umumnya pasir memiliki mhb antara 1,5 sampai 3,8.

Pemeriksaan terhadap modulus halus butir pasir adalah untuk menentukan gradasi dari pasir yang dipakai dan untuk mengetahui apakah pasir tersebut memenuhi persyaratan yang berlaku, seperti dalam PBI 1971 pasal 3.3 ayat 5.

#### II.4 Slump

*Slump* adalah nilai yang menunjukkan derajat konsistensi atau kelecakan suatu adukan beton, dalam hal ini mortar. Konsistensi adukan ini dapat diperiksa dengan pengujian *slump* yang menggunakan corong/kerucut Abrams dengan ukuran tinggi 30 cm, diameter atas 10 cm, dan diameter bawah 20 cm.

Pengujian *slump* merupakan cara yang praktis dan sederhana guna mempertahankan uniformitas yang dapat diterima terhadap konsistensi beton, dalam hal ini mortar, yang dihasilkan di lapangan.

*Workabilitas* beton dihubungkan dengan penerapan pekerjaan yang dibutuhkan untuk memadatkan sampai tercapai kepadatan maksimal, dan oleh karenanya tidak ada hubungannya dengan *slump*. Di dalam praktek, mungkin untuk mendapatkan *slump* yang sama pada campuran-campuran akan membutuhkan

jumlah pekerjaan yang sangat berbeda untuk memadatkannya. Ini merupakan sumber kerugian dari pengujian *slump*.

### II.5 Rencana Campuran

Rencana campuran bertujuan untuk menentukan jumlah/bagian dari masing-masing bahan, dalam hal ini semen, pasir, dan kapur. Pada penelitian ini mempergunakan perbandingan volume yang ditransformasikan ke perbandingan berat. Dalam melakukan perubahan formasi ini didasarkan pada berat jenis masing-masing bahan. Namun demikian bila kesulitan dalam menentukan berat jenis suatu bahan tertentu, dapat pula dengan mempergunakan berat satuan atau berat volume bahan. Hal ini agar dapat diperoleh suatu komposisi bahan yang lebih teliti.

Pembuatan mortar dengan berdasar pada nilai *slump* belum bisa dihitung dengan tepat seberapa banyak jumlah air yang dibutuhkan sesuai nilai *slump*. Pemakaian kapur bakar sebagai bahan campur juga berpengaruh pada serapan air adukannya. Karena itu, penambahan air yang dibutuhkan pada penelitian ini dilakukan dengan cara coba-coba sampai didapatkan adukan yang sesuai dengan nilai *slump* yang telah direncanakan.

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### III.1 Umum

Penelitian yang dilaksanakan adalah studi laboratorium dengan obyek penelitian berupa mortar semen yang diberi bahan-tambah kapur bakar. Kapur bakar yang ditambahkan ini bervariasi dari 0,00 sampai dengan 1,00 dengan interval 0,25 (perbandingan volume) pada setiap variasi campuran. Sebelum digunakan pada campuran mortar, kapur bakar tersebut dipadamkan terlebih dahulu. Pemadaman dilakukan dengan cara menyiram bongkahan kapur bakar dengan air sampai terbentuk bubuk halus.

Penelitian dilaksanakan dengan membuat contoh benda uji mortar semen ukuran 70 mm x 70 mm x 70 mm sebanyak 20 buah untuk setiap variasi komposisi adukan. Sebelum dilakukan pengujian, maka semua benda uji diberi rawatan keras terlebih dahulu. Rawatan keras ini dilakukan dua perlakuan suhu, yaitu suhu kamar  $\pm 25^{\circ}\text{C}$  dan suhu oven  $\pm 60^{\circ}\text{C}$ . Rinciannya, 2 (dua) buah dengan suhu oven dan 3 (tiga) buah dengan suhu kamar, untuk setiap variasi campuran, pada setiap umur pengujian. Kemudian pada umur yang telah ditentukan, dilakukan pengujian kuat tekan terhadap benda uji, sebanyak 5 (lima) buah untuk setiap variasi campurannya. Adapun umur pengujian yang dimaksud adalah 7, 14, 21, dan 28 hari. Dari hasil pengujian ini diharapkan dapat diketahui besarnya angka

konversi terhadap kuat tekan mortar semen umur 28 hari. Selain itu juga dapat dibuat analisa grafik tentang pengaruh bahan-tambah kapur bakar terhadap kuat tekan mortar semen, khususnya pada umur 28 hari.

Seperti halnya semen portland, kapur bakar ini juga mempunyai kemampuan untuk mengikat bahan material lain, seperti pasir. Apabila kapur tersebut dicampur dengan semen portland, maka akan ada dua kemungkinan. Pertama kapur tersebut akan menyatu dengan semen portland sehingga dapat meningkatkan daya-ikat pasta semen yang terbentuk. Kemungkinan yang kedua adalah, kapur tersebut justru akan menurunkan daya-ikat pasta semen.

Keleccakan adukan pada proses pembuatan bahan uji bukan didasarkan pada nilai faktor air semen sebagaimana mortar pada umumnya. Namun pada penelitian ini keleccakan adukan didasarkan pada nilai *slump* yang diperkirakan mendekati keleccakan yang umum digunakan di lapangan. Nilai *slump* pada penelitian ini berkisar antara 5 cm sampai 8 cm. Nilai *slump* yang direncanakan tersebut mungkin saja berubah, tergantung dari keleccakan dan sifat mudah dikerjakan (*workabilitas*) pada saat proses pembuatan.

Pengujian kuat tekan mortar pada penelitian ini dilakukan berdasarkan Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen-Portland Untuk Pekerjaan Sipil SK SNI IM-111-1990-03.

### III.2 Alat dan Bahan

#### III.2.1 Peralatan

Peralatan yang dimaksud disini adalah alat-alat yang digunakan pada penelitian ini, yakni pembuatan mortar semen dengan tambahan kapur bakar. Adapun Alat-alat yang dimaksud seperti tersebut dibawah ini.

1. Penggetar saringan pasir.
2. Satu set saringan (4.75 mm, 2.36 mm, 1.18 mm, 600  $\mu$ m, 300  $\mu$ m dan 150  $\mu$ m).
3. Timbangan besar (max. 150 kg).
4. Timbangan sedang (max. 20 kg).
5. Timbangan kecil (max. 2610 gram).
6. Talam baja.
7. Ember/timba.
8. Ayakan 4,75 mm (untuk pasir).
9. Ayakan 1,18 mm (untuk kapur).
10. Alat cetak silinder beton.
11. Batang penumbuk/pemadat.
12. Gelas ukur.
13. Cetok dan scraper.
14. Cetakan kubus mortar.
15. Kerucut Abrams,.
16. Batang penusuk, dan siku.
17. Oven.
18. Desikator.

19. Kaliper (ketelitian 0.05mm).

20. Alat uji desak.

### III.2.2 Bahan-bahan

Bahan-bahan yang dimaksud adalah bahan-bahan yang digunakan sebagai bahan penyusun adukan mortar pada penelitian ini. Data mengenai bahan penyusun adukan mortar yang dipakai adalah sebagai berikut ini.

#### 1. Semen Portland.

Tipe : I.

Merk : Semen Gresik.

Ukuran zak : 50 kg.

Kondisi : baik (normal).

#### 2. Pasir.

Jenis : Pasir kali.

Asal : Sungai Progo, didapat dari penyalur bahan-bahan bangunan 'Sri Pertidadi' di Jalan Kolombo (k-6) Yogyakarta.

kondisi : basah.

#### 3. Kapur.

Jenis : bongkahan kapur bakar.

Asal : Perusahaan gamping 'Sastrosugito', Pandansimping Prambanan. Klaten.

Sebelum dipergunakan sebagai bahan campuran, bongkahan kapur ini disiram air sampai membentuk bubuk. Penyiraman bongkahan kapur bakar dilakukan di Laboratorium Bahan

Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Setelah penyiraman diperkirakan selesai, yakni bongkahan kapur sudah tampak hancur, kemudian dibiarkan sampai diperkirakan sudah dapat diayak.

#### 4. Air.

Air yang digunakan kondisi visual bersih, jernih dan tak berbau, berasal dari Laboratorium BKT, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, UII.

### III.3 Perhitungan Campuran Mortar

Perhitungan campuran yang dimaksud adalah perhitungan untuk menentukan banyaknya masing-masing bahan yang akan digunakan dalam adukan mortar. Oleh karena itu sebelum melakukan pencampuran bahan penyusun mortar, terlebih dahulu dilakukan perhitungan campuran. Hal ini agar dapat diperoleh suatu komposisi yang tepat sesuai dengan yang dikehendaki.

Penelitian mortar ini mempergunakan perbandingan campuran yang bervariasi pada setiap adukan (Tabel 1.1). Perbandingan tersebut akan ditransformasi menjadi perbandingan berat. Proses transformasi dalam menentukan komposisi agar sebanding, terlebih dahulu dicari berat-satuan /berat volume masing-masing bahan campuran. Dengan kata lain perbandingan berat hasil transformasi harus mempunyai nilai yang setara/seimbang dengan nilai/angka-banding yang direncanakan.



Dari perbandingan berat yang telah diketahui, akhirnya dapat dihitung berat masing-masing bahan penyusun adukan yang diperlukan.

### III.3.1 Berat-Satuan (Berat Volume)

Berat-satuan atau berat-volume adalah perbandingan berat bahan dengan volume bahan. Prosedur untuk mendapatkan angka/nilai berat-satuan ini dapat dilakukan dengan menggunakan alat cetak silinder beton. Pada penelitian ini menggunakan alat cetak silinder beton dengan dimensi  $\emptyset$  15,0 cm dan tinggi 30,0 cm.

Adapun prosedur dalam mencari harga berat-satuan tersebut adalah seperti berikut ini.

Mula-mula alat cetak silinder beton dalam keadaan kosong ditimbang beratnya ( $W_1$ ). Masing-masing bahan yang akan dicari berat-satuannya, dalam hal ini pasir, semen dan kapur, dimasukkan/diisikan ke dalam silinder tersebut dan dipadatkan. Adapun yang dimaksud padat dalam hal ini adalah pada saat alat cetak silinder tersebut dilepas/dibuka, akan membentuk seperti alat cetaknya.

Apabila pemadatan telah usai seluruhnya, maka silinder beserta isinya ditimbang beratnya ( $W_2$ ). Hasil penimbangan ini ( $W_2$ ) dikurangi berat silinder kosong ( $W_1$ ), lalu dibagi volume silinder, maka didapatkan harga berat-satuan, atau dengan persamaan (3.1) berikut ini.

$$\text{Berat-satuan} = \frac{(W_2 - W_1)}{V} \dots\dots\dots(3.1)$$

dengan :

$W_1$  = berat silinder kosong.

$W_2$  = berat silinder isi.

$V$  = volume silinder.

Dari hasil pengukuran pendahuluan yang dilakukan di laboratorium, didapatkan data bahan penelitian seperti berikut ini.

$$\begin{aligned} \text{Volume silinder} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \cdot t = \frac{1}{4} \pi \cdot 15^2 \cdot 30 \\ &= 5301,4376 \text{ cm}^3. \end{aligned}$$

Berat silinder ( $W_1$ ) = 10,8 kg.

Berat silinder + kapur ( $W_2$ ) = 14,90 kg.

Berat silinder + Pasir ( $W_2$ ) = 20,18 Kg.

Berat silinder + semen ( $W_2$ ) = 19,49 Kg.

Dengan memasukkan data tersebut ke persamaan (3.1) didapatkan nilai berat-satuan masing-masing bahan penyusun mortar yang diteliti, yakni

$$- \text{Kapur} = 0,773 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3.$$

$$- \text{Pasir} = 1,769 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3.$$

$$- \text{Semen} = 1,639 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3.$$

Nilai berat-satuan ini selanjutnya digunakan sebagai dasar hitungan untuk mendapatkan nilai perbandingan berat yang ditransformasi dari nilai perbandingan (Tabel 1.1).

### III.3.2 Perbandingan Berat

Perbandingan berat yang dimaksud disini merupakan hasil transformasi dari nilai perbandingan rencana pada Tabel 1.1. Angka perbandingan berat didapat dengan cara membandingkannya terhadap berat-satuan semen, yakni mengalikan nilai banding volume dengan berat-satuannya lalu dibagi berat-satuan semen, atau dengan persamaan (3.2)

$$X = \frac{A \cdot \text{berat-satuan } x}{\text{berat-satuan semen}} \dots\dots\dots(3.2)$$

dengan :

X = nilai banding perbandingan berat.

A = nilai/angka banding.

x = bahan material yang dimaksudkan.

Sebagai contoh, untuk perbandingan 1 : 4 : 0.5 (Tabel 1.1), maka didapatkan

$$X_{\text{semen}} = \frac{1 \times \text{berat-satuan semen}}{\text{berat-satuan semen}} = \frac{1 \times 1.639 \cdot 10^{-3}}{1.639 \cdot 10^{-3}} = 1$$

$$X_{\text{pasir}} = \frac{4 \times 1.769 \cdot 10^{-3}}{1.639 \cdot 10^{-3}} = 4.32$$

$$X_{\text{kapur}} = \frac{0.5 \times 0.773 \cdot 10^{-3}}{1.639 \cdot 10^{-3}} = 0.24$$

Dengan cara yang sama, didapatkan angka perbandingan berat bahan campuran yang diteliti untuk perbandingan pada Tabel 1.1, sebagaimana tertera pada Tabel 3.1. berikut ini.

Tabel. 3.1. Perbandingan Berat Bahan Adukan Mortar.

Perbandingan			perbandingan berat		
semen	pasir	kapur	semen	pasir	kapur
1	3	0.00	1	3.24	0.00
		0.25			0.12
		0.50			0.24
		0.75			0.36
		0.00			0.48
1	4	0.00	1	4.32	0.00
		0.25			0.12
		0.50			0.24
		0.75			0.36
		0.00			0.48
1	5	0.00	1	5.40	0.00
		0.25			0.12
		0.50			0.24
		0.75			0.36
		0.00			0.48
1	6	0.00	1	6.48	0.00
		0.25			0.12
		0.50			0.24
		0.75			0.36
		0.00			0.48

### III.3.3 Berat Bahan

Berat bahan yang dimaksud adalah berat masing-masing bahan adukan yang akan dicampur sebagai adukan mortar. Berat bahan tersebut sesuai dengan nilai banding pada perbandingan berat berdasarkan volume adukan yang dibutuhkan. Oleh karena pada penelitian ini menggunakan nilai *slump* sebagai ukuran kelecakan adukan, maka volume yang dibutuhkan dalam setiap membuat adukan didasarkan pada volume kerucut Abrams.

Karena pada pengujian *slump* harus dilakukan pemadatan pada adukan mortar, maka volume adukan yang dibutuhkan adalah volume yang dipadatkan. Untuk mendapatkan volume padat tersebut dilakukan dengan memperbesar 1.5 kali volume kerucut Abrams. Dengan kata lain volume adukan yang dibutuhkan untuk setiap pembuatan adukan pada penelitian ini adalah setara dengan 1,5 kali volume kerucut yang mempunyai dimensi  $\phi_{atas} = 10$  cm,  $\phi_{bawah} = 20$  cm dan tinggi = 30 cm.

$$V = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot t (r^2 + R^2 + Rr) \dots\dots\dots(3.3)$$

$$= 5497,787 \text{ cm}^3.$$

sehingga volume padat =  $1.5 \cdot 5497,787 \text{ cm}^3 = 8246,681 \text{ cm}^3$ .

Volume padat tersebut dibagi menjadi 3 bagian sesuai dengan nilai perbandingan berat. Jadi untuk menentukan berat masing-masing bahan adukan, terlebih dahulu dihitung prosentase dari masing-masing bahan adukan dengan persamaan 3.4.

$$\text{Prosentase bahan} = \frac{X}{\sum X} \times 100\% \dots\dots\dots(3.4)$$

dengan :

$X$  = nilai/angka banding pada perbandingan berat,

$\sum X$  = jumlah seluruh nilai banding yang bersangkutan.

Sebagai contoh untuk perbandingan berat 1:4,32:0,24 adalah sebagai berikut

nilai banding semen = 1,

nilai banding pasir = 4,32.

nilai banding kapur = 0,24,

jumlah nilai banding =  $1 + 4,32 + 0,24 = 5,56$ .

maka prosentase masing-masing bahan tersebut dalam satu adukan adalah

$$\text{semen} = \frac{1}{5,56} \times 100\% = 18\% = 0,18,$$

$$\text{pasir} = \frac{4,32}{5,56} \times 100\% = 78\% = 0,78,$$

$$\text{kapur} = \frac{0,24}{5,56} \times 100\% = 4\% = 0,04.$$

Dengan cara yang sama didapatkan prosentase masing-masing bahan adukan mortar untuk tiap variasi perbandingan campuran seperti tercantum pada Tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel. 3.2. Prosentase Bahan Dalam Adukan

Perbandingan berat			Prosentase		
Semen	Pasir	Kapur	Semen	Pasir	Kapur
1	3,24	0,00	0,236	0,764	0,000
		0,12	0,229	0,743	0,028
		0,24	0,223	0,723	0,054
		0,36	0,217	0,704	0,079
		0,48	0,212	0,686	0,102
1	4,32	0,00	0,188	0,812	0,000
		0,12	0,184	0,794	0,022
		0,24	0,180	0,777	0,043
		0,36	0,176	0,761	0,063
		0,48	0,172	0,745	0,083
1	5,40	0,00	0,156	0,844	0,000
		0,12	0,153	0,828	0,019
		0,24	0,151	0,813	0,036
		0,36	0,148	0,799	0,053
		0,48	0,145	0,785	0,070
1	6,48	0,00	0,134	0,866	0,000
		0,12	0,132	0,852	0,016
		0,24	0,130	0,839	0,031
		0,36	0,128	0,826	0,046
		0,48	0,126	0,814	0,060

Prosentase bahan adukan pada Tabel 3.2. tersebut digunakan untuk menentukan berat masing-masing bahan adukan sebanyak volume yang diperlukan, dalam hal ini volume padat kerucut Abrams. Berat masing-masing bahan adukan yang diperlukan dapat dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$\text{Berat bahan} = V \times C \times D \quad \dots\dots\dots(3.5)$$

dengan :

V = volume padat kerucut Abrams.

C = prosentase bahan dalam adukan.

D = berat-satuan bahan adukan.

Sebagai contoh untuk perbandingan berat 1 : 4,32 : 0,24 pada Tabel 3.1. maka hitungan berat masing-masing bahan tersebut adalah

$$\begin{aligned} \text{berat semen} &= 8246,681 \text{ cm}^3 \times 0,180 \times 1,693 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3 \\ &= 2,433 \text{ kg.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{berat pasir} &= 8246,681 \text{ cm}^3 \times 0,777 \times 1,769 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3 \\ &= 11,335 \text{ kg.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{berat kapur} &= 8246,681 \text{ cm}^3 \times 0,043 \times 0,773 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3 \\ &= 0,2741 \text{ kg.} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama dapat dihitung berat masing-masing bahan adukan yang diperlukan. Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Berat Masing-masing Bahan Adukan Mortar.

Perbandingan berat			Prosentase berat			Berat masing-masing bahan adukan (kg)		
Semen	Pasir	Kapur	Semen	Pasir	Kapur	Semen	Pasir	Kapur
1	3.24	0,00	0,236	0,764	0,000	3.190	11,145	0,0000
		0,12	0,229	0,743	0,028	3,095	10,839	0,1785
		0,24	0,223	0,723	0,054	3,014	10,547	0,3443
		0,36	0,217	0,704	0,079	2,933	10,270	0,5036
		0,48	0,212	0,686	0,102	2,865	10,007	0,6503
1	4.32	0,00	0,188	0,812	0,000	2.541	11,845	0,0000
		0,12	0,184	0,794	0,022	2,487	11,583	0,1403
		0,24	0,180	0,777	0,043	2,433	11,335	0,2741
		0,36	0,176	0,761	0,063	2,379	11,101	0,4016
		0,48	0,172	0,745	0,083	2,325	10,868	0,5291
1	5.40	0,00	0,156	0,844	0,000	2.108	12,312	0,0000
		0,12	0,153	0,828	0,019	2,068	12,079	0,1211
		0,24	0,151	0,813	0,036	2,041	11,860	0,2295
		0,36	0,148	0,799	0,053	2,000	11,656	0,3379
		0,48	0,145	0,785	0,070	1,960	11,452	0,4463
1	6.48	0,00	0,134	0,866	0,000	1,811	12,633	0,0000
		0,12	0,132	0,852	0,016	1,784	12,429	0,1020
		0,24	0,130	0,839	0,031	1,757	12,239	0,1976
		0,36	0,128	0,826	0,046	1,730	12,050	0,2933
		0,48	0,126	0,814	0,060	1,703	11,875	0,3825

#### III.4 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji mortar semen dengan bahan-tambah kapur bakar pada penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap. Hal ini dimaksudkan agar dalam pelaksanaannya dapat berjalan dengan lancar tanpa hambatan yang berarti. Tahap-tahap yang dimaksud adalah seperti berikut ini.



#### III.4.1 Persiapan

Pada tahap persiapan ini segala keperluan yang berhubungan dengan penelitian terlebih dahulu harus sudah siap. Sebelum memulai proses pembuatan benda uji, terlebih dahulu dilakukan perhitungan-perhitungan bahan campuran yang akan dipakai. Hasil perhitungan ini digunakan untuk menghitung jumlah total bahan-bahan yang diperlukan.

Selain itu, oleh karena waktu dan peralatan yang digunakan terbatas, maka disusun pula rencana kerja pembuatan dan pengujian dalam penelitian ini. Rencana kerja tersebut dibuat dalam bentuk diagram sederhana dan dapat dilihat pada lampiran.

Sebagaimana telah disebutkan di muka bahwa kapur bakar yang dipakai masih berupa bongkahan. Oleh karena itu sebelum digunakan harus dihancurkan dan dipadamkan terlebih dahulu. Pemadaman dilakukan dengan cara menyiram bongkahan tersebut dengan air. Beberapa saat kemudian kapur ini bereaksi dengan air yang menimbulkan panas dan letupan-letupan yang diikuti pecahnya bongkahan batu kapur. Penyiraman dilakukan hingga bongkahan tersebut hancur menjadi bubuk dan kapurnya padam. Setelah proses pemadaman usai (ditandai dengan hilangnya panas), bubuk kapur yang terbentuk tersebut masih dalam kondisi lembab. Oleh karena itu didiamkan di udara terbuka sampai kering, supaya dapat diayak dengan saringan yang dikehendaki.

Pasir yang digunakan pada adukan mortar harus memenuhi persyaratan yang berlaku. Karena itu, perlu dilakukan pemeriksaan mengenai pasir, guna mengetahui modulus halus butir, kandungan lumpur, serta kadar air yang terkandung dalam pasir. Oleh karena pasir yang digunakan kondisinya basah dan untuk mendapatkan pasir dalam kondisi SSD cukup sulit serta memerlukan waktu yang cukup lama, maka perlu diketahui kadar airnya.

#### 1. Pemeriksaan Modulus Halus Butir Pasir.

Pelaksanaan pemeriksaan modulus halus butir pasir dilakukan dengan mengambil pasir (yang akan digunakan) secukupnya. Pasir tersebut dimasukkan dalam oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ . Setelah 24 jam pasir tersebut dikeluarkan dari oven dan sudah dalam keadaan kering.

Pasir kering oven tersebut diambil 2000 gram untuk dimasukkan dalam susunan saringan (paling atas). Satu set saringan tersusun (dari atas) dengan lubang ayakan berukuran 4.75 mm, 2.36 mm, 1.18 mm, 600  $\mu\text{m}$ , 300  $\mu\text{m}$ , 150  $\mu\text{m}$  standard ASTM. Susunan saringan tersebut dipasang pada alat penggetarnya dan digetarkan selama  $\pm 15$  menit.

Setelah proses penggetaran selesai dilakukan, masing-masing saringan akan terisi sejumlah pasir, yakni pasir yang tidak lolos lubang saringan. Pasir yang tertinggal pada setiap saringan tersebut ditimbang beratnya. Kemudian dibuat daftar hitungan berat yang tertahan sampai sisanya.

## 2. Pemeriksaan Kandungan Lumpur.

Lumpur adalah bagian-bagian agregat halus yang lolos lubang ayakan 0.063 mm. Lumpur ini dapat melekat erat pada butir-butir pasir dan tidak terlepas pada waktu pengadukan mortar. sehingga dapat menghalangi ikatan antara butiran pasir dengan pasta semennya. Akibatnya kualitas mortar semen dapat berkurang (kuat tekannya rendah, kemampuan untuk mengikat bahan lain berkurang).

PBI 1971 pasal 3.3 ayat (3) mensyaratkan kadar lumpur pasir tidak boleh melebihi 5% dari berat kering pasir. Apabila kadar lumpur dalam pasir melebihi ketentuan yang disyaratkan, maka pasir tersebut harus dicuci terlebih dahulu sebelum dipergunakan sebagai bahan campur adukan mortar.

Adapun pemeriksaan kandungan lumpur dalam pasir dilakukan dengan menggunakan gelas ukur. Pasir yang akan diperiksa kandungan lumpurnya adalah pasir kering (oven). Pasir kering oven sebanyak 100 gram dimasukkan dalam gelas ukur (250 cc) kemudian ditambahkan air jernih sampai setinggi  $\pm 12$  cm dari permukaan pasir. Pasir dan air dalam gelas ukur tersebut dikocok 25 kali. Kemudian didiamkan selama 30 detik (setengah menit) dan buang airnya. Langkah ini diulang-ulang hingga air nampak jernih seperti semula (sebelum dicampur pasir). Selanjutnya pasir tersebut dikeringkan dalam oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ . Setelah 24 jam berada dalam oven, pasir dikeluarkan dari oven dan didinginkan dalam desikator, lalu

ditimbang beratnya. Hasil penimbangan ini dipakai untuk mengurangi berat awal (sebelum dicuci) untuk dibandingkan terhadap berat awalnya atau dengan persamaan berikut ini

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \% < 5\% \quad \dots\dots\dots (3.6)$$

dengan :

$W_1$  = berat awal/sebelum dicuci (gram),

$W_2$  = berat akhir/setelah dicuci (gram).

### 3. Pemeriksaan Kadar Air Dalam Pasir.

Pemeriksaan kadar air dalam pasir dilakukan dengan menimbang sejumlah pasir yang digunakan dalam kondisi seadanya/aslinya ( $W_1$ ). Selanjutnya pasir tersebut dioven pada suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ . Setelah 24 jam pasir dikeluarkan dari oven dan masuk desikator, lalu ditimbang lagi ( $W_2$ ). Kadar air dapat dihitung dengan persamaan berikut ini (Gunawan,1987).

$$\text{Kadar air} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3.7)$$

dengan :

$W_1$  = berat pasir basah.

$W_2$  = berat pasir kering oven.

Sesuai dengan rencana kerja yang telah dibuat sebelum pembuatan benda uji, terlebih dahulu dipersiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan. Bahan-bahan yang dibutuhkan pada saat pembuatan bahan uji ini antara lain adalah semen, pasir, kapur dan air. Adapun alat-alat yang digunakan adalah

- a. saringan pasir (4,75 mm),
- b. saringan kapur (1,18 mm),
- c. talam baja dan timba/ember,
- d. kerucut Abrams, batang penusuk dan siku,
- e. gelas ukur dan timbangan,
- f. cetok dan scraper,
- g. alat cetak mortar.

Pasir dan kapur terlebih dahulu disaring dengan saringan yang sesuai dengan diameter lobang yang dikehendaki. Pasir yang digunakan adalah pasir yang lolos saringan 4,75 mm, sedangkan kapur yang digunakan lolos saringan 1,18 mm. Butiran kapur yang kecil ini dimaksudkan sebagai bahan pengisi rongga antar butir pasir dan juga sebagai bahan pengikat, agar dapat mengurangi pemakaian semen portland.

#### III.4.2 Proses Pembuatan

Waktu pelaksanaan pembuatan benda uji disesuaikan dengan jadwal yang telah dibuat pada tahap persiapan. Bahan-bahan yang telah disiapkan ditimbang sesuai dengan perbandingan yang telah dihitung. Bahan-bahan yang telah ditimbang tersebut dituangkan ke talam baja.

Proses pencampuran dilakukan secara manual, yakni diaduk-aduk dengan menggunakan cetok dan diusahakan serata mungkin. Adukan dikatakan rata apabila warna adukan sudah homogen/seragam. Setelah campuran benar-benar rata/berwarna seragam, ditambahkan air sedikit demi sedikit sampai tera-

sa/tampak plastis. Jumlah air yang ditambahkan dicatat untuk mengetahui volume air yang dibutuhkan untuk nilai *slump* tertentu. Sebagaimana diketahui bahwa pembuatan mortar ini, kebutuhan air bukan didasarkan pada nilai faktor air semen, akan tetapi berdasarkan nilai *slump*.

Adukan yang telah jadi tersebut dimasukkan ke dalam kerucut Abrams dalam 3 (tiga) lapis. Masing-masing lapis kurang lebih  $\frac{1}{3}$  volume kerucut. Setiap lapis ditusuk sebanyak 25 kali sebagai proses pemadatan. Batang tusuk yang dipakai berupa batang baja  $\varnothing$  16 mm, panjang 40 cm dan ujungnya tumpul. Ceceran adukan yang ada disepular kerucut dibersihkan lebih dahulu. Ini dimaksudkan agar tidak menghalangi gerakan adukan ketika kerucut diangkat. Kira-kira  $\frac{1}{2}$  menit kemudian, kerucut Abrams yang telah terisi penuh dan padat tersebut diangkat secara perlahan

Langkah selanjutnya kerucut Abrams tersebut diletakkan disamping ongkokan adukan dengan posisi berdiri. Batang penusuk diletakkan secara horisontal di atas/di ujung kerucut sampai ujung batang melewati di atas ongkokan adukan. Dari batang mendatar tersebut, diukur besarnya penurunan adukan terhadap tinggi kerucut dengan menggunakan penggaris. Maka akan didapatkan nilai *slump* dari pengukuran tersebut.

Apabila sudah didapatkan nilai *slump* sesuai dengan yang dikehendaki, maka adukan tersebut dimasukkan ke dalam alat cetak kubus mortar. Alat cetak kubus mortar ini sebelum di-

gunakan diolesi minyak pelumas lebih dulu. Pengisian adukan ke dalam alat cetak dilakukan dengan disertai pemadatan, dengan mempergunakan potongan baja yang ujungnya tumpul. Kemudian permukaan atas diratakan dengan menggunakan scraper.

Adukan dalam cetakan didiamkan selama  $\pm$  24 jam, lalu dikeluarkan dari alat cetak untuk selanjutnya masuk tahap rawatan.

#### III.4.3 Rawatan

Benda uji dalam cetakan sebelum dikeluarkan, terlebih dahulu diberi tanda. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari terjadinya saling tertukar antar benda uji yang satu dengan yang lainnya.

Rawatan dilakukan dengan merendam benda uji dalam air bersih, jernih dan tidak berbau. Dengan kata lain air yang digunakan untuk merawat benda uji adalah air yang memenuhi persyaratan yang berlaku untuk pembuatan adukan.

Dua hari menjelang pengujian, benda uji dikeluarkan dari rendaman. Pada penelitian ini menggunakan 5 buah sampel untuk setiap variasi perbandingan campuran pada tiap umur pengujian. Rawatan benda uji ini dilaksanakan dengan 2 (dua) perlakuan suhu, yakni suhu oven dan suhu kamar.



### III.5 Pelaksanaan pengujian

Pengujian baru dapat dilaksanakan bila benda uji telah mencapai umur pengujian yang direncanakan dalam hal ini umur 7, 14, 21, dan 28 hari.

#### III.5.1 Pengujian Terhadap Serapan Air

Pengujian terhadap serapan air pada mortar ini, dilakukan guna mengetahui besarnya daya serap air oleh mortar. Pengujian dilakukan berdasarkan selisih antara berat benda sebelum dioven dan sesudah di oven.

Sebagaimana telah diuraikan diatas, dua hari menjelang pengujian benda uji dikeluarkan dari rendaman. Benda uji tersebut selanjutnya ditimbang beratnya ( $W_1$ ), kemudian dimasukkan dalam oven pada suhu  $60^{\circ}\text{C}$ . Setelah  $\pm 24$  jam benda uji dikeluarkan dari oven dan didinginkan di dalam desikator selama  $\pm 24$  jam.

Setelah  $\pm 24$  jam berada dalam desikator, benda uji dikeluarkan dan ditimbang beratnya ( $W_2$ ). Besarnya serapan air pada mortar ini dihitung dengan persamaan

$$\text{Resapan air} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots(3.8)$$

dengan :

$W_1$  = berat awal (sebelum dioven).

$W_2$  = berat akhir (setelah dioven).



### III.5.2 Pengujian Berat Jenis Mortar

Pengujian berat jenis mortar dilakukan terhadap benda uji umur 28 hari. Benda uji yang telah mencapai umur 28 hari diukur dimensi serta ditimbang beratnya. Pengukuran dimensi dilakukan untuk mengetahui volume mortar. Mortar yang diuji berat jenisnya hanya mortar yang mendapat perawatan pada suhu kamar. Berat jenis mortar dihitung dengan persamaan

$$\text{Berat Jenis} = \frac{\text{Berat mortar}}{\text{Volume mortar}} \text{ kg/cm}^3 \quad \dots\dots(3.9)$$

### III.5.3 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat-tekan kubus mortar dilakukan dengan menggunakan alat uji desak beton. Tepat pada hari pengujian, benda uji diukur dimensi serta ditimbang beratnya. Pengukuran ini dimaksudkan untuk mendapatkan luas bidang yang tertekan. Sedangkan penimbangan dilakukan untuk menunjukkan tingkat kepadatan, kapasitas dan macam agregat yang berada dalam mortar.

Besar kuat-tekan mortar ini dihitung dengan menggunakan persamaan

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{ Kg/cm}^2 \quad \dots\dots\dots(3.10)$$

dengan :

$\sigma$  = kuat tekan ( $\text{kg/cm}^2$ ),

$F$  = gaya tekan (kg).

$A$  = luas bidang tertekan ( $\text{cm}^2$ ).

#### III.5.4 Angka Konversi

Angka konversi yang dimaksudkan adalah nilai banding kuat tekan umur tertentu (lebih muda) terhadap kuat tekan umur 28 hari. Diharapkan nilai ini nanti dapat digunakan sebagai standar/patokan pada perhitungan kuat tekan mortar selanjutnya.

Angka konversi ini dicari dengan membandingkan besar kuat tekan mortar pada umur tertentu (umur pengujian) dengan kuat tekan mortar pada umur 28 hari dan dikalikan seratus prosen, atau dengan persamaan

$$\text{Angka konversi} = \frac{\sigma_n}{\sigma_{28}} \times 100 \% \quad \dots\dots(3.11)$$

dengan :

$\sigma_n$  = kuat tekan mortar umur (n) hari,

$\sigma_{28}$  = kuat tekan mortar umur 28 hari.