

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Hasil penelitian (Deni Hidayat, Yusep Muslih Purwana, dan Florentina Pungky Pramesti), penggunaan material ringan dengan mortar busa sebagai material pengisi timbunan memberikan beberapa keuntungan yaitu deformasinya lebih rendah jika dibandingkan dengan timbunan konvensional. Penurunan tanah dasar akibat konstruksi timbunan konvensional mengalami penurunan sebesar 6810 mm, sedangkan apabila menggunakan timbunan ringan akibat beban merata 39,9 mm dan timbunan ringan akibat beban terpusat 98,3 mm. *(Sumber: Deni Hidayat, Yusep Muslih Purwana, dan Florentina Pungky Pramesti)*

Hasil penelitian (Rofikatul Karimah, Yunan Rusdianto, dan Dhimas Yudhistira Hamdany), pengaruh penambahan *foam agent* pada beton terhadap kuat tekan adalah semakin banyak yang ditambahkan terhadap rancangan campuran (*mix design*) beton maka semakin rendah pula kuat tekan yang dihasilkan, pada campuran 0% didapatkan kuat tekan 21,68 Mpa, campuran 20% didapat kuat tekan 7,92 Mpa, campuran 40% didapatkan kuat tekan 4,53 Mpa, campuran 60% didapatkan kuat tekan 0,75 Mpa, campuran 80% didapatkan kuat tekan 0,38 Mpa. *(Sumber: Rofikatul Karimah, Yunan Rusdianto, dan Dhimas Yudhistira Hamdany)*

Hasil penelitian (Raditya Hardianto, Erwin Sutandar, Asep Supriyadi), Dari hasil rekapitulasi pengujian bata beton ringan *foam* yang ditinjau dari sifat fisis dan mekanis bata beton ringan yang dihasilkan didapatkan hasil komposisi pemakaian air terbaik (optimum) dalam campuran adalah pada variasi 4 (semen 250 kg; pasir 500 kg; foam 0,8 kg; air 50% dari berat semen; Sikament LN 1,2 kg). Dari rekapitulasi hasil pengujian yang dibandingkan dengan tujuan dan hipotesa pada penelitian ini, yakni bahwa variasi pemakaian air yang paling optimum (tidak terlalu banyak ataupun kekurangan air) berpengaruh terhadap sifat fisis dan mekanis bata beton ringan yang dihasilkan. *(Sumber: Raditya Hardianto, Erwin Sutandar, Asep Supriyadi)*

## 2.2 Mortar

Mortar didefinisikan sebagai campuran material yang terdiri dari agregat halus (pasir), bahan perekat (tanah lempung, kapur, semen portland) dan air dengan komposisi tertentu (SNI 03-6825-2002).

Mortar adalah bahan bangunan terdiri dari agregat halus, bahan perekat serta air, dan diaduk sampai homogen. Adukan mortar dibuat kelecakannya cukup baik sehingga mudah dikerjakan. Mortar sebagai bahan bangunan, biasa diukur sifat-sifatnya, misalnya kuat tekan, berat jenis, kuat tarik, daya serap air, kuat rekat dengan bata merah, susutan, dan sebagainya. (Tjokrodimuljo, K 2012)

Tjokrodimuljo, K (2012) membagi mortar berdasarkan jenis bahan ikatnya menjadi empat jenis, yaitu:

### a. Mortar Lumpur

Mortar lumpur dibuat dari campuran air, tanah liat/lumpur, dan agregat halus. Perbandingan campuran bahan-bahan tersebut harus tepat untuk memperoleh adukan yang kelecakannya baik dan mendapatkan mortar (setelah keras) yang baik pula. Terlalu sedikit pasir menghasilkan mortar yang retak-retak setelah mengeras sebagai akibat besarnya susutan pengeringan. Terlalu banyak pasir menyebabkan adukan kurang dapat melekat dengan baik. Mortar lumpur ini dipakai untuk bahan dinding tembok atau bahan tungku api di pedesaan.

### b. Mortar kapur

Mortar kapur dibuat dari campuran pasir, kapur, semen merah dan air. Kapur dan pasir mula-mula dicampur dalam keadaan kering kemudian ditambahkan air. Air diberikan secukupnya untuk memperoleh adukan dengan kelecakan yang baik. Selama proses pelekatan kapur mengalami susutan sehingga jumlah pasir yang umum digunakan adalah tiga kali volume kapur. Mortar ini biasa dipakai untuk perekat bata merah pada dinding tembok bata, atau perekat antar batu pada pasangan batu.

c. Mortar semen

Mortar semen dibuat dari campuran air, semen Portland, dan agregat halus dalam perbandingan campuran yang tepat. Mortar ini lebih besar dari pada mortar lumpur atau mortar kapur, oleh karena itu biasa dipakai untuk tembok, pilar, kolom, atau bagian bangunan lain yang menahan beban. Karena mortar semen ini lebih rapat air (dibandingkan dengan mortar lain sebelumnya) maka juga dipakai untuk bagian luar bangunan dan atau bagian bangunan yang berada dibawah tanah (terkena air).

d. Mortar khusus

Mortar khusus ini dibuat dengan menambahkan bahan khusus pada mortar kapur dan mortar semen dengan tujuan tertentu. Seperti contohnya mortar ringan diperoleh dengan menambahkan asbestos fibres (mineral halus), jutes fibres (serat alami), butir – butir kayu, serbuk gergaji kayu, serbuk kaca dan lain sebagainya. Mortar khusus digunakan dengan tujuan dan maksud tertentu, contohnya mortar tahan api diperoleh dengan penambahan serbuk bata merah dengan aluminous cement, dengan perbandingan satu aluminous cement dan dua serbuk batu api. Mortar ini biasanya di pakai untuk tungku api dan sebagainya.

Fungsi utama mortar adalah menambah lekatan dan ketahanan ikatan dengan bagian-bagian penyusun suatu konstruksi. Kekuatan mortar tergantung pada kohesi pasta semen terhadap partikel agregat halusnya. Mortar mempunyai nilai penyusutan yang relatif kecil. Mortar harus tahan terhadap penyerapan air serta kekuatan gesernya dapat memikul gaya-gaya yang bekerja pada mortar tersebut. Jika penyerapan air pada mortar terlalu besar/cepat, maka mortar akan mengeras dengan cepat dan kehilangan ikatan adhesinya.

## 2.3 Mortar Busa

Menurut Spesifikasi Khusus Seksi 7.16, material ringan mortar busa adalah material menyerupai beton yang terdiri dari campuran material pasir, semen, air dan cairan busa (*foam agent*). Material ini dapat digunakan sebagai timbunan untuk konstruksi jalan yang dimaksudkan untuk mengurangi beban timbunan seperti yang ditunjukkan dalam Gambar Rencana. Spesifikasi Khusus Seksi 7.16 ini menjelaskan persyaratan untuk material ringan mortar-busa merupakan Seksi tambahan dari Spesifikasi Umum Divisi 7.

Material timbunan ringan dengan mortar busa mempunyai beberapa keunggulan diantaranya:

1. Ringan dan kekuatannya cukup tinggi untuk subgrade dan pondasi perkerasan jalan; Berat isi dan kuat tekan campuran ini dapat didesain sesuai kebutuhan sehingga dapat mengurangi tekanan lateral pada suatu struktur bangunan abutment pondasi jembatan.
2. Karena berpori – pori maka memiliki daya rembes yang besar atau mampu melewatkan air yang dikandungnya tanpa mengalami pemampatan.
3. Kemudahan dalam pelaksanaan karena dapat memadat sendiri.
4. Material campuran mortar busa dapat mengembang sampai dengan 4 (empat) kali volume awal sehingga kebutuhan material dapat dikurangi.

### 2.3.1 Persyaratan dan Kriteria Mortar Busa

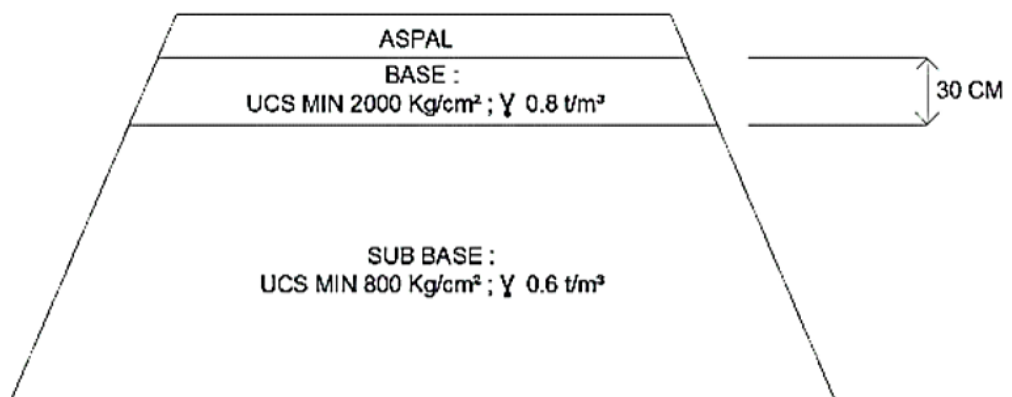
Berdasarkan buku Teknologi *Corrugated-Mortar Busa* Pusjatan (CMP) ada persyaratan desain mortar busa dan kriteria material ringan mortar busa.

Adapun persyaratan dan kriteria material ringan mortar busa terdiri dari:

1. Mempunyai berat yang ringan sehingga nilai densitas (*density*) dari material campuran atau mortar tersebut mempunyai berat isi 5-12 kN/m<sup>3</sup>
2. Mempunyai nilai *flow (flowability)*, yang diindikasikan untuk memudahkan pelaksanaan dilapangan, nilai flow berkisar 180±20 mm

3. Mempunyai kemudahan pelaksanaan, dapat memadat sendiri karena berperilaku seperti mortar beton dimana material campuran tersebut mengeras sesuai dengan waktu pemeraman (*curing*) yang ditetapkan.
4. Mempunyai kuat tekan yang cukup tinggi sesuai untuk jenis konstruksi penggunaannya.

Berikut ini merupakan gambar dari lapisan mortar busa pada timbunan jalan yang dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Lapisan mortar busa pada timbunan jalan

### 2.3.2 Persyaratan Kuat Tekan dan Berat Isi Mortar Busa

Stabilitas dan besarnya penurunan pada timbunan jalan bergantung pada berat timbunan. Timbunan material ringan dengan mortar busa dapat mengurangi berat timbunan dan mengurangi penurunan serta ketidakstabilan yang berlebihan.

Timbunan ringan untuk bangunan jalan didesain agar menghasilkan material ringan yang memenuhi persyaratan dengan kriteria desain seperti ditunjukkan pada tabel 2.1 dan tabel 2.2

Tabel 2.1 Kekuatan Tekan Minimum Mortar Busa Lapis Pondasi Atas

| Desain             | Umur<br>Pemeraman<br>(hari) | Kuat Tekan<br>Minimum/UCS<br>(kPa) | Maksimum Berat<br>Isi (Densitas)<br>(t/m <sup>3</sup> ) |
|--------------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Lapis Pondasi Atas | 3                           | 1750                               | 0,8                                                     |
|                    | 7                           | 1900                               |                                                         |
|                    | 14                          | 2000                               |                                                         |

(Sumber: Kemen PU, 2011)

Tabel 2.2 Kekuatan Tekan Minimum Mortar Busa Lapis Pondasi Bawah

| Desain              | Umur<br>Pemeraman<br>(hari) | Kuat Tekan<br>Minimum/UCS<br>(kPa) | Maksimum Berat<br>Isi (Densitas)<br>(t/m <sup>3</sup> ) |
|---------------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Lapis Pondasi Bawah | 3                           | 600                                | 0,6                                                     |
|                     | 7                           | 750                                |                                                         |
|                     | 14                          | 800                                |                                                         |

(Sumber: Kemen PU, 2011)

## 2.4 Material Penyusun Mortar Busa

### 2.4.1 Semen Portland

Menurut SNI 15-2049-2004, semen portland yaitu semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. Perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah persentase empat komponen utama semen dapat menghasilkan beberapa tipe semen yang sesuai dengan tujuan pemakaiannya.

Secara umum sesuai dengan standar dari *American Society for Testing and Materials* (ASTM), jenis semen yang ada dapat dikategorikan menjadi lima jenis.

Jenis semen tersebut antara lain:

1. Semen Portland tipe I, merupakan jenis semen biasa yang dapat digunakan pada pekerjaan konstruksi umum.
2. Semen Portland tipe II, merupakan modifikasi dari semen tipe I, yang memiliki panas hidrasi lebih rendah dan dapat tahan dari beberapa jenis serangan sulfat.
3. Semen Portland tipe III, merupakan tipe semen yang dapat menghasilkan kuat tekan beton awal yang tinggi. Setelah 24 jam proses pengecoran semen tipe ini akan menghasilkan kuat tekan dua kali lebih tinggi daripada semen tipe biasa, namun panas hidrasi yang dihasilkan semen jenis ini lebih tinggi daripada panas hidrasi semen tipe I.
4. Semen Portland tipe IV, merupakan semen yang mampu menghasilkan panas hidrasi yang rendah, sehingga cocok digunakan pada proses pengecoran struktur beton yang masif.
5. Semen Portland tipe V, yaitu semen portland digunakan untuk struktur-struktur beton yang memerlukan ketahanan yang tinggi dari serangan sulfat.

#### **2.4.2 Agregat Halus (Pasir)**

Menurut Murdock (1999) agregat halus disebut pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai atau tanah galian, atau dari hasil pemecahan batu. Agregat halus ialah agregat yang semua butirnya menembus ayakan 4.8 mm (SII.0052,1980) atau 4.75 mm (ASTM C33,1982) atau 5.0 mm (BS.812,1976).

Agregat pasir tidak boleh mengandung lumpur, tanah liat dan material-material gembur/mudah hancur lebih dari 4% (SNI 03-6819-2002). Agregat pasir harus bebas dari arang, benda-benda dari kayu serta kotoran-kotoran lainnya yang tidak dikehendaki.

Syarat Mutu Agregat Halus menurut SK SNI S – 04 – 1989 – F yaitu:

- a. Butirannya tajam, kuat dan keras
- b. Bersifat kekal, tidak pecah atau hancur karena pengaruh cuaca.
- c. Agregat halus tidak boleh mengandung Lumpur ( bagian yang dapat melewati ayakan 0,060 mm) lebih dari 5 %. Apabila lebih dari 5 % maka pasir harus dicuci.
- d. Tidak boleh mengandung zat organik, karena akan mempengaruhi mutu beton. Bila direndam dalam larutan 3 % NaOH, cairan di atas endapan tidak boleh lebih gelap dari warna larutan pembanding.
- e. Harus mempunyai variasi besar butir (gradasi) yang baik, sehingga rongganya sedikit. Mempunyai modulus kehalusan antara 1,5-3,8.

Cara-cara memeriksa sifat-sifat pasir :

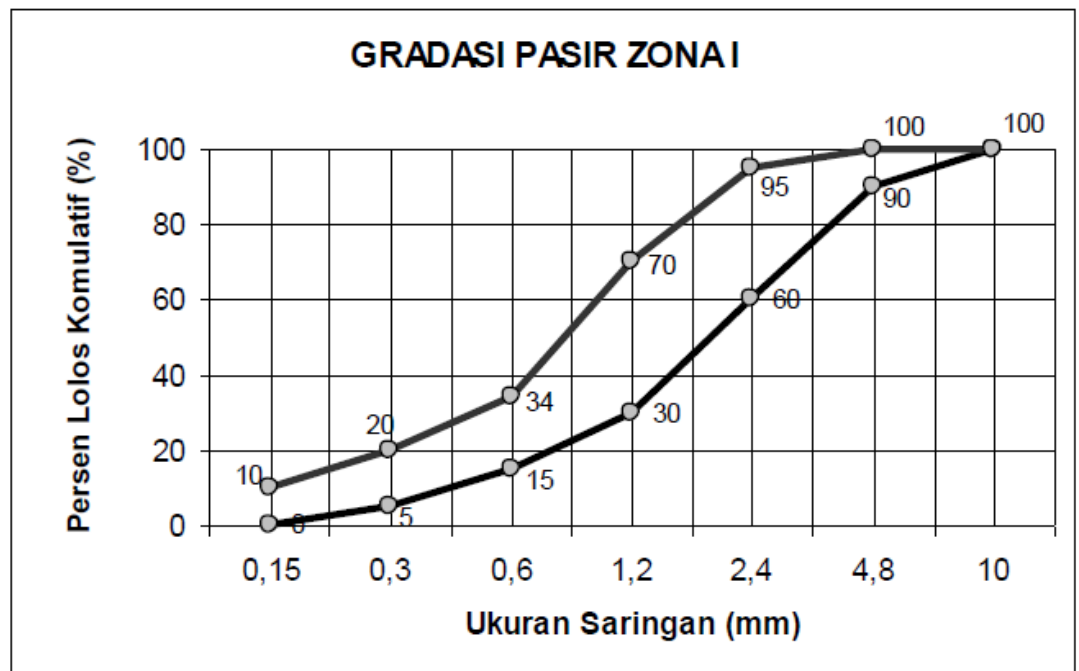
- a. Untuk mengetahui kandungan tanah liat/lumpur pada pasir dilakukan dengan cara meremas atau menggenggam pasir dengan tangan. Bila pasir masih terlihat bergumpal dan kotoran tertempel di tangan, berarti pasir banyak mengandung Lumpur.
- b. Kandungan lumpur dapat pula dilakukan dengan mengisi gelas dengan air, kemudian masukkan sedikit pasir ke dalam gelas. Setelah diaduk dan didiamkan beberapa saat maka bila pasir mengandung Lumpur, Lumpur akan terlihat mengendap di atasnya.
- c. Pemeriksaan kandungan zat organik dilakukan dengan cara memasukkan pasir ke dalam larutan Natrium Hidroksida ( NaOH) 3 % . Setelah diaduk dan didiamkan selama 24 jam, warnanya dibandingkan dengan warna pembanding.
- d. Sifat kekal diuji dengan larutan jenuh garam Na-Sulfat/Magnesium Sulfat.

Adapun batas gradasi agregat halus berdasarkan SNI-03-2834-2000 dapat dilihat pada tabel 2.3 dan grafiknya dapat dilihat pada gambar 2.2, gambar 2.3, gambar 2.4 dan gambar 2.5

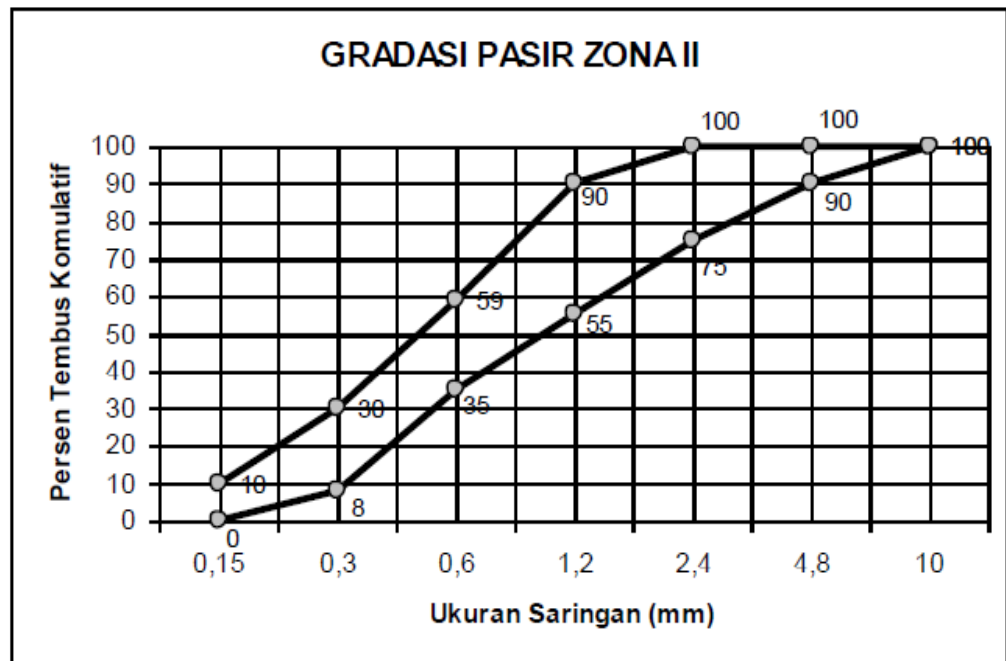
Tabel 2.3 Gradasi Agregat Halus

| Lubang Ayakan (mm) | Persen berat butir yang lewat ayakan |          |          |          |
|--------------------|--------------------------------------|----------|----------|----------|
|                    | Zona I                               | Zona II  | Zona III | Zona IV  |
| 10                 | 100                                  | 100      | 100      | 100      |
| 4,8                | 90 - 100                             | 90 - 100 | 90 - 100 | 95 - 100 |
| 2,4                | 60 - 95                              | 75 - 100 | 85 - 100 | 95 - 100 |
| 1,2                | 30 - 70                              | 55 - 90  | 75 - 100 | 90 - 100 |
| 0,6                | 15 - 34                              | 35 - 59  | 60 - 79  | 80 - 100 |
| 0,3                | 5 - 20                               | 8 - 30   | 12 - 40  | 15 - 50  |
| 0,15               | 0 - 10                               | 0 - 10   | 0 - 10   | 0 - 15   |

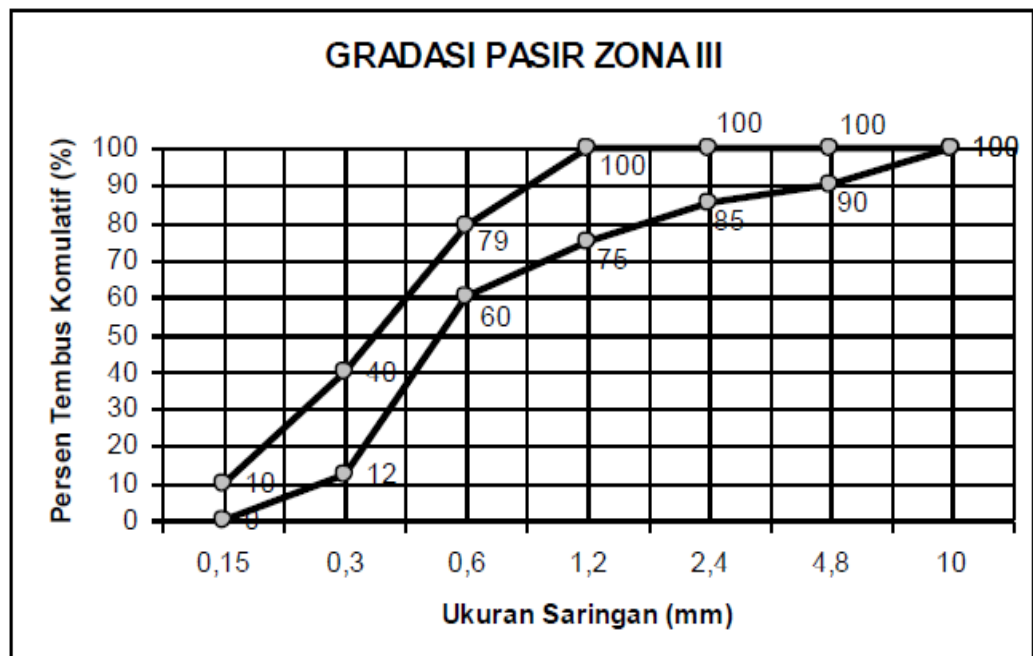
(Sumber: SNI-03-2834-2000)



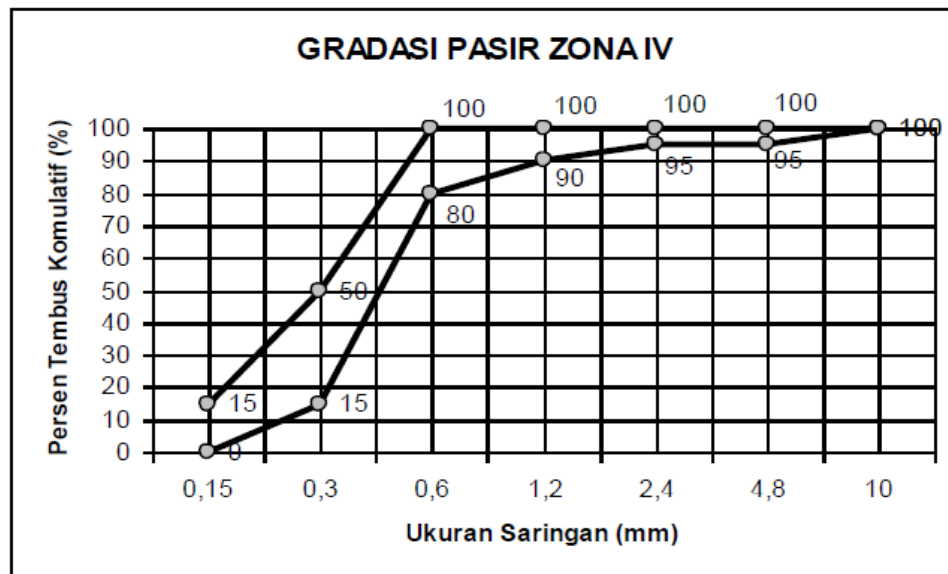
Gambar 2.2 Gradasi Pasir Zona I



Gambar 2.3 Gradasi Pasir Zona II



Gambar 2.4 Gradasi Pasir Zona III



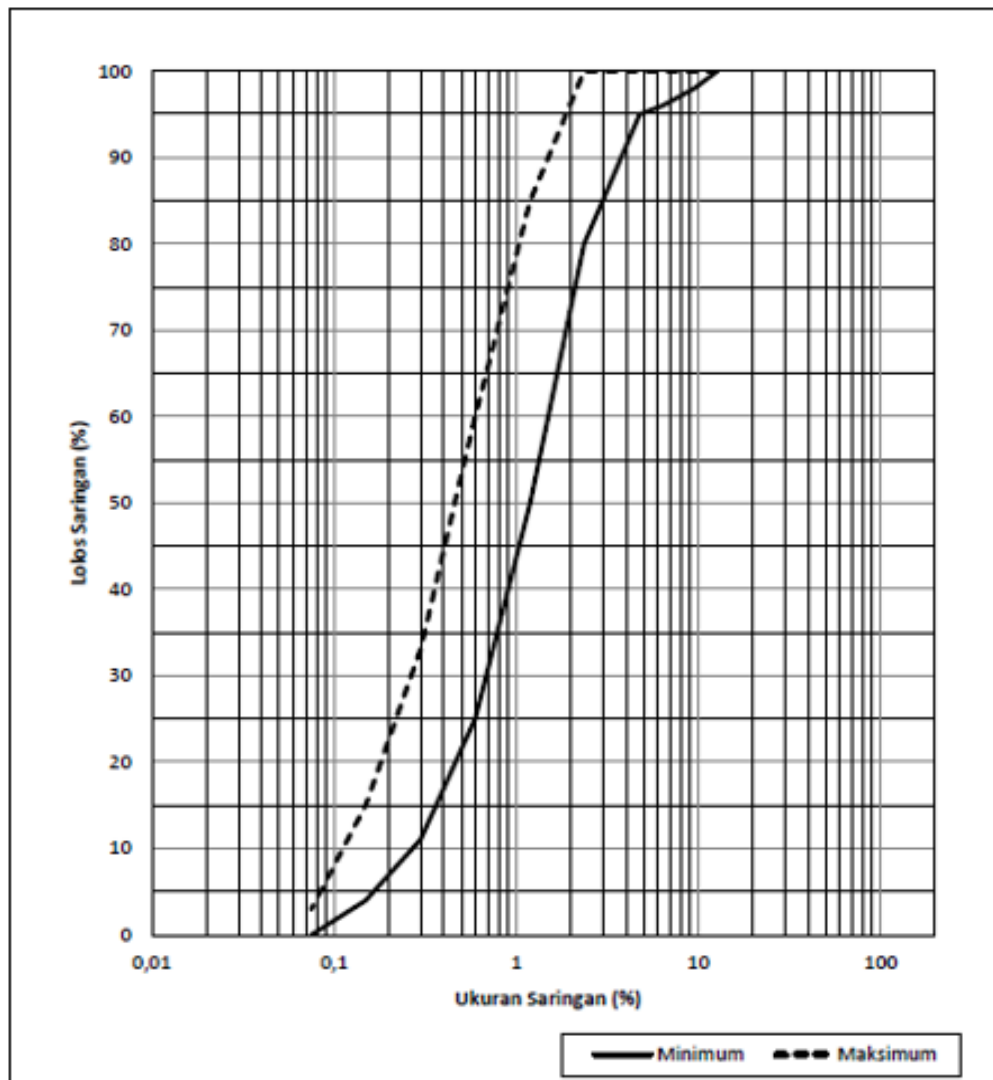
Gambar 2.5 Gradasi Pasir Zona IV

Menurut Spesifikasi Khusus Seksi 7.16, agregat halus yaitu pasir yang digunakan harus memenuhi spesifikasi Tabel 2.4 dan Gambar 2.6.

Tabel 2.4 Gradasi agregat pasir alam berdasarkan ukuran saringan

| No | Ukuran Saringan |       | % Berat Lolos Saringan |          |
|----|-----------------|-------|------------------------|----------|
|    | Inci/No         | Mm    | Minimum                | Maksimum |
| 1  | ½"              | 12,7  | 100                    | 100      |
| 2  | 3/8"            | 9,51  | 98                     | 100      |
| 3  | ¼"              | 6,35  | 96                     | 100      |
| 4  | 4"              | 4,76  | 96                     | 100      |
| 5  | 8"              | 2,36  | 80                     | 100      |
| 6  | 16"             | 1,19  | 50                     | 85       |
| 7  | 30"             | 0,595 | 25                     | 60       |
| 8  | 50"             | 0,297 | 11                     | 33       |
| 9  | 100"            | 0,149 | 4                      | 15       |
| 10 | 200"            | 0,075 | 0                      | 3        |

(Sumber: Spesifikasi Khusus Seksi 7.16)



Gambar 2.6 Grafik gradasi agregat pasir untuk mortar-busa

### 2.4.3 Air

Air adalah bahan untuk mendapatkan kelecakan yang perlu untuk penuangan beton. Jumlah air yang diperlukan untuk kelecakan tertentu tergantung pada sifat material yang digunakan. Air yang mengandung kotoran yang cukup banyak akan mengganggu proses pengerasan atau ketahanan beton (Paul Nugraha dan Antoni, 2007).

Syarat air yang digunakan untuk membuat mortar sama dengan beton. Menurut Istimawan (1993) air yang digunakan untuk membuat beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, garam-garam, zat

organic atau bahan-bahan lain yang bersifat merusak beton dan baja tulangan. Sebaiknya dipakai air tawar yang bersih yang dapat diminum. Air yang berasal dari sumber alam tanpa pengolahan sering mengandung garam-garam anorganik, zat organik, dan zat-zat mengapung seperti lempung atau tanah liat, minyak dan kotoran lainnya, yang berpengaruh buruk terhadap mutu dan sifat beton.

Fungsi air di dalam adukan mortar adalah untuk memicu proses kimiawi semen sebagai bahan perekat dan melumasi agregat agar mudah dikerjakan. Kualitas air yang digunakan untuk mencampur mortar sangat berpengaruh terhadap kualitas mortar itu sendiri.

Air yang diperlukan dipengaruhi faktor-faktor dibawah ini:

- a. Ukuran agregat maksimum: diameter membesar → kebutuhan air menurun (begitu pula jumlah mortar yang dibutuhkan menjadi lebih sedikit).
- b. Bentuk butir: bentuk bulat → kebutuhan air menurun (batu pecah perlu lebih banyak air).
- c. Gradasi agregat: gradasi baik → kebutuhan air menurun untuk kelecakan yang sama.
- d. Kotoran dalam agregat: makin banyak silt, tanah liat dan lumpur → kebutuhan air meningkat.
- e. Jumlah agregat halus (dibandingkan agregat kasar, atau h/k: Agregat halus lebih sedikit → kebutuhan air menurun. (Paul Nugraha dan Antoni, 2007:74)

Penggunaan air untuk mortar sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- a. Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gram / liter,
- b. Tidak mengandung garam-garam yang merusak mortar (asam, zat organik) lebih dari 15 gram / liter,
- c. Tidak mengandung Klorida (Cl) lebih dari 5 gram / liter,
- d. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram / liter.

#### 2.4.4 *Foam Agent*

Bahan tambah yang digunakan pada mortar busa ini adalah *foam agent*. Cairan busa (*foam agent*) adalah suatu bahan yang terbentuk dengan menjebak banyak sekali gelembung gas dalam benda cair atau padat, utamanya berjenis bahan baku aktif permukaan dan protein nabati, berbentuk cairan yang dicampur dengan air dan diaduk dengan alat pembangkit busa (*foam generator*) sampai menghasilkan busa. (Spesifikasi Khusus Seksi 7.16)

*Foam agent* merupakan cairan yang apabila dicampur dengan air dan diberikan tekanan udara tertentu akan membentuk busa yaitu senyawa kimia dominan yang teridentifikasi dalam cairan pembentuk busa diantaranya:

1. *Dodecanol* yaitu senyawa organik yang diproduksi secara industri dari minyak inti sawit atau minyak kelapa. Ini adalah alkohol berlemak yang digunakan dalam deterjen, minyak pelumas, dan obat-obatan.
2. *Methoxyacetic acid tridecyl ester* atau *Asam Metoksiasetat* termasuk dalam keluarga *Asam Karboksilat*. *Asam Karboksilat* itu sendiri memiliki nama lain yaitu *Asam Alkanoat* atau asam lemah yang mudah terionisasi dengan air.
3. *Tetradecanol* dapat juga disebut cairan *surfactant* yang memiliki karakteristik kimia yang hampir sama dengan air.

Fungsi dari *foam agent* ini adalah untuk menstabilkan gelembung udara selama pencampuran dengan cepat dan mendapatkan campuran mortar dengan berat isi yang ringan serta dapat didesain sesuai dengan rencana. Pembuatan busa dilakukan pencampuran cairan busa dan air dengan menggunakan *foam generator* dan *compressor*.

Bahan baku cairan busa harus disimpan dalam tempatnya dan selalu dalam keadaan tertutup, tidak boleh ditumpuk lebih dari 2 susun, agar tidak terjadi pengurangan mutu busa itu sendiri.

Menurut Spesifikasi Khusus Seksi 7.16, proses pembentukan busa sebagai berikut:

1. Takar busa (*foam*) dan air dengan perbandingan volume 1:20 sampai dengan 1:30, pengukuran dilakukan dengan menggunakan gelas ukur.
2. Hubungkan *compressor* dengan pembangkit busa.
3. Campurkan cairan busa dan air di dalam ember, lalu masukkan ke pembangkit busa.
4. Pastikan campuran cairan busa (*foam agent*) dan air tercampur secara homogen.
5. Timbang hasil campuran berupa cairan busa dengan dimasukkan ke dalam bejana, dengan nilai target standar  $(0,075 \pm 0,005) \text{ t/m}^3$ .
6. Bila busa tidak sesuai yang ditargetkan, periksa tekanan air dan udara pada unit pembangkit busa (*foam generator*)

Material campuran terdiri dari semen, pasir, air dan semua material dicampur menggunakan *hand mixer* dengan variasi komposisi material sesuai dengan perhitungan. Hal ini dimaksudkan agar bisa diperoleh spesifikasi material ringan dengan mortar busa yang dikehendaki. Pemanfaatan *foam* (busa) untuk membentuk material ringan dapat diperoleh kriteria – kriteria mempunyai berat yang ringan sehingga nilai berat isi (*density*) dari material campuran atau mortar tersebut mempunyai berat isi  $5-12 \text{ kN/m}^3$ .

## 2.5 Tekanan Udara

Tekanan udara adalah tenaga yang bekerja untuk menggerakkan massa udara dalam setiap satuan luas tertentu. Tekanan udara merupakan tingkat kebasahan udara karena dalam udara air selalu terkandung dalam bentuk uap air. Kandungan uap air dalam udara hangat lebih banyak daripada kandungan uap air dalam udara dingin.

Pengaruh tekanan udara dalam busa sabun yaitu ketika air sabun berkontraksi menyebabkan perbedaan tekanan udara di luar gelembung dan tekanan udara di bagian dalam gelembung. Pengaruh tekanan udara pada campuran sabun dan air hingga menjadi busa adalah sebagai faktor penentuk busa. Semakin tinggi tekanan udara maka sifat busa pada busa akan semakin tinggi juga sehingga busa yang terbentuk akan semakin ringan.

Tekanan udara pada alat yang digunakan pada laporan skripsi ini adalah tekanan udara dengan satuan psi. Psi kependekan dari *Pounds per Square Inch* artinya kekuatan tekanan per inchi persegi. Satuan psi sudah umum dan banyak dipakai untuk satuan pengukur tekanan terutama di kawasan Eropa dan Amerika.

## 2.6 Kuat Tekan Mortar

Menurut SNI 03-6825-2002, kekuatan tekan mortar semen portland adalah gaya maksimum per satuan luas yang bekerja pada benda uji mortar semen portland berbentuk kubus dengan ukuran tertentu serta berumur tertentu. Kekuatan Mortar dipengaruhi oleh bahan campurannya serta perbandingannya. Di Indonesia belum ada persyaratan mengenai kekuatan adukan, hanya untuk konstruksi tertentudianjurkan untuk menggunakan jenis campuran tertentu pula, seperti yang tercantum dalam Peraturan Bangunan Nasional 1997.

Kekuatan tekan adalah kemampuan pasta dan mortar menerima gaya tekan persatuan luas. Seperti pada beton, kekuatan pasta dan mortar ditentukan oleh kandungan semen dan faktor air semen dari campuran. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan pasta dan mortar diantaranya adalah faktor air semen, jumlah semen, umur mortar, dan sifat agregat. (Asia, N.2014)

### 1. Faktor air semen (f a s)

Faktor air semen adalah angka perbandingan antara berat air dan berat semen dalam campuran pasta atau mortar. Secara umum diketahui bahwa semakin tinggi nilai f.a.s maka semakin rendah mutu kekuatan beton. Namun demikian, nilai f.a.s. yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Nilai f.a.s. yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun. (Asia,N.2014)

## 2. Jumlah Semen

Pada mortar dengan f.a.s sama, mortar dengan kandungan semen lebih banyak belum tentu mempunyai kekuatan lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena jumlah air yang banyak, demikian pula pastinya, menyebabkan kandungan pori lebih banyak daripada mortar dengan kandungan semen yang lebih sedikit. Kandungan pori inilah yang mengurangi kekuatan mortar. Jumlah semen dalam mortar mempunyai nilai optimum tertentu yang memberikan kuat tekan tinggi. (Asia, N.2014)

## 3. Umur Mortar

Kekuatan mortar akan meningkat seiring dengan bertambahnya umur dimana pada umur 28 hari pasta dan mortar akan memperoleh kekuatan yang diinginkan. (Asia, N.2014)

## 4. Sifat Agregat

Sifat agregat yang berpengaruh terhadap kekuatan ialah bentuk, kekasaran permukaan, kekerasan dan ukuran maksimum butir agregat. Bentuk dari agregat akan berpengaruh terhadap interlocking (cara untuk mengamankan jalannya proses ) antar agregat. (Asia, N.2014)

Beberapa negara sudah memiliki standar yang mencantumkan kekuatan aduk mortar, seperti ASTM C270 yang mencantumkan syarat sebagai berikut:

### 1. Adukan Type M

Yaitu jenis adukan dengan kuat tekan tinggi, dipakai untuk tembok bata bertulang, tembok dekan tanah atau pasangan pondasi. Kuat tekan minimum  $175 \text{ kg/cm}^2$ .

### 2. Adukan Type S

Yaitu jenis adukan dengan kuat tekan sedang, dipakai bila tidak disyaratkan menggunakan Type M, tetapi diperlukan daya rekat tinggi serta adanya pengaruh gaya samping. Kuat tekan minimum  $124 \text{ kg/cm}^2$ .

### 3. Adukan Type N

Yaitu jenis adukan dengan kuat tekan sedang, dipakai untuk adukan pasangan terbuka diatas tanah. Kuat tekan minimum  $52,5 \text{ kg/cm}^2$ .

#### 4. Adukan Type O

Yaitu jenis adukan dengan kuat tekan agak rendah, dipakai untuk konstruksi tembok yang tidak menahan beban tekan tidak lebih dari 7 kg/cm<sup>2</sup> dan gangguan cuaca tidak berat. Kuat tekan minimum 24,5 kg/cm<sup>2</sup>.

### 2.7 Perawatan (*Curing*)

Curing secara umum dipahami sebagai perawatan beton, yang bertujuan untuk menjaga supaya beton tidak terlalu cepat kehilangan air, atau sebagai tindakan menjaga kelembaban dan suhu beton, segera setelah proses finishing beton selesai dan waktu total setting tercapai. Perawatan ini dilakukan setelah beton mencapai *final setting*, artinya beton telah mengeras.

Perawatan ini tidak hanya dimaksudkan untuk mendapatkan kekuatan tekan beton yang tinggi tapi juga dimaksudkan untuk memperbaiki mutu dari keawetan beton, kedapannya terhadap air, ketahanan terhadap aus, serta stabilitas dari dimensi struktur.

Pada proses perawatan mortar busa itu sendiri tujuannya hampir sama dengan untuk perawatan beton, yaitu untuk menjaga kelembaban mortar busa dan untuk mendapatkan kuat tekan mortar busa yang tinggi. Perawatan dari mortar busa itu sendiri berbeda dengan beton yang direndam dalam air, karena mortar busa akan mengapung jika direndam. Adapun cara perawatan dari mortar busa adalah dengan meletakkan mortar busa pada suhu ruangan dan menutupinya dengan karung. Penutupan mortar busa dengan karung bertujuan agar suhu mortar busa tetap terjaga dan merupakan penghalang fisik untuk menghalangi penguapan air.

### 2.8 Jumlah dan Identitas Benda Uji

Pada penelitian ini pembuatan benda uji berdasarkan proporsi campuran bahan yang didapat dan dihitung dari perencanaan mix desain dengan mengacu pada rencana campuran *Mix Design* 2000 kPa dari Balitbang Pujatan.

Benda uji yang dibuat berbentuk silinder dengan ukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm sebanyak 54 benda uji, yang dibuat dengan variasi tekanan udara yang digunakan saat pencampuran air dan *foam agent* yaitu 30 psi, 35 psi, 40 psi, 46 psi dan 50 psi. Jumlah benda uji dapat dilihat pada tabel 2.5 yang ada pada halaman selanjutnya.

Tabel 2.5 Rencana Campuran Beton Dengan Bahan Tambah

| No.   | Kode Benda Uji | Tekanan Udara (psi) | Jumlah Benda Uji Setiap Umur |    |    | Keterangan |
|-------|----------------|---------------------|------------------------------|----|----|------------|
|       |                |                     | 14                           | 21 | 28 |            |
| 1     | MN             | -                   | 3                            | 3  | 3  | 9          |
| 2     | MB 30          | 30                  | 3                            | 3  | 3  | 9          |
| 3     | MB 35          | 35                  | 3                            | 3  | 3  | 9          |
| 4     | MB 40          | 40                  | 3                            | 3  | 3  | 9          |
| 5     | MB 46          | 46                  | 3                            | 3  | 3  | 9          |
| 6     | MB 50          | 50                  | 3                            | 3  | 3  | 9          |
| Total |                |                     |                              |    |    | 54         |

(Sumber: Hasil pengujian laboratorium, 2019)

Keterangan:

MN : Mortar Normal

MB 30 : Mortar Busa dengan tekanan udara pada *foam agent* dan air sebesar 30 psi

MB 35 : Mortar Busa dengan tekanan udara pada *foam agent* dan air sebesar 35 psi

MB 40 : Mortar Busa dengan tekanan udara pada *foam agent* dan air sebesar 40 psi

MB 46 : Mortar Busa dengan tekanan udara pada *foam agent* dan air sebesar 46 psi

MB 50 : Mortar Busa dengan tekanan udara pada *foam agent* dan air sebesar 50 psi

## 2.9 Prosedur Pengujian di Laboratorium

Dalam pengujian ini terdapat beberapa prosedur kerja yang harus diikuti sesuai dengan langkah-langkah kerja sesuai dengan acuan yang dipakai, sehingga pengujian yang dilakukan menghasilkan nilai yang sebenarnya. Adapun penelitian ini meliputi sebagai berikut:

### 2.9.1 Pengujian Analisa Saringan Agregat

Modulus Halus Butir ialah suatu indek yang dipakai untuk ukuran kehalusan atau kekerasan butir-butir agregat. Makin besar nilai modulus halus menunjukan bahwa makin besar ukuran butir-butir agregatnya. Adapun pengujian ini dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$MBH = \frac{\text{Jumlah \% kumulatif agregat tertinggal}}{100} \dots\dots\dots(2.1)$$

### 2.9.2 Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

Pengujian agregat halus dilakukan untuk mengetahui berat jenis agregat halus yang digunakan untuk menentukan volume yang diisi oleh agregat. Pengujian ini dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

#### 1. Berat Jenis Kering

$$= \frac{B_2}{(B_3+500)-B_1} \dots\dots\dots(2.2)$$

#### 2. Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan/SSD (*Saturated Surface Dry*/ berat kering permukaan jenuh)

$$= \frac{500}{(B_3+500)-B_1} \dots\dots\dots(2.3)$$

#### 3. Penyerapan

$$= \frac{500 - B_2}{B_2} \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

$B_1$  = Berat piknometer + air + benda uji

$B_2$  = Berat benda uji kering oven

$B_3$  = Berat piknometer + air

### 2.9.3 Pengujian Kadar Air dan Kadar Lumpur

Kadar air

$$= \frac{W_1 + W_2}{W_2} \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

Kadar Lumpur

$$= \frac{W_2 + W_3}{W_3} \times 100\% \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

$W_1$  = Berat benda uji (gr)

$W_2$  = Berat kering oven sebelum dicuci (gr)

$W_3$  = Berat kering oven setelah dicuci (gr)

### 2.9.4 Pengujian Bobot Isi Agregat

Standar metode pengujian ini untuk menghitung berat isi dalam kondisi padat atau gembur dan rongga udara dalam agregat. Bobot isi kering udara dihitung dalam kondisi kering oven dan kering permukaan. Pada kondisi padat dan gembur memiliki berat isi yang berbeda karena pada berat isi gembur masih terdapat rongga-rongga udara, berbeda dengan berat isi padat yang dipadatkan dengan cara ditusuk sehingga berat isi padat lebih berat dari pada berat isi gembur. Karena berat isi pada tidak memiliki rongga udara. Berat isi pada agregat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti berat jenis, gradasi agregat, bentuk agregat dan diameter maksimum agregat. Dalam SII No. 52 – 1980, berat isi untuk agregat beton diisyaratkan harus 1,2 – 1,5 gr/cm<sup>3</sup>. Adapun dalam pengujian ini menggunakan rumus:

a. Bobot isi gembur

$$= \frac{\text{berat silinder} + \text{agregat gembur}}{\text{volume silinder}} \dots\dots\dots(2.7)$$

b. Bobot isi padat

$$= \frac{\text{berat silinder} + \text{agregat padat}}{\text{volume silinder}} \dots\dots\dots(2.8)$$

### 2.9.5 Pengujian Berat Jenis Semen

$$= \frac{A}{(C-B)d} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

A = Berat semen (gram)

B = Tinggi minyak tanah konstan (ml)

C = Tinggi minyak tanah + semen (ml)

d = Berat isi air pada suhu ruang yang tetap

### 2.9.6 Pengujian *Foam Agent*

Pengujian *foam agent* yang dimaksudkan dalam penelitian ini adalah menguji pada tekanan udara yang ke berapakah didapat berat busa *foam agent* sesuai spek untuk jalan yaitu sebesar 0,075 – 0,085 t/m<sup>3</sup>. Jika telah didapat pada tekanan ke berapa selanjutnya dilanjutkan pada pengujian *foam agent* dengan variasi tekanan udara 30 psi, 35 psi, 40 psi, 46 psi, dan 50 psi. Lalu busa yang telah dihasilkan dari variasi tekanan udara tadi ditimbang dan dicatat berat busanya dan waktu busa yang keluar dan memenuhi gelas ukur 1000 ml.

$$BJ = \frac{Foam}{Volume} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana:

F = berat busa *foam agent* (gr)

V = volume gelas ukur 1000 ml (cm<sup>3</sup>)

BJ = berat jenis busa *foam agent* (gr/cm<sup>3</sup>)

### 2.9.7 Hasil Uji Tekan Mortar Busa

#### 1. Pengujian Densitas Basah Mortar Busa

Densitas atau massa jenis atau rapatan adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Pengujian densitas basah mortar busa dilakukan dengan cara menimbang adukan berat mortar busa,

lalu dibagi dengan volume cawan benda uji tersebut. Ketetapan densitas basah untuk mortar busa 2000 Kpa adalah tidak boleh lebih dari  $0,8 \text{ gr/cm}^3$

## 2. Pengujian *Flow* Mortar Busa

*Flow* pada mortar adalah mortar yang memiliki kemampuan untuk mengalir dan memadat sendiri. Pengujian nilai *flow* material mortar busa dilakukan dalam kondisi segar. Bahan tersebut dituangkan ke dalam *flow cone* hingga batas atasnya, kemudian *flow cone* diangkat perlahan hingga sampel mengalir dan menyebar, lalu hitung diameternya setelah 1 menit kemudian, diameter hasil *flow*  $180\text{mm} \pm 2\text{mm}$ .

## 3. Pengujian Kuat Tekan Mortar Busa

Kuat tekan mortar dapat dihitung dengan rumus:

$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dengan:

P = kuat tekan,  $\text{kg/cm}^2$

F = gaya maksimum dari mesin tekan, kg

A = luas penampang yang diberi tekanan,  $\text{cm}^2$

## 4. Pengujian Densitas Kering Mortar Busa

Pengujian densitas kering mortar busa dilakukan dengan cara menimbang berat mortar busa yang telah mengeras dan dalam kondisi kering pada umur 14, 21 dan 28 hari. Lalu berat tersebut dibagi dengan nilai volume silinder diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Adapun ketentuan berat jenis mortar busa ada pada tabel 2.6 dan 2.7.

Tabel 2.6 Ketetapan mortar busa 2000 Kpa

| Densitas Kering maks<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) | Kekuatan tekan minimum<br>(UCS) |                    |
|-----------------------------------------------|---------------------------------|--------------------|
|                                               | kPa                             | Kg/cm <sup>2</sup> |
| 0,8                                           | 2000                            | 20                 |

(Sumber: Pedoman Pelaksanaan Timbunan Material Ringan Mortar Busa untuk Konstruksi Jalan)

Tabel 2.7 Ketetapan mortar busa 800 Kpa

| Densitas Kering maks<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) | Kekuatan tekan minimum<br>(UCS) |                    |
|-----------------------------------------------|---------------------------------|--------------------|
|                                               | kPa                             | kg/cm <sup>2</sup> |
| 0,6                                           | 800                             | 8                  |

(Sumber: Pedoman Pelaksanaan Timbunan Material Ringan Mortar Busa untuk Konstruksi Jalan)

## 2.10 Metode Regresi

Regresi adalah pengukur hubungan dua variabel atau lebih yang dinyatakan dengan bentuk hubungan atau fungsi. Untuk menentukan bentuk hubungan (regresi) diperlukan pemisahan yang tegas antara variabel bebas yang sering diberi simbol X dan variabel tak bebas dengan simbol Y. Untuk memperkirakan hubungan antara dua variabel tidak mungkin tanpa membuat asumsi terlebih dahulu mengenai bentuk hubungan yang dinyatakan dalam fungsi tertentu. Fungsi linier sering digunakan sebagai pendekatan (approximation) atas hubungan yang bukan linier (non linier).

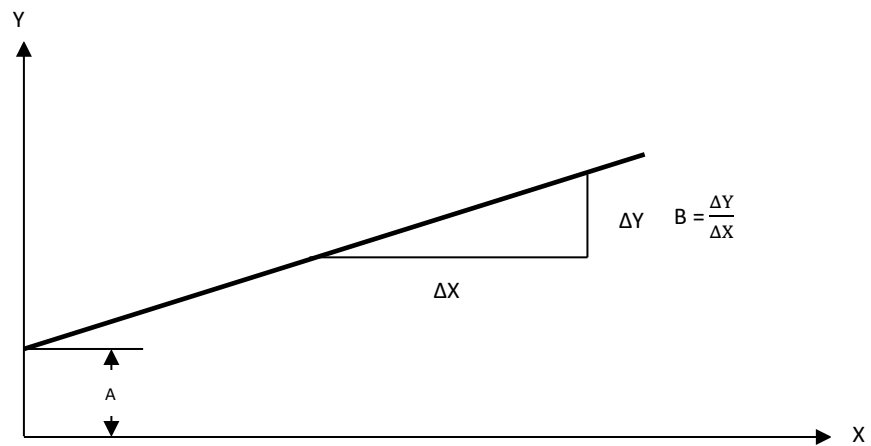
Bentuk persamaan dari fungsi linier dapat dilihat pada persamaan 2.12 berikut:

$$Y = A + BX \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana :

A dan B = konstanta atau parameter yang nilainya harus diestimasi fungsi linier

$Y = A + BX$  diatas apabila digambarkan akan tampak seperti pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Fungsi linier  $Y = A + BX$

Keterangan :

$A$  = jarak titik asal 0 dengan perpotongan antara sumbu tegak  $Y$  dan garis fungsi

linier atau besarnya nilai  $Y$  kalau  $X = 0$ , (intercept coefficient).

$B$  = koefisien arah = koefisien regresi = besarnya pengaruh  $X$  terhadap  $Y$ , apabila

$X$  nilai 1 unit, (slope coefficient).

$\Delta X$  = pertambahan  $X$

$\Delta Y$  = pertambahan  $Y$

***R Square*** ( $R^2$ ) sering disebut dengan koefisien determinasi, adalah mengukur kebaikan suai (goodness of fit) dari persamaan regresi; yaitu memberikan proporsi atau persentase variasi total dalam variabel terikat yang dijelaskan oleh variabel bebas. Nilai  $R^2$  terletak antara 0 – 1, dan kecocokan model dikatakan lebih baik kalau  $R^2$  semakin mendekati 1.