

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian terdahulu yang membahas tentang *grouting*, semen, bahan tambah sodium silikat, perbaikan, dan sifat mekanis, serta kuat tekan, antara lain sebagai berikut.

- a. Identifikasi Kegagalan Struktur dan Alternatif Perbaikan serta Perkuatan Gedung BPKP Provinsi Sumatera Barat (Ismail, 2011),
- b. Analisis Efektivitas Model Perkuatan dengan Injeksi Semen untuk Peningkatan Angka Keamanan Lereng (Sumirin dan Arief, 2017).
- c. Sifat Mekanik Beton *Geopolymer* Berbahan Dasar *Fly Ash* Jawa Power Paiton sebagai Material Alternatif (Ekaputri dkk., 2007).
- d. Pengaruh Konsentrasi SiO_2 pada Larutan Aktivator terhadap Kuat Tekan dan Ketahanan Api berbasis Metakaolin (Pratiwi dan Wiyati, 2017).
- e. Pengaruh Konsentrasi Sodium Hidroksida dengan Sodium Silikat pada Mortar *Geopolymer* Berbahan Dasar Abu Terbang terhadap Kuat Tekan dan Kuat Geser pada Aplikasi Spesi Batu Bata (Ais, 2017).
- f. Kompatibilitas Susut antara Material Perbaikan dan Beton (Kristiawan, 2011).
- g. Kuat Tekan Beton *Geopolymer* Berbahan Dasar Abu Terbang (*Fly Ash*) (Manuahe dkk., 2014).
- h. Substitusi Material Pozolan terhadap Semen pada Kinerja Campuran Semen (Waani dan Elisabeth, 2017).
- i. *Early-age Performance of Cement Combination Concrete* (Folagbade, 2017).
- j. Abu Terbang (*Fly Ash*) sebagai Bahan Tambah untuk Meningkatkan Kuat Tekan Bata Beton (*Paving Block*) (Haryanto dkk., 2008).

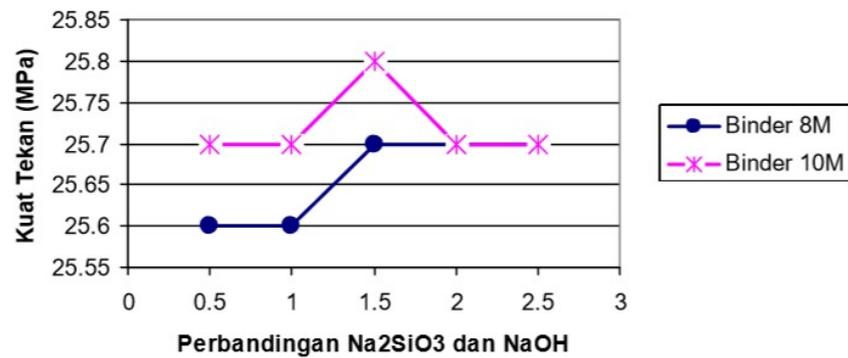
2.1.1. Pembahasan Penelitian Tentang Perkuatan Beton

Penelitian yang dilakukan oleh Ismail (2011) menjelaskan bahwa terjadinya kerusakan struktur, seperti rusaknya balok dan kolom pada dinding gedung BPKP yang disebabkan oleh gempa sehingga membahayakan aktivitas yang berada dalam gedung. Dalam mengatasi

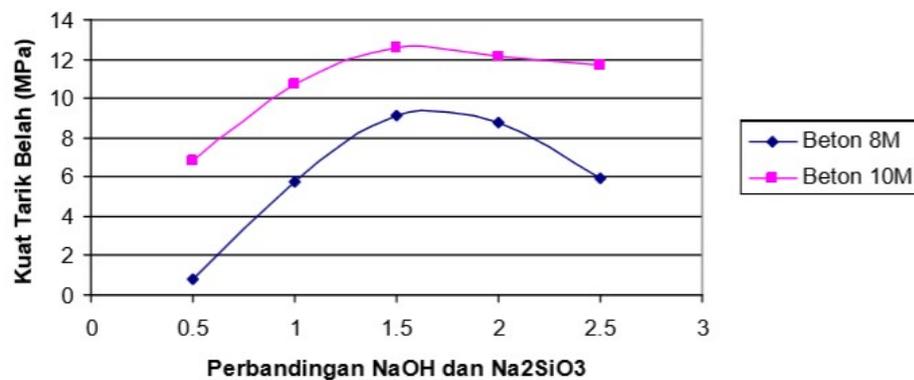
kerusakan struktur yang terjadi, peneliti menggunakan metode *grouting*, yaitu menyuntikkan pasta semen ke beton yang memiliki rekahan akibat gempa. Hal ini akan menambah kekuatan beton tersebut. Penambahan kolom dan balok praktis juga mampu dilakukan untuk dinding yang telah rusak.

Menurut Sumirin dan Arief (2017) dalam penelitiannya tentang peningkatan angka keamanan lereng, bahwa pentingnya dalam meningkatkan keamanan pada lereng sehingga tidak terjadi kelongsoran. Metode *grouting* merupakan metode yang baik dalam mencegah hal tersebut terjadi, yaitu menyuntikkan cairan semen dalam tanah yang lereng. Material *grouting* digunakan campuran semen dan air dengan perbandingan semen-air 0,6; 0,8; 1; 1,2; 1,5; 1,7; dan 20. Hal yang mempengaruhi proses injeksi semen adalah dengan metode yang digunakan adalah pengeboran dan faktor air semen $w/c = 1,5$, jarak injeksi, dan diameter injeksi.

Ekaputri dkk. (2007) melakukan penelitian tentang pengamatan terhadap sifat mekanik dari beton geopolimer dengan menggunakan bahan dasar *fly ash* sebagai bahan alternatif. Beton *geopolymer* menggunakan aktivator, seperti sodium silikat dan natrium hidroksida agar terbentuk reaksi kimia. Penelitian ini bertujuan mengamati sifat fisik dan mekanik, serta perbandingan kadar yang baik antara kedua aktivator untuk mendapatkan kuat tekan yang baik. Pelaksanaan penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, yaitu pembuatan *mix design*, perawatan (*curing*), tes slump, dan tes kuat tekan. Perbandingan massa larutan antara sodium silikat dan sodium hidroksida yang semakin tinggi tidak selalu menambah kuat tekan dan kuat tarik belah yang tinggi juga. Kuat tekan dan kuat tarik optimum terdapat pada perbandingan massa larutan sodium silikat dan sodium hidroksida = 1,5 dapat dilihat pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2.



Gambar 2.1 Grafik Tes Kuat Tekan Binder pada Molaritas NaOH 8M dan 10M (Ekaputri dkk., 2007).



Gambar 2.2 Grafik Tes Kuat Tarik Belah (Ekaputri dkk., 2007).

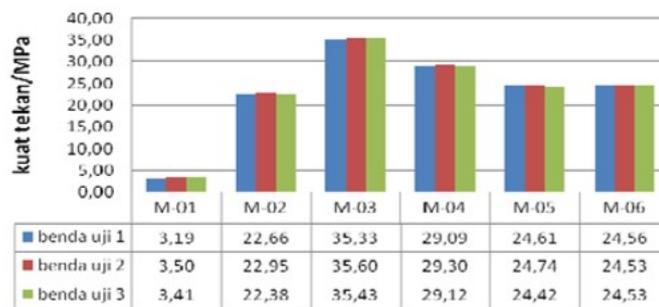
Penelitian yang dilakukan oleh Hermawan dan Eka (2017), melakukan penelitian kuat tekan beton dengan menggunakan campuran *grouting* sika *grout* 215 dengan agregat kasar yang menimbulkan permasalahan bagaimana kuat tekan yang terjadi pada campuran *grouting* sika *grout* 215 dengan agregat kasar. Berdasarkan permasalahan tersebut maka penelitian ini bertujuan untuk menentukan kuat tekan yang terjadi pada campuran *grouting* sika *grout* 215 dengan agregat kasar. Penelitian ini dilakukan dengan membuat benda uji berbentuk kubus dengan variasi campuran persen berat agregat terhadap berat sika *grout* sebesar 30%, 40%, dan 50%. Hasil kuat tekan optimum yang diperoleh pada campuran 30% berat agregat terhadap sika *grout* dibandingkan dengan campuran 40% dan 50%. Hal ini disebabkan ikatan pada sika *grout* dengan agregat semakin banyak, maka semakin lemah kuat tekan yang dihasilkan.

2.1.2. Pembahasan Penelitian Tentang Pozolan

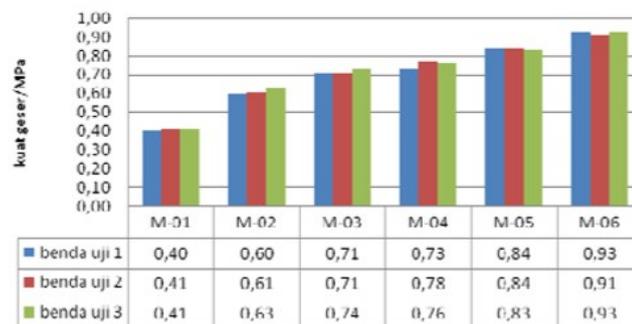
Menurut Ais (2017) dalam penelitiannya tentang rasio sodium hidroksida dengan sodium silikat pada mortar *geopolymer* berbahan dasar abu terbang terhadap kuat tekan dan kuat geser menyebutkan bahwa, agar terciptanya sifat reaktif pada silika oksida dan alumina dibutuhkan *activator* agar kedua material tersebut saling mengikat. Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian *experimental* dengan merancang kadar abu terbang (*fly ash*) pada mortar tanpa semen. Lihat tabel 2.1. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, modulus alkali 1 sampai dengan modulus alkali 1,5, rasio kuat tekan terhadap variasi modulus alkali meningkat. Namun pada modulus alkali yang lebih besar, yaitu 2 ; 2,5 dan 3, rasio kuat tekan terhadap variasi modulus alkali turun secara signifikan. Kuat tekan optimum diperoleh pada modulus alkali 1,5. Berdasarkan uraian tersebut dapat disimpulkan bahwa didapatkan nilai kuat tekan optimum pada penambahan modulus alkali 2 dikarenakan pada prosentase tersebut terjadi proses polimerisasi yang sempurna dari unsur-unsur kimia dalam kandungan mortar *geopolymer*, sesuai dengan tujuan awal penelitian bahwa mencari rasio penambahan sodium silikat dan sodium hidroksida yang tepat untuk mempercepat proses pengikatan yang terjadi pada kandungan unsur kimia *fly ash*. Lihat Gambar 2.4 dan Gambar 2.5.

Tabel 2.1 Rancangan prosentase sampel alkali aktivator dan abu terbang (Ais, 2017).

| No. | Mix | Jumlah | Material penyusun | | |
|-----|----------------|--------|-------------------|----|-------|
| | | | PC | AB | SS/SH |
| 1 | <i>Control</i> | 6 | 1 | 0 | 0 |
| 2 | M-01 | 6 | 0 | 1 | 1 |
| 3 | M-02 | 6 | 0 | 1 | 1,25 |
| 4 | M-03 | 6 | 0 | 1 | 1,5 |
| 5 | M-04 | 6 | 0 | 1 | 2 |
| 6 | M-05 | 6 | 0 | 1 | 2,5 |
| 7 | M-06 | 6 | 0 | 1 | 3 |



Gambar 2.4 Diagram batang nilai kuat tekan mortar *geopolymer* umur 28 hari (Ais, 2017).



Gambar 2.5 Diagram batang nilai kuat geser mortar *geopolymer* umur 28 hari (Ais, 2017).

Menurut Kristiawan (2011) faktor yang mempengaruhi munculnya retakan adalah adanya perbedaan susut dengan beton induk, besarnya susut, modulus elastisitas, rangkai, derajat pengekanan, dan kapasitas tarik. Material yang digunakan adalah bahan dasar mortar, yaitu semen dan air dengan bahan tambah seperti *superlasticizer*, *accelator*, dan *polymer*. FAS yang digunakan 0,35, rasio semen dan pasir sebesar 1:2, 2% *superlasticizer* dari berat semen, 5% *accelerator*, dan kadar *polymer* antara 0-6%. Pasta semen merupakan material yang mengalami penyusutan sementara agregat berperan sebagai pengekang penyusutan pasta semen. Hal yang menyebabkan susut material lebih tinggi adalah besarnya volume semen daripada agregat. *Polymer* akan mempercepat terjadinya susut di awal umur namun pada umur 25 hari proses penyusutan akan melambat dan berhenti. Namun, susut ultimit pada material perbaikan yang mengandung *polymer* mungkin akan setara dengan yang tidak mengandung *polymer*.

Manuahe dkk. (2014) melakukan penelitian tentang kuat tekan yang terjadi pada beton *geopolymer* dengan menggunakan abu terbang (*fly ash*) sebagai bahan dasar. Beton memiliki kekurangan seperti adanya gas karbon dioksida yang

ditimbulkan dalam memproduksi semen sehingga menyebabkan pemanasan global. Benda uji pada penelitian ini melakukan *curing time* selama 4 jam, 8 jam, 12 jam, dan 24 jam. Pada Tabel 2.3 menunjukkan *curing time* 24 jam memiliki kuat tekan beton rata-rata 27,462 MPa dan *curing time* 4 jam memiliki kuat tekan beton rata-rata 22,174 MPa. Nilai kuat tekan beton *geopolymer* yang didapatkan akan terus meningkat ketika waktu *curing time* tinggi. Lihat Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kuat tekan beton rata-rata (Manuahe dkk., 2014).

| No | <i>Curing Time</i> (jam) | Kuat Tekan Beton Rata-Rata (MPa) |
|----|-----------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 4 | 22,174 |
| 2 | 8 | 22,834 |
| 3 | 12 | 23,408 |
| 4 | 24 | 27,462 |

Menurut Waani dan Elisabeth (2017) menjelaskan bahwa penggunaan sebagian material pozolan dalam campuran semen/beton. Material pozolan dapat berupa *slag* atau *fly ash*. Material pozolan memiliki unsur silica, alumina, dan besi oksida yang bereaksi dengan kalsium hidroksida dan alkali. Ketika material pozolan semakin halus yang akan dicampurkan ke dalam semen, maka partikel pada campuran akan semakin meningkat sehingga menyebabkan campuran akan semakin bagus. Kekuatan beton yang memiliki material pozolan di dalamnya akan meningkat seiring umur beton tersebut bertambah. Penggunaan material pozolan juga mengurangi biaya produksi karena dapat digunakan sebagai bahan tambah pada produksi semen.

Menurut Folagbade (2017) dalam penelitiannya tentang kemampuan kombinasi semen dalam pengujian kuat tekan di awal umur. Nilai kuat tekan tergantung pada kehalusan, temperatur hidrasi, dan kelecekan campuran semen. Material *fly ash* dapat berfungsi sebagai mengurangi panas hidrasi. *Silica fume* dan metakaolin dapat menambah peningkatan kekuatan. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 1 hari, 2 hari, 3 hari, 5 hari, dan 7 hari. Seperti pada umumnya, semakin lama umur benda uji semakin kuat kuat tekan yang dimiliki. Lihat Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Nilai kuat tekan (Folagbade, 2017).

| <i>Mix Design</i> | Kuat Tekan (N/mm ²) | | | | |
|-------------------|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 hari | 2 hari | 3 hari | 5 hari | 7 hari |
| 100%PC | 12 | 24 | 32 | 39,5 | 43,5 |
| 80%PC+20%FA | 9,5 | 19 | 25,5 | 32 | 36 |
| 80%PC+15%FA+5%MK | 10 | 20 | 27 | 34 | 39 |
| 80%PC+15%FA+5%SF | 10 | 20,5 | 27,5 | 35 | 40,5 |
| 65%PC+35%FA | 6 | 11,2 | 16,5 | 21,5 | 25 |
| 65%PC+30%FA+5%MK | 6,5 | 13,5 | 18,5 | 24 | 28 |
| 65%PC+25%FA+10%MK | 7,5 | 15 | 20,5 | 26,5 | 31 |
| 65%PC+30%FA+5SF | 7 | 14 | 19,5 | 25 | 29,5 |
| 65%PC+25%FA+10%SF | 7,5 | 15,5 | 21 | 27,5 | 33 |
| 45%PC+55%FA | 4 | 8 | 11 | 14 | 15,5 |
| 45%PC+45%FA+10%MK | 4,5 | 9,5 | 13 | 17,5 | 20,5 |
| 45%PC+40%FA+15%MK | 4,5 | 9 | 12,5 | 16,5 | 19,5 |
| 45%PC+45%FA+10%SF | 5 | 10,5 | 14 | 19 | 22 |
| 95%PC+5%MK | 10,5 | 21,5 | 30 | 38,5 | 43,5 |
| 90%PC+10%MK | 10,5 | 22 | 30,5 | 39 | 44 |
| 85%PC+15%MK | 10 | 20 | 28,5 | 37 | 42 |
| 95%PC+5%SF | 11 | 22,5 | 31 | 39,5 | 44,5 |
| 90%PC+10%SF | 11 | 23 | 31,5 | 40,5 | 45 |

Menurut Haryanto dkk. (2008), penggunaan *paving block* dengan menggunakan semen dan pasir sudah terlalu banyak, sehingga menimbulkan keterbatasan produksi semen semakin rendah dan menyebabkan harga semen naik. Menambahkan material *fly ash* sebanyak 10% pada berat semen akan menambah kuat tekan sebesar 5,47% pada mortar dan 17,5% pada benda uji beton. Kuat tekan akan semakin tinggi seiring bertambahnya umur benda uji. Hal ini disebabkan oleh adanya kandungan unsur silikat dan aluminat pada *fly ash* yang bereaksi terhadap kapur bebas pada proses hidrasi semen dan air menjadi kalsium silikat.

2.1.3. Perbedaan antara Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Tabel 2.4 Perbedaan antara penelitian terdahulu dan sekarang.

| Judul Penelitian | Metode | Faktor pembeda yang digunakan | |
|--|------------|--|---|
| | | Terdahulu | Sekarang |
| Identifikasi Kegagalan Struktur dan Alternatif Perbaikan serta Perkuatan Gedung BPKP Provinsi Sumatera Barat. (Ismail, 2011). | Eksperimen | Melakukan metode <i>grouting</i> pada gedung yang telah rusak. | Melakukan metode <i>grouting</i> pada balok berukuran $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$ yang telah diuji tekan. |
| Analisis Efektivitas Model Perkuatan dengan Injeksi Semen untuk Peningkatan Angka Keamanan Lereng. (Sumirin dan Arief, 2017). | Eksperimen | Material <i>grouting</i> yang digunakan adalah semen dan air. | Material <i>grouting</i> yang digunakan semen dan sodium silikat. |
| Sifat Mekanik Beton <i>Geopolymer</i> Berbahan Dasar <i>Fly Ash</i> Jawa Power Paiton sebagai Material Alternatif. (Ekaputri dkk., 2007). | Eksperimen | Ukuran benda uji $100 \times 200 \text{ mm}^2$. | Ukuran benda uji $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}$ |
| Kuat Tekan Beton dengan Variasi Campuran Agregat dan Sikagrout 215. (Hermawan dan Eka, 2014). | Eksperimen | Menggunakan campuran <i>grouting</i> sikagrout dan agregat kasar. | Menggunakan campuran <i>grouting</i> semen dan sodium silikat |
| Pengaruh Konsentrasi Sodium Hidroksida dengan Sodium Silikat pada Mortar <i>Geopolymer</i> Berbahan Dasar Abu Terbang terhadap Kuat Tekan dan Kuat Geser pada Aplikasi Spesi Batu Bata. (Ais, 2017). | Eksperimen | Mencampurkan sodium silikat dan sodium hidroksida pada mortar <i>fly ash</i> . | Hanya mencampurkan semen dan sodium silikat. |

Tabel 2.5 Perbedaan antara penelitian terdahulu dan sekarang (lanjutan).

| Judul Penelitian | Metode | Faktor pembeda yang digunakan | |
|---|------------|---|---|
| | | Terdahulu | Sekarang |
| Kompatibilitas Susut antara Material Perbaikan dan Beton. (Kristiawan, 2011). | Evaluasi | Menggunakan material perbaikan semen, air, <i>superlasticizer</i> , <i>accelerator</i> , dan <i>polymer</i> . | Menggunakan material semen dan sodium silikat. |
| Kuat Tekan Beton <i>Geopolymer</i> Berbahan Dasar Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>). (Manuahe dkk., 2014). | Eksperimen | Menggunakan <i>curing time</i> : 4 jam, 8 jam, 12 jam, dan 24 jam. | Menggunakan <i>curing time</i> 24 jam. |
| Substitusi Material Pozolan terhadap Semen pada Kinerja Campuran Semen. (Waani dan Elisabeth, 2017). | Eksperimen | Menggunakan bahan tambah material pozolon. | Menggunakan semen dan sodium silikat. |
| <i>Early-age Performance of Cement Combination Concrete</i> . (Folagbade, 2017). | Eksperimen | Melakukan pengujian kuat tekan pada umur 1, 2, 3, 5, dan 7 hari. | Melakukan pengujian kuat tekan pada umur 7, 14, dan 28 hari. |
| Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>) sebagai Bahan Tambah untuk Meningkatkan Kuat Tekan Bata Beton (<i>Paving Block</i>). (Haryanto dkk., 2008) | Eksperimen | Menggunakan <i>fly ash</i> sebagai bahan tambah untuk peningkatan kekuatan <i>paving block</i> . | Menggunakan sodium silikat sebagai bahan tambah untuk pembuatan bahan <i>grouting</i> . |

2.2. Landasan Teori

Beton yang harus diperbaiki adalah beton yang mengalami kerusakan secara struktural seperti desain awal yang salah, pemilihan material yang kurang baik, lingkungan yang tidak normal atau agresif, atau beban struktur yang berlebihan. Ada banyak metode yang dilakukan untuk memperbaiki beton yang rusak, salah satunya dengan menggunakan metode *grouting*.

Metode *grouting* merupakan metode yang menyuntikkan bahan semi kental (*slurry material*) melalui lubang bor dengan tujuan menutup rongga/lubang yang terbuka sehingga kekuatan beton dapat meningkat (Sumirin dan Arief, 2017). Material yang digunakan untuk metode ini adalah semen. Yang termasuk bahan campuran *grouting* antara lain:

- a. bahan pengikat,
- b. bahan pengisi,
- c. bahan untuk mempercepat pengikatan, dan
- d. bahan pengikat gas.

Bahan campuran *grouting* yang digunakan adalah bahan pengisi (*grouting admixture*) untuk mencegah terjadinya susut dan menunda *set*. Biasanya digunakan untuk menstabilkan pondasi, mengisi retak dan sambungan, memperbaiki retak dan keropos, serta perbaikan lainnya. Bahan pengisi (*grouting admixture*) tidak dapat susut dan mempunyai kekuatan yang tinggi, dengan bentuk cair dan encer sehingga mudah untuk diinjeksikan kedalam beton. Selain itu material yang dapat digunakan adalah campuran semen dengan sodium silikat.

Sodium silikat (NaOH) merupakan salah satu bahan tertua dan paling aman yang digunakan dalam industri kimia, hal ini dikarenakan proses produksi yang lebih sederhana. Sodium silikat dapat dibuat dalam 2 bentuk, yaitu padatan dan larutan. Untuk campuran beton lebih banyak digunakan dalam bentuk larutan, sodium silikat atau yang lebih dikenal dengan *water glass*. Sodium silikat ini merupakan salah satu larutan alkali yang memainkan peranan penting dalam proses polimerisasi karena sodium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi.

Grouting memiliki kelebihan dan kekurangan dalam perbaikan beton, seperti bahan yang encer dan mampu diinjeksikan ke dalam retakan atau celah yang ada pada bagian struktur yang mengalami kerusakan, mencegah terjadinya korosi dan penyusutan. Selain itu kelemahan dari *grouting* adalah umumnya bahan yang digunakan lebih mahal. Adapun pengujian yang dilakukan untuk mengetahui sifat dari bahan *grouting*, antara lain sifat bahan pengikat *grouting* segar, sifat fisis, dan mekanis bahan pengikat *grouting*.

2.2.1. Sifat Bahan Pengikat *Grouting* Segar

Pengujian sifat bahan pengikat *grouting* segar bertujuan untuk mengetahui sifat dari bahan tersebut. Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

a. Pengujian meja sebar.

Pengujian meja sebar mengacu pada SNI 03-6882-2002 (BSN, 2000b). Pengujian sebar ini digunakan untuk mengetahui nilai kelecakan benda uji. Bahan yang telah disiapkan dicampurkan lalu dimasukkan kedalam pipa dengan ukuran diameter 3,18 cm dan tinggi 6 cm. Angkat pipa dan biarkan campuran mengalir. Setelah 15 detik, ukur diameter campuran bahan tersebut. Nilai kelecakan yang baik antara $(110 \pm 5) \%$. Ketika nilai sebar yang diperoleh berada dibawah $(110 \pm 5) \%$, maka campuran tersebut kental. Ketika nilai sebar yang diperoleh di atas $(110 \pm 5) \%$, maka campuran tersebut terlalu encer atau cair. Nilai kelecakan didapatkan dengan menggunakan Persamaan 2.1 berikut ini.

$$\text{Nilai kelecakan} = \frac{(d1 - d0)}{d0} \times 100\% \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan:

$d0$ = diameter cetakan (cm),

$d1$ = diameter sebaran benda uji terjauh (cm).

2.2.2. Sifat Fisis

Sifat fisis merupakan sifat fisik benda uji yang dapat dilihat dari segi bentuk, tampak, ukuran, dan dimensi dari benda uji. Ketentuan-ketentuan sifat fisis dari benda uji adalah sebagai berikut.

a. Bentuk dan tampak benda uji.

Berdasarkan SNI 03-0349-1989 (BSN, 1989), benda uji memiliki sisi yang sama panjang (persegi), memiliki tepi yang berbentuk siku, sisi-sisi yang rata, dan tidak adanya retak yang muncul.

- b. Ukuran dan dimensi benda uji.

Berdasarkan SNI 03-6825-2002 (BSN, 2002a), benda uji yang digunakan memiliki ukuran $5 \times 5 \times 5$ cm. Pengukuran benda uji menggunakan jangka sorong.

2.2.3. Sifat Mekanis

- a. Berat Jenis

Berat jenis merupakan perbandingan antara berat benda uji dengan volume dari benda uji. Nilai berat jenis pada benda uji dapat ditemukan dengan menggunakan Persamaan 2.2 berikut ini.

$$BJ = \frac{W_b}{V_b} \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan:

BJ = berat jenis,

W_b = berat benda uji (gr), dan

V_b = volume benda uji (cm^3).

- b. Kadar Air

Kadar air merupakan persentase perbandingan antara berat benda uji sebelum dimasukkan kedalam oven dengan berat benda uji setelah dimasukkan kedalam oven. Nilai kadar air pada benda uji dapat ditemukan dengan menggunakan Persamaan 2.3 berikut ini.

$$\text{Kadar air} = \frac{\text{berat awal} - \text{berat kering}}{\text{berat kering}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

- c. Penyerapan Air

Nilai penyerapan air pada benda uji dapat ditemukan dengan menggunakan Persamaan 2.4 berikut ini.

$$K = \frac{W - W_k}{W_k} \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan:

K = penyerapan air (%),

W = berat benda uji sebelum di oven (gr), dan

W_k = berat benda uji sesudah di oven (gr).

d. Kerapatan (*Density*)

Nilai kerapatan (*density*) pada benda uji dapat ditemukan dengan menggunakan Persamaan 2.5 dan Persamaan 2.6 berikut ini.

$$Q_{sch} = \frac{M_d}{V_{sch}} \text{ gr/cm}^3 \dots\dots\dots(2.5)$$

$$Q_{sch} = \frac{M_d}{C - B} \times dw \text{ gr/cm}^3 \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan:

M_d = berat benda uji sesudah di oven (gr),

V_{sch} = volume benda uji (m^3),

C = berat benda uji setelah direndam dalam air (gr),

B = berat benda uji didalam air (gr), dan

dw = kerapatan (*density*).

e. *Initial Rate of Suction (IRS)*

Initial rate of suction (IRS) merupakan penghisapan air oleh benda uji setelah direndam dalam air selama satu menit. Nilai *initial rate of suction (IRS)* pada benda uji dapat ditemukan dengan menggunakan Persamaan 2.7 berikut ini.

$$IRS = \frac{m_1 - m_2}{k} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan:

m_1 = berat benda uji setelah direndam dalam air (gr),

m_2 = berat benda uji sebelum direndam dalam air (gr).

IRS menggunakan satuan $\frac{\text{gr}}{193,55 \text{ menit}} \text{ cm}^2$, oleh karena itu dikalikan dengan faktor berikut ini.

$$K = \frac{193,55}{\text{luas area}} \dots\dots\dots(2.8)$$

f. Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan merupakan pengujian yang menunjukkan mutu dan kemampuan pada benda uji dalam menerima gaya tekan persatuan luas. Nilai kuat tekan pada benda uji dapat ditemukan dengan menggunakan Persamaan 2.9 berikut ini.

$$F_c = \frac{P_{\text{maks}}}{A} \times \frac{9,81}{100} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan:

F_c = kuat tekan benda uji (MPa),

P_{maks} = gaya tekan maksimum (kg), dan

A = luas tampang benda uji (cm²).