

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

#### **2.1. Tinjauan Pustaka**

Penelitian ini melakukan pengujian terhadap *cold joint* untuk mengetahui nilai kuat lentur dengan penambahan bahan kimia berupa *bestmittel*. *Cold joint* ialah proses penuangan campuran beton di cetakan, pada saat penuangan terdapat jeda waktu dikarenakan pergantian truk *mixer* yang mengakibatkan lapisan beton di dalam cetakan menjadi mengeras sebelum sisa beton yang lain dituangkan. Keadaan tersebut dinamakan *cold joint* atau sambungan dingin. *Bestmittel* berfungsi untuk agar beton lebih cepat keras di usia muda serta mengurangi pemakaian air pada saat pengecoran sehingga bisa menghasilkan beton yang berkekuatan awal tinggi atau biasa disebut *High Early Strength (HES)*.

##### **2.1.1. Penelitian Terdahulu tentang Cold Joint**

Al-Mamoori & Al-Mamoori (2018) melakukan penelitian yang berkaitan tentang mengurangi pengaruh *cold joint* horizontal dan vertikal pada pengecoran balok beton mutu tinggi dalam cuaca panas dengan menggunakan limbah gula. Penelitian ini mempunyai 2 tujuan utama yaitu pertama menyelidiki efek penggunaan limbah gula sebagai *retarding agents* yang dapat menunda hidrasi semen ketika proses pengecoran pada musim panas di Irak dan yang kedua bertujuan untuk menyelidiki efek lokasi sambungan baik vertikal maupun horizontal pada konstruksi terhadap kuat lentur balok dengan dan tanpa adanya limbah gula.

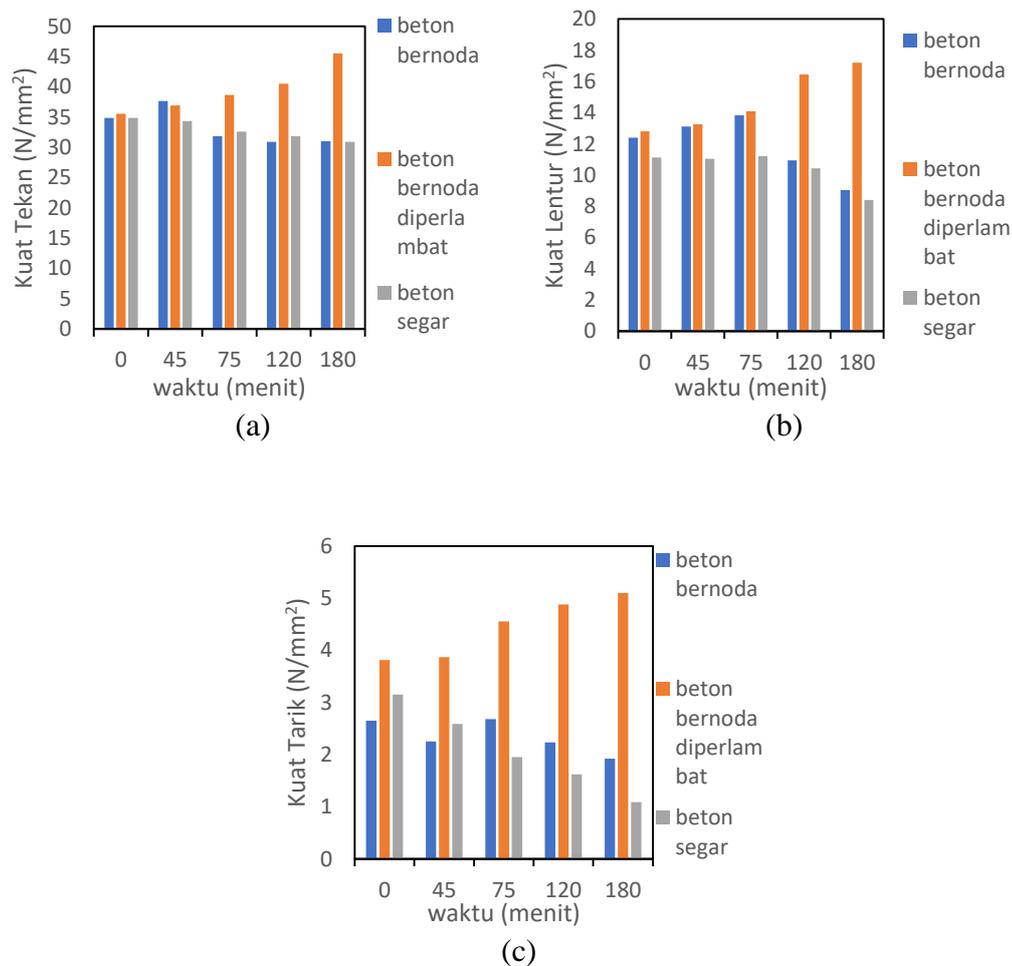
Roy & Laskar (2017) melakukan penelitian yang ini dilatar belakangi oleh ketidakmungkinan untuk melakukan pengecoran kolom bertingkat dalam satu kali jalan dan karenanya sambungan dingin (*cold joint*) tidak dapat dihindari. Hasil pada pengujian *static load*, perbedaan hasil beban puncak antar benda uji dengan dan tanpa adanya *cold joint* tidak memiliki pengaruh yang signifikan.

Illangakoon dkk. (2019) melakukan penelitian tentang membentuk desain sambungan dingin dalam kondisi cuaca panas. Kemampuan struktur beton dapat dipengaruhi oleh adanya *cold joint* yang disebabkan oleh kerusakan pada tulangan

baja pada beton, penurunan kekuatan, dan rusaknya estetika di permukaan beton. Dalam kondisi cuaca panas, terjadi pembentukan *cold joint* yang bisa parah karena penguapan di permukaan yang berlebihan dan perilaku *setting* beton yang cepat. *Cold joint* diuji dengan menggunakan kuat lentur dengan menggunakan balok beton *cold joint*. Beton segar dengan suhu awal 25°C yang diuji dengan suhu 25°C dan 45°C. *Cold joint* dapat terbentuk karena terjadi penundaan waktu di dua lapisan beton yang berturut-turut interval yang kurang dari waktu pengaturan awal, diukur menurut ASTM C403/C403M (ketahanan penetrasi yaitu 3,5 N/mm<sup>2</sup>). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *cold joint* terbentuk ketika ketahanan penetrasi lebih dari 0,5 N/mm<sup>2</sup> dan ketahanan penetrasi tidak tergantung pada suhu di sekitarnya. Pada ketahanan penetrasi 0,5 N/mm<sup>2</sup>, *cold joint* yang memiliki dampak rendah pada kekuatan lentur walaupun sendi terlihat tetapi tidak mempengaruhi kekuatan lentur secara signifikan. Penurunan kekuatan yang signifikan terjadi di lapisan beton pertama, yang mulai pada ketahanan penetrasi 1,0 N/mm<sup>2</sup>. Hal ini baik sebelum waktu *setting* awal beton. Pada *setting* awal beton interval waktu tidak berpengaruh untuk kondisi normal dan kondisi panas. Beton segar pada saat penempatan lebih dominan mengurangi waktu penempatan antara dua lapisan yang mempunyai suhu lingkungan. Beton tidak akan bekerja jika ketahanan penetrasi lebih dari 0,5 N/mm<sup>2</sup> (*slump* menjadi 0). Pada batas getaran beton ini menggunakan uji ulang vibrator dan metode ini dapat digunakan sebagai tes lapangan untuk menghindari pembentukan *cold joint*. Getaran ulang kembali muncul antara 0,4 dan 0,6 N/mm<sup>2</sup> ketahanan penetrasi dan ketahanan ini adalah netral dari suhu di sekitar. Getaran ulang beton tidak boleh dilakukan setelah batas ketahanan dengan cara menggunakan vibrator, hanya setelah tahap ini dapat terjadi pembentukan *cold joint*.

Rathi dan Kolase (2013) melakukan penelitian tentang pengaruh kekuatan sambungan dingin beton. Keterlambatan pengecoran karena berbagai kondisi serta urutan pengecoran yang tidak tepat dapat mengakibatkan *cold joint*. Untuk penundaan panjang pada pengecoran, beton harus tetap berjalan secara berkala dan harus digetarkan untuk menjaga beton. Namun, beton tidak boleh terlalu bergetar ke titik yang menyebabkan kerugian pada *casting* beton. Pada penelitian ini memberikan data kekuatan simulasi urutan *casting* yang tidak tepat. Untuk

mengatasi masalah ini yang menyebabkan *cold joint*, peneliti telah menggunakan gula sebagai zat perlambat. Untuk membuktikan percobaan ini, peneliti melakukan percobaan pada tiga jenis beton kelas M25, seperti beton berbintik, beton berbintik dengan di perlambat, dan beton segar dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1. Perbandingan (a) Kuat tekan (b) Kuat lentur (c) Kuat tarik antara beton bernoda, beton bernoda diperlambat, dan beton segar secara horizontal ( Rathi dan Kolase, 2013)

### 2.1.2. Penelitian Terdahulu tentang *High Early Strength*

Duan dkk. (2016) melakukan penelitian tentang bahan anti air, pengaturan cepat dan perbaikan awal kekuatan tinggi yang berasal dari *metakaolin geopolimer*. bahan tahan air yang berbahan perbaikan *geopolimer* dengan permukaan *hidrofobik* dan kuat tekan tinggi. Hasil penelitian ditunjukkan bahwa perubahan permukaan *hidrofobik* sudah tercapai karena meningkatnya sudut kontak pada permukaan *geopolimer* dari 21 hingga 122. Setelah diamati bahwa

penyerapan air bervariasi antara 0,01 dan 0,52. Bahan perbaikan *geopolimer* yang baru dikembangkan memiliki waktu *setting* pendek sekitar 24 menit, *flow* tinggi dari 212 mm dan kuat tekan awal yang tinggi mulai dari 5 MPa pada satu dan 7,6 MPa pada 7 hari. Karakteristik penyerapan air yang sangat rendah dibandingkan dengan *geopolimer* dengan penyerapan air yang tinggi. *Geopolimer* ini bisa digunakan untuk perbaikan jalan beton atau sebagai pelapis perlindungan untuk beton laut karena memiliki keawetan dan kekuatan yang tinggi.

Eskandarsefat (2018) melakukan penelitian tentang investigasi pada efek suhu air campuran eon Semen beton kekuatan awal tinggi sebuah karya eksperimental dan studi kasus. Dalam banyak konstruksi dan terutama proyek *paving*, cuaca dingin dianggap sebagai salah satu hambatan pada pembangunan konstruksi di iklim dingin. Menurut sebagian besar spesifikasi beton, beton harus dijaga dari pembekuan selama kurang lebih 24 jam setelah ditempatkan dalam cuaca dingin. Banyak penelitian yang menunjukkan pembentukan beton awal mengurangi kuat tekan beton hingga 50%. Dalam literatur, tidak ada batas spesifik yang ditemukan sebagai maksimum suhu air dalam pencampuran yang di ijin untuk menghasilkan beton dengan semen kekuatan awal tinggi. Suhu air sangat mempengaruhi tingkat *slump*. Desain campuran yang konstan dan kondisi pengujian sama, semakin tinggi pencampuran suhu air maka semakin tinggi *slump*. Peningkatan *slump* terjadi karena kenaikan suhu air, *bleeding* semakin tinggi dan segregasi. Khususnya, *bleeding* diperoleh campuran air yang bersuhu  $50 \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Suhu sangat berpengaruh terhadap campuran beton, dibutuhkan suhu optimal untuk mengeras pada kisaran 14 hingga  $18^{\circ}\text{C}$ . Pada kisaran ini sesuai dengan suhu campuran yang disarankan (maksimum  $21^{\circ}\text{C}$ ) di sebagian besar teknis spesifikasi. Suhu optimal air ditemukan pada kisaran  $50 \pm 5^{\circ}\text{C}$  untuk beton yang dibuat dengan memeriksa semen HE. Nilai kuat tekan yang dicapai dalam percobaan sesuai dengan data pabrik lapangan, yang dapat memvalidasi keakuratan simulasi melalui karya eksperimental.

### **2.1.3. Penelitian Terdahulu tentang Kuat Lentur Balok**

Pane dkk. (2015) melakukan penelitian mengenai pengujian kuat tarik lentur beton dengan variasi kuat tekan beton. Pengujian ini dilakukan untuk

mengetahui hubungan perbandingan antara kuat tekan beton dan kuat tarik lentur beton sebagai informasi untuk perkembangan teknologi beton.

Ahmed dkk. (2014) melakukan penelitian mengenai evaluasi hubungan antara kuat lentur beton dengan kuat tekan. Penelitian ini menyajikan studi eksperimental untuk memprediksi kuat lentur beton dengan mempertimbangkan tingkat kuat tekan beton (35 hingga 100 MPa) dan lebar benda uji (80 hingga 250 mm). Eksperimen yang dilakukan pada penelitian ini yaitu melakukan evaluasi persamaan prediksi nilai kuat lentur menggunakan prosedur statistik regresi linier dari hasil uji ekperimental yang dilakukan penguji dan hasil pengujian kuat lentur yang berasal dari literatur S.Y. Mhakisar dan D.D Naik

Tarigan (2019) melakukan penelitian mengenai perbandingan kekuatan letur pada balok beton bertulang yang dicor secara berlapis dengan mutu berbeda. Eksperimen menggunakan 2 buah balok beton bertulang dimana benda uji pertama dicor secara berlapis dengan bagian tekan menggunakan mutu beton  $f_c'$  25 MPa dan mutu beton  $f_c'$  17.5 MPa di cirkan dibagian tarik, sedangkan balok benda uji kedua di cor seluruhnya dengan mutu beton  $f_c'$  25 MPa.

Manangin dkk. (2015) melakukan penelitian mengenai pengaruh variasi dimensi benda uji terhadap kuat lentur balok beton bertulang. Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa dimensi benda uji memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap nilai kuat lentur beton. Semakin besar dimensi benda uji maka momen inersia yang dihasilkan semakin besar juga, karena momen inersia yang besar maka nilai kuat lentur yang dihasilkan akan semakin kecil. Hal ini terjadi karena berbanding terbaliknya nilai kuat lentur dengan momen inersia.

#### 2.1.4. Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Perbandingan penelitian terdahulu yang saling berkaitan dengan penelitian sekarang sebagai berikut ini.

Tabel 2. 1. Perbedaan penelitian terdahulu dan sekarang

No	Penelitian	Tahun	Perbedaan	
			Terdahulu	Sekarang
1	<i>Reduce the influence of horizontal and vertical cold joints on the</i>	2018	Penelitian ini mempunyai 2 tujuan utama yaitu pertama meyelidiki efek penggunaan limbah gula	Penelitian ini membandingkan kuat lentur awal pada balok dalam kondisi <i>cold joint</i>

	<i>behaviour of high strength concrete beam casting in hot weather by using sugar molasses</i> (Al-Mamoori & Al-Mamoori)		sebagai <i>retarding agents</i> , kedua untuk menyelidiki efek lokasi sambungan vertikal maupun horizontal pada konstruksi terhadap kuat lentur balok dengan dan tanpa adanya limbah gula.	dalam waktu jedah pengecoran selama 120 menit dan 240 menit dengan uji lentur vertikal dan horizontal.
2	<i>Cyclic behaviour of in-situ exterior beam-column subassemblies with cold joint in column</i> (Roy & Laskar).	2016	Benda uji berupa beton bertulang perpaduan antara kolom (120 × 150) mm dan balok (150 × 150 × 900) mm yang tersambung pada kondisi <i>cold joint</i> di kolom.	Benda uji berupa beeton tanpa tulangan dengan dimensi balok (15 × 15 × 60).
3	<i>Concrete cold joint formation in hot weather conditions</i> (Illangakoon dkk.)	2019	Eksperimen <i>cold joint</i> dilakukan pada kondisi dua suhu ruangan yang telah diatur yaitu 25°C dan 45°C. lamanya variasi waktu tunda sambungan pada pengecoran yaitu 0, 170, 210, 315, 350, 400, 525 menit.	Eksperimen <i>cold joint</i> pada kondisi suhu ruangan 32 % dengan waktu tundaan 120 menit dan 240 menit.
4	<i>Effect of cold joint on strength of concrete</i> (Rathi & Kolase)	2013	Pengujian nilai kuat lentur dilakukan pada 3 arah eksperimen <i>cold joint</i> yaitu arah horizontal, vertikal dan diagonal bidang benda uji.	Pengujian nilai kuat lentur dilakukan pada 2 arah eksperimen <i>cold joint</i> arah horizontal dan vertikal.
5	<i>A novel waterproof, fast setting and high early strength repair material derived from metakaolin geopolymer</i> (Duan dkk)	2016	<i>Geopolymer</i> digunakan untuk beton kuat tekan awal tinggi	Zat adiktif ( <i>besmittel</i> ) digunakan untuk beton kuat lentur awal tinggi
6	<i>Investigation on the effects of</i>	2018	Semen yang digunakan khusus untuk beton kuat	Zat adiktif ( <i>besmittel</i> )

	<i>mix water temperatur eon High-Early strength cement concrete properties- An experimental work and case study</i> (Eskandarsefat)		tekan awal tinggi	digunakan untuk beton kuat lentur awal tinggi
7	Pengujian kuat tarik lentur beton dengan variasi kuat tekan beton (Pane dkk.)	2015	Pengujian menggunakan benda uji berbentuk balok dimensi (100 × 100 × 400) mm dengan variasi kuat tekan beton yaitu 20, 25, 30, 35 Mpa.	Pengujian menggunakan benda uji berbentuk balok dimensi (15 × 15 × 60) cm dengan kuat tekan rencana 30 Mpa
8	<i>Evaluating the co-relationship between concrete flexural tensile strength and compressive strength</i> (Ahmed dkk., 2014)	2014	Penelitian ini menyajikan studi eksperimental untuk memprediksi kuat lentur beton dengan mempertimbangkan tingkat kuat tekan beton (35 hingga 100 MPa) dan lebar benda uji (80 hingga 250 mm).	
9	perbandingan kekuatan lentur pada balok beton bertulang yang dicor secara berlapis dengan mutu berbeda (Tarigan)	2019	Benda uji berbentuk balok beton bertulang terbuat dari 2 lapisan mutu beton berbeda yaitu beton $f_c' = 17,5$ Mpa dan mutu beton $f_c' = 25$ Mpa.	Benda uji berbentuk balok berukuran 15 × 15 × 60 cm, dengan penambahan <i>bestmettel</i> kondisi <i>cold joint</i> , dan mutu beton 30 Mpa
10	Pengaruh variasi dimensi benda uji terhadap kuat lentur balok beton bertulang (Manangin dkk.)	2015	Balok dengan macam-macam variasi dimensi (100 × 100 × 800) mm, (140 × 140 × 800) mm dan (170 × 170 × 800) mm diuji kuat lenturnya untuk mengetahui pengaruh dimensi benda uji terhadap nilai kuat lentur	Balok dengan dimensi (15 × 15 × 60) cm diuji kuat lentur dengan kondisi <i>cold joint</i> .

---

Berdasarkan Tabel 2.1 mengenai perbedaan penelitian terdahulu dan sekarang dapat dinyatakan bahwa penelitian ini, menurut sepengetahuan penulis adalah asli dan belum pernah diteliti oleh peneliti lain.

## **2.2. Dasar Teori**

### **2.2.1. Beton**

Beton merupakan campuran antara semen hidraulik atau semen *Portland*, agregat halus, agregat kasar, air, dan dengan atau tanpa tambahan bahan yang membentuk suatu masa padat (BSN SK SNI 03-2847-2002:Hal 6).

#### **a. Beton normal**

Menurut (BSN SK SNI 03-2847-2002:Hal 6) menyebutkan bahwa beton normal mempunyai berat isi sekitar (2200 – 2500) kg/m<sup>3</sup> dengan isi bahan campuran antara semen *Portland*, agregat kasar, agregat halus, dan air. Pada umumnya sebelum mencampurkan bahan-bahan pembuat beton terlebih dahulu dilakukan beberapa pengujian seperti pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat, selain itu dalam pembuatan beton dilakukan uji *slump* mengetahui ukuran kekentalan adukan beton dalam mm dengan menggunakan alat kerucut abram.

#### **b. Beton mutu tinggi**

Menurut Almufid (2015) beton mutu tinggi dikategorikan jika kuat temannya 30 MPa. Beberapa cara meningkatkan kinerja beton menjadi beton bermutu tinggi sebagai berikut ini.

1. Mengurangi porositas beton dengan cara mengurangi air dalam kandungan beton
2. Menambahkan adiktif mineral
3. Menambahkan serat
4. Beton dengan pemadatan sendiri

#### **c. Beton cold joint**

Beton *cold joint* merupakan bagian beton yang tidak dirawat yang disebabkan oleh hambatan pada saat pengecoran yang dapat mempengaruhi kinerja sistem struktural (Torres dkk., 2015).

*Cold joint* terbentuk karena lamanya waktu pengaturan beton, cara mencegah *cold joint* yaitu dengan mengatur interval penempatan pengecoran agar lapisan atas menjadi monolit dengan lapisan yang bawah. Interval penempatan pengecoran merupakan waktu penyelesaian pemadatan dan penempatan lapisan beton sampai lapisan di atasnya ditempatkan setelah waktu yang ditentukan (JSCE No.16, 2007: Hal 133). Berikut interval penempatan pengecoran yang diizinkan dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2. Standar interval penempatan pengecoran yang diizinkan (JSCE NO.16, 2007 Hal 133)

Temperatur di lingkungan	Jeda waktu yang diizinkan antara dua penempatan pengecoran
$\leq 25^{\circ} \text{C}$	2,5 jam
$> 25^{\circ} \text{C}$	2 jam

### 2.2.2. Bahan Penyusun Beton

#### a. Semen

Menurut Tjokrodimuljo (2010) menyebutkan bahwa semen *portland* merupakan semen hidrolis yang didapatkan dari menghaluskan klinker yang terdiri dari silika-silika kalsium ditambah dengan bahan yang dapat mengatur waktu ikat dan batu gips sebagai bahan pembantu.

Menurut SNI 15-2049-2004:Hal 1 menyebutkan bahwa semen *portland* didapat dari menggiling terak semen *portland* yang terdiri dari kalsium silikat kemudian digiling bersama dengan bahan tambahan kristal senyawa kalsium sulfat dan bahan tambahan lainnya. Ada lima jenis semen *portland* di Indonesia yang diatur menurut SNI 15-2049-2004:Hal 2 diantaranya seperti berikut ini.

#### 1) Jenis semen *Portland I*

Pada umumnya jenis semen *portland* ini dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan seperti jenis yang lain.

#### 2) Jenis semen *Portland II*

Pada jenis ini semen *Portland* penggunaannya pada konstruksi yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang

3) Jenis semen *Portland III*

Pada jenis ini semen *Portland* penggunaannya pada konstruksi yang memerlukan kekuatan awal yang tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.

4) Jenis semen *Portland IV*

Pada jenis ini semen *Portland* penggunaannya pada konstruksi yang memerlukan persyaratan panas hidrasi yang tinggi.

5) Jenis semen *Portland V*

Pada jenis ini semen *Portland* penggunaannya pada konstruksi yang memerlukan ketahanan pada sulfat.

b. Agregat

Menurut Tjokrodimuljo (1992) menyebutkan bahwa agregat merupakan butiran mineal alami yang berfungsi sebagai pengisi dalam campuran beton. Didalam campuran beton agregat sendiri ada sekitar 70% volume beton. Pada dasarnya agregat merupakan bahan pengisi volume beton akan tetapi pemilihan agregat begitu penting dalam menentukan kualitas beton itu sendiri. Terdapat dua jenis agregat jika dilihat dari ukuran butirnya. Agregat yang mempunyai ukuran besar disebut agregat kasar, sebaliknya agregat yang ukurannya lebih kecil disebut agregat halus.

1) Agregat kasar

Menurut BSN SK SNI 03-2847-2002:Hal 4 mengatakan bahwa agregat kasar merupakan hasil dari disintegrasi alami dari batu atau brupa batu pecah dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm. Berikut persyaratan agregat untuk bahan bangunan.

- a) Butirnya keras, tidak berpori, dan indeks kekerasan  $\leq 5\%$  (diuji dengan goresan batang tembaga) Bila diuji dengan bejana Rudeloff atau Los Angels.
- b) Kekal, tidak hancur saat terpengaruh oleh cuaca. Apabila diuji dengan larutan garam Natrium Sulfat bagian yng hancur maksimum 12%, garam Magnesium Sulfat maksimum 18%.
- c) Tidak mengandung lumpur lebih dari 1%
- d) Tidak mengandung zat yang aktif erhdap alkali

- e) Tidak lebih dari 20% butiran agregat yang pipih dan panjang.
- f) Modulus halus butir antara 6-7,10 dan dengan variasi butir sesuai standar gradasi.
- g) Ukuran butir maksimum tidak boleh melebihi dari:  $1/5$  jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan,  $1/3$  tebal pelat beton,  $3/4$  jarak bersih antar tulangan atau berkas tulangan.

2) Agregat halus

Menurut BSN SK SNI 03-2847-2002:Hal 4 mengatakan agregat halus berasal dari alam atau olhaan (hasil pemecahan, penyaringan atau terak tanr tinggi) dengan besar maksimum 4,76 mm. Berikut merupakan syarat agregat halus secara umum.

- a) Terdapat butir-butir tajam dan keras di dalam agregat halus
- b) Tidak hancur oleh pengaruh cuaca
- c) Tidak mengandung umpur  $> 5\%$ , jika melebihi maka harus dicuci
- d) Tidak mengandung zat organik
- e) Modulus halus butir 1,5-3,8 dengan variasi butir sesuai standar gradasi.

c. Air

Menurut BSN SNI 7974-2013:Hal 2 ada syarat penggunaan air yang harus terpenuhi dalam proses pencampuran beton sebagai berikut ini.

- a. Air yang ditimbang oleh operator truk
- b. Air terbebas dari agregat
- c. Air minum boleh digunakan
- d. Air dari sumber air yang tidak dapat diminum boleh digunakan namun harus memenuhi syarat penggunaan sesuai pengujian dan persyaratan.
- e. Air es.
- f. Air pencampur yang seluruh atau sebagian terdiri dari sumber-sumber air yang tidak dapat di minum atau air dari produksi beton boleh digunakan dalam setiap proporsi dengan batasan kualitas memenuhi syarat.
- g. Air yang digunakan untuk pengadukan telah ditimbang atau diukur di *batching plant*

### 2.2.3. Bahan tambah zat adiktif

Menurut Tjokrodimuljo (2010) bahan tambah pada campuran beton berupa bubuk atau cairan yang dimaskan kedalam adukan beton dengan tujuan mengubah sifat beton baik pada saat masih segar maupun setelah mengeras.

Pada umumnya bahan tambah digunakan pada dosis tertentu. Kesalahan pada dosis serta pemakaiannya dapat berpengaruh pada kualitas beton yang dihasilkan. Dalam penggunaannya bahan tambah ditambahkan tanpa mengurangi semen/ bahan lainnya.

Zat *additive* (*Bestmittel*) merupakan bahan tambah yang sangat ekonomis dengan formula khusus yang menjadikan proses pengecoran beton menjadi lebih cepat keras dalam usia yang muda serta mengurangi penggunaan air dalam pengecoran sehingga dapat meningkatkan mutu dan kekuatan beton. *Bestmittel* sangat efisien dalam membantu waktu pengecoran dengan jadwal waktu yang sangat ketat karena beton cepat mengeras pada usia awal ( 7 – 10 ) hari serta meningkatkan mutu/ kekatan beton sekitar 5% - 10% (Nugraha, dkk. 2019).

### 2.2.4. Slump Test

Pengujian *slump* adalah teknik pengetesan untuk mengetahui *workability* (kemudahan pengerjaan beton segar) sebelum diaplikasikan dalam pekerjaan pengecoran. Pada campuran beton, kadar air sangat diperhatikan karena dapat menentukan tingkat *workability*. Campuran beton yang sangat cair akan menyebabkan mutu beton rendah dan lama mengering. Sedangkan campuran beton yang terlalu kering akan menyebabkan adukan tidak merata dan sulit untuk dicetak.

Menurut Mulyono (2003) menyebutkan unsur-unsur yang mempengaruhi nilai *slump* antara lain:

- a. butir maksimum,
- b. gradasi campuran pasir-krikil,
- c. cara pemadatan dan alat pemadat,
- d. jumlah air pencampuran (FAS),
- e. bentuk butiran agregat kasar, dan
- f. kandungan semen.

### 2.2.5. Kuat Lentur

Menurut BSN SNI 4431-2011:Hal 1 kuat lentur merupakan kemampuan beton untuk menahan beban atau gaya dengan arah tegak lurus terhadap beton dalam satuan *Mega Pascal (MPa)* per satuan luas. Metode lain yang dapat digunakan untuk mengetahui nilai kuat lentur beton, yaitu dengan melakukan pengujian kuat lentur menggunakan benda uji atau mengkonversikan nilai kuat tekan menggunakan persamaan teoritis sebagai berikut ini.

$$\sigma = 0,94\sqrt{f_c'} \dots\dots\dots 2.1$$

Hasil pembacaan tertinggi yang diperoleh dari manometer kemudian akan digunakan untuk menghitung nilai kuat lentur dengan persamaan sebagai berikut ini.

$$\sigma_1 = \frac{P.L}{b.h^2} \dots\dots\dots 2.2$$

dengan:

- $\sigma_1$  : kuat lentur benda uji (MPa),
- P : beban tertinggi yang terbaca oleh mesin uji (N),
- L : jarak antara dua garis perletakan (mm),
- b : lebar tampang lintang patah arah horisontal (mm), dan
- h : lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm).