

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

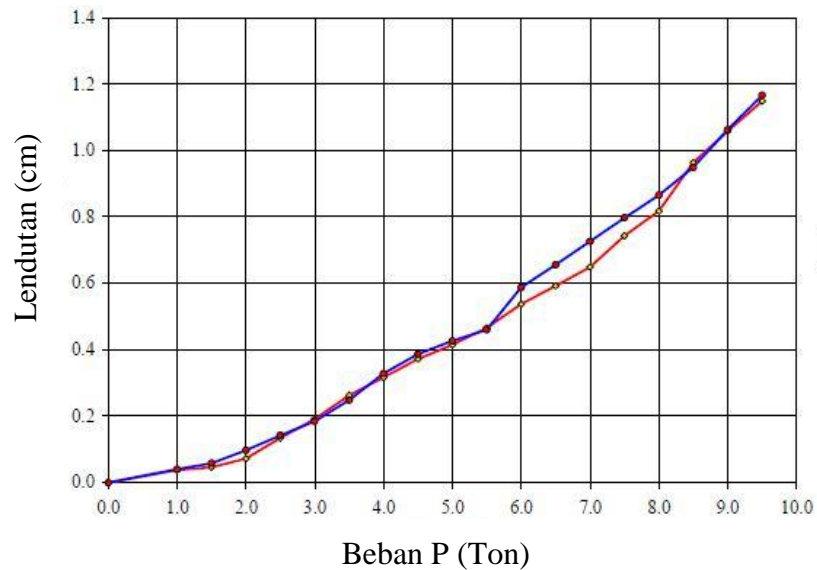
Beberapa penelitian yang terlebih dahulu dilakukan tentang *cold joint* dan kuat lentur beton antara lain sebagai berikut ini.

- a. Perbandingan kekuatan lentur pada balok beton bertulang yang dicor secara berlapis dengan mutu berbeda (Tarigan, 2019).
- b. Pengujian kuat tarik lentur dengan variasi kuat tekan beton (Pane dkk., 2015).
- c. Pengaruh variasi dimensi benda uji terhadap kuat lentur balok beton bertulang (Manangin dkk., 2015).
- d. *A study of factors affecting the flexural tensile strength of cold joint* (Ahmed dkk., 2016).
- e. *Evaluating the co-relationship between concrete flexural tensile strength and compressive strength* (Ahmed dkk., 2014).
- f. *Effect of cold joint on strength of concrete* (Rathi dan Kolase, 2013).
- g. *Concrete cold joint formation in hot weather conditions* (Illangakoon dkk., 2019).
- h. *Cyclic behaviour of in-situ exterior beam-column subassemblies with cold joint in column* (Roy dan Laskar, 2017).
- i. *Reduce the influence of horizontal and vertical cold joints on the behaviour of high strength concrete beam casting in hot weather by using sugar molasses* (Al-Mamoori dan Al-Mamoori, 2018).
- j. *Mechanical behavior of concrete cold joints* (Torres dkk., 2016).

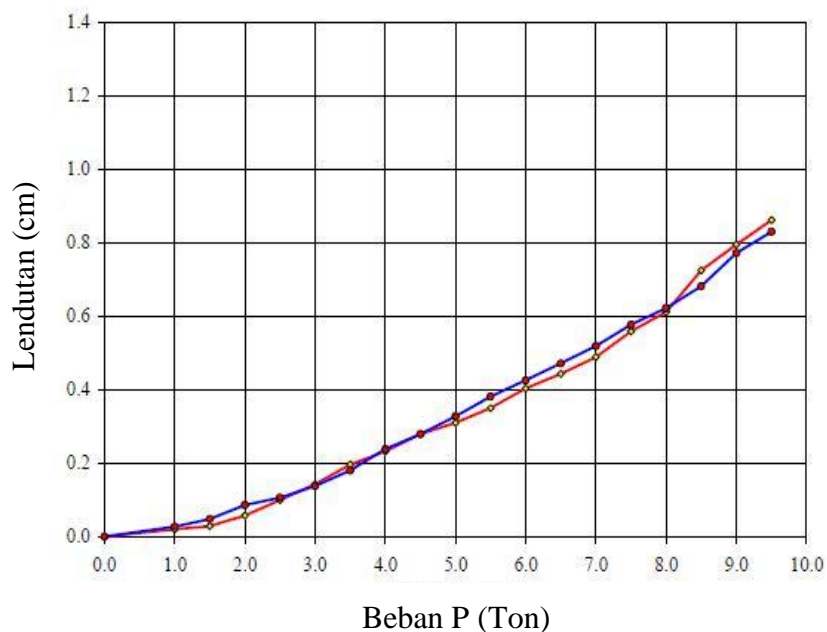
##### 2.1.1. Penelitian Terdahulu tentang Kuat Lentur Balok

Tarigan (2019) melakukan penelitian mengenai perbandingan kekuatan lentur 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

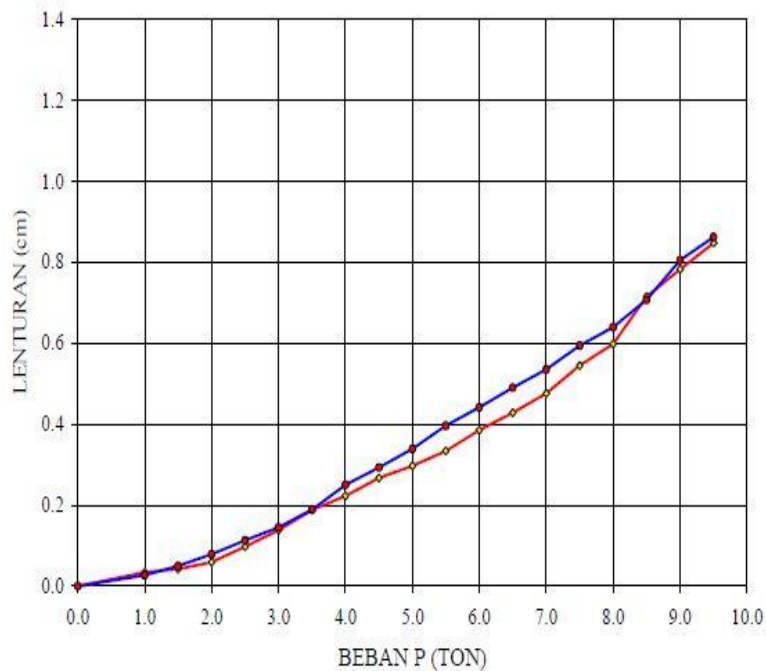
benda uji kedua di cor seluruhnya dengan mutu beton  $f_c'$  25 MPa. Pengujian kuat lentur dilakukan pada 3 titik sepanjang rentang balok saat umur beton 28 hari dengan pembebanan awal sebesar 1000 kg. Hasil penelitian seperti pada Gambar 2.1, Gambar 2.2 dan Gambar 2.3 menunjukkan nilai lenturan yang diperoleh pada 3 titik tiap masing-masing benda uji antar keduanya memiliki nilai yang tidak jauh berbeda.



Gambar 2.1 Hasil pengujian lentur dititik 1 sebagai fungsi dari beban untuk balok 1 dan balok 2 (Tarigan, 2019).



Gambar 2.2 Hasil pengujian lentur dititik 2 sebagai fungsi dari beban untuk balok 1 dan balok 2 (Tarigan, 2019).



Gambar 2.3 Hasil pengujian lentur dititik 3 sebagai fungsi dari beban untuk balok 1 dan balok 2 (Tarigan, 2019).

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. Benda uji balok ( $100 \times 100 \times 400$ ) mm dan silinder ( $100 \times 200$ ) mm sebanyak 32 buah disiapkan dalam pengujian ini dengan variasi nilai kuat tekan  $f_c'$  yang dipakai adalah 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, dan 35 MPa. Proses pengujian dilaksanakan pada umur beton 28 hari dengan hasil penelitian dapat dilihat pada tabel 2.1. Berdasarkan hasil penelitian, perbandingan antara nilai kuat tekan dan kuat lentur beton  $f_r/\sqrt{f_c'}$  berkisar antara 0,81 sampai 0,83 dengan standar peraturan beton yang ada yaitu SNI memiliki nilai 0,7 dan ACI 0,6.

Tabel 2.1 Perbandingan hasil kuat lentur dengan kuat tekan (Pane dkk., 2015)

Mutu [MPa]	Kuat tarik lentur ( $f_r$ ) [MPa]	Kuat tekan ( $f_c'$ ) [MPa]	Perbandingan	
			$\sqrt{f_c'}$	$f_r/\sqrt{f_c'}$
20	3,56	18,1	4,26	0,84
25	4,07	24,9	5,00	0,81
30	4,46	28,9	5,37	0,83
35	4,82	34,9	5,90	0,82

Ahmed dkk. (2014) meneliti tentang studi faktor-faktor yang mempengaruhi kuat lentur beton. Banyak faktor telah terbukti mempengaruhi kuat lentur beton seperti tingkat kuat tekan beton, ukuran, usia dan sengkang pada komponen lentur beton. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki perilaku kuat lentur menggunakan 4 campuran beton yang memiliki nilai kuat tekan berkisar dari 30 MPa hingga 85 MPa pada umur beton 7 hari, 28 hari dan 56 hari dengan dan tanpa sengkang pada komponen lentur beton. Dengan menggunakan analisis regresi linier, Persamaan 2.1 menunjukkan prediksi nilai kuat lentur yang diusulkan oleh penelitian ini.

$$f_r = \lambda_1 \times \lambda_2 \times 0.45 \times f_c^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana nilai  $\lambda_1$  dan  $\lambda_2$  adalah faktor pengali umur beton dan kondisi sengkang beton, nilai  $\lambda_2$  untuk beton dengan sengkang adalah sebesar 1,45 dan nilai 1 untuk beton tanpa sengkang, nilai  $\lambda_1$  untuk beton berusia 7 hari, 28 hari dan 56 hari masing-masing sebesar 0,95, 1 dan 1,05.

Ahmed dkk. (2014) juga 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 pengujian dan hasil pengujian kuat lentur yang berasal dari literatur S.Y. Mhakisar dan D.D Naik. Hasil pengujian didapatkan prediksi nilai kuat lentur seperti Persamaan 2.2 dan Persamaan 2.3 untuk literatur S.Y. Mhakisar dan D.D Naik sebagai berikut.

$$f_r = 0.864 \times f_c^{0.5} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$f_r = 0.45 \times f_c^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Sedangkan prediksi nilai kuat lentur yang didapatkan dalam eksperimen ini yaitu seperti pada Persamaan 2.4, Persamaan 2.5 dan Persamaan 2.6 berikut ini.

$$f_r = 1.055 \times f_c^{0.5} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$f_r = 0.45 \times f_c^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$f_r = \frac{0.827}{h^{0.1}} \times f_c^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana nilai  $f_c$  = kuat tekan beton dan  $h$  = lebar benda uji (mm). Penelitian ini juga membuktikan bahwa lebar balok memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap nilai kuat lentur seperti pada tabel 2.2 misalnya dikuat tekan 32,5 MPa kuat lentur menurun dari 6,38 MPa menjadi 4,73 MPa saat lebar balok meningkat dari 80 mm menjadi 240 mm.

Tabel 2.2 Kuat tekan dan kuat lentur hasil eksperimen (Ahmed dkk., 2014)

Mix	Hasil Eksperimen Pengujian		
	Kuat tekan MPa	Kuat lentur MPa	Dimensi balok mm ( $L \times d \times b$ )
I	32,5	6,38	320×80×60
		5,6	480×120×60
		5,14	600×150×60
		4,73	960×240×60
II	52,5	8,1	320×80×60
		7,5	480×120×60
		6,7	960×150×60
		6,3	960×240×60
III	62	8,3	320×80×60
		7,9	480×120×60
		7,34	600×150×60
		6,9	960×240×60
IV	87	9,8	320×80×60
		9,33	480×120×60
		8,86	600×150×60
		8,5	960×240×60
V	98	9,95	320×80×60
		9,67	480×120×60
		9,4	600×150×60
		9,21	960×240×60

Manangin dkk. (2015) melakukan penelitian mengenai pengaruh variasi dimensi benda uji terhadap kuat lentur balok beton bertulang. Penelitian ini bermaksud untuk mengetahui bagaimana pengaruh dimensi benda uji terhadap nilai kuat lentur beton balok bertulang. Balok dengan tulangan baja  $\varnothing 6$  mm dan variasi dimensi (100 × 100 × 800) mm, (140 × 140 × 800) mm dan (170 × 170 × 800) mm diuji kuat lenturnya. 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.

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

Rathi dan Kolase (2013) melakukan penelitian mengenai efek *cold joint* terhadap kekuatan beton. Dalam penelitian yang dilakukan ini yaitu meneliti pengaruh adanya *cold joint* terhadap kuat tekan, kuat tarik tidak langsung dan kuat lentur ditinjau dari arah vertikal, horizontal dan diagonal masing masing benda uji. Peneliti menggunakan campuran beton yang dituangkan kedalam cetakan terdiri dari 3 jenis campuran yaitu *fresh concrete* ( ketika pengecoran *cold joint* dilakukan campuran beton yang dipakai adalah campuran beton baru), *stain concrete* ( campuran beton ketika pengecoran *cold joint* dilakukan campuran yang dipakai adalah campuran beton yang sama yang sebelumnya digunakan pada tahap penuangan setengah cetakan pertama), *strained normal concrete with retarding agent* ( yaitu campuran beton yang meyerupai *strain concrete* tetapi dalam campuran tersebut terdapat adanya penambahan gula pada campuran beton yang berfungsi untuk memperlambat hidrasi semen). Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penurunan kekuatan beton akibat adanya *cold joint* pada arah horizontal memiliki hasil lebih baik daripada arah vertikal dan arah diagonal, hasil penggunaan bahan tambahan berupa gula juga memberikan dampak positif jika terjadi keterlambatan dalam pengecoran.

Illangakoon dkk. (2019) telah melakukan penelitian mengenai pembentukan *cold joint* beton dalam kondisi cuaca panas. Penelitian ini dilatar belakangi adanya kemungkinan pengaruh *cold joint* pada pengecoran struktur bangunan beton yang menyebabkan kerusakan dan pengurangan kekuatan pada struktur beton di negara-negara tropis yang kondisi cuaca panas hampir melebihi batas suhu beton segar maksimum yaitu 35°C. pengujian ini menggunakan benda uji berbentuk balok (100×100×400) mm dengan pola *cold joint* tegak lurus di tengah balok. Benda uji terlebih dahulu dicor setengah bagian kemudian disimpan di ruangan yang telah diatur temperaturnya pada suhu 25°C dan 45°C dan setelah memasuki waktu tunda yang bervariasi maka pengecoran lapis kedua segera dilaksanakan sampai benda uji terisi penuh lalu di tempatkan kembali pada ruangan sebelumnya. Setelah 24 jam, benda uji dikeluarkan dari cetakan dan di simpan dalam air dengan suhu 20°C. Hasil penelitian dapat dilihat pada tabel 2.6 dan tabel 2.7, pada suhu sekitar 45°C ketika waktu tunda sambungan lebih dari

215 menit kerusakan sebagian besar terjadi di tengah balok dan kuat lentur mulai berkurang sedangkan untuk 25°C, sambungan dingin dan pengurangan nilai kuat lentur muncul setelah 315 menit. Jadi dibawah kondisi suhu lingkungan yang tinggi, pengurangan nilai kuat lentur dan pembentukan *cold joint* terjadi lebih cepat dibandingkan dengan kondisi normal.

Tabel 2.3 Rata-rata nilai pembebanan dan kuat lentur beton suhu 25° C  
(Illangakoon dkk., 2019)

Suhu sekitar 25° C			
No	Waktu jeda (menit)	Rata-rata beban maksimum (kN)	Nilai kuat lentur, (MPa)
1	0	14,163	4,25
2	170	15,178	4,55
3	210	14,658	4,40
4	315	15,571	4,67
5	350	14,803	4,44
6	400	13,773	4,13
7	525	12,929	3,88

Tabel 2.4 Rata-rata nilai pembebanan dan kuat lentur beton 45° C (Illangakoon.  
dkk, 2019)

Suhu sekitar 45° C			
No	Waktu jeda (menit)	Rata-rata beban maksimum (kN)	Nilai kuat lentur, (MPa)
1	0	14,195	4,26
2	110	14,427	4,33
3	159	14,806	4,44
4	215	13,420	4,03
5	300	11,770	3,53
6	515	10,077	3,02

Roy dan 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. Pada pengujian yang dilakukan pada penelitian ini terdapat 2 macam prosedur pengujian yaitu *cyclic test* dan *static test*. Parameter yang dipertimbangkan pada penelitian ini antara lain pola retak, mode kegagalan, daktilitas, beban daya dukung dan degradasi kekakuan. Hasil penelitian yang didapatkan yaitu benda uji dengan *cold joint* menunjukkan pengurangan keuletan dan kekakuan awal dibandingkan dengan benda uji normal lalu pola retakan pertama kali setelah dilakukan pengujian retakan muncul di pertemuan *cold joint* tersebut. Hasil pada pengujian *static load*,

perbedaan hasil beban puncak antar benda uji dengan dan tanpa adanya *cold joint* tidak memiliki pengaruh yang signifikan.

Torres dkk. (2016) melakukan penelitian mengenai perilaku mekanis pada *cold joint* beton. *Cold joint* adalah bidang yang lemah disebabkan oleh gangguan dalam proses pengecoran yang dapat merusak kinerja struktural. Percobaan pengujian pada penelitian ini dilakukan dengan cara silinder beton (150 × 300) mm dicor dalam kondisi *cold joint* pada arah horizontal, diagonal dan vertikal dengan waktu tunda sambungan yaitu 2 jam, 4 jam, 6 jam, dan 8 jam. Tes pengujian yang diterapkan adalah tes kuat tekan dan kuat tarik tidak langsung pada masing-masing arah *cold joint* pada benda uji dengan usia beton 3 hari, 7 hari dan 28 hari. Perilaku viskoelastik diamati dalam penelitian ini yang bertujuan mensimulasikan kekakuan beton dimana ada perubahan sifat mekanik dari waktu ke waktu tanpa adanya penerapan pembebanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa silinder dengan *cold joint* arah horizontal yang diuji tidak menunjukkan hilangnya ketahanan dalam hal apapun, berbeda dengan silinder dengan sambungan diagonal dan vertikal yang mengalami hilangnya ketahanan (masing-masing hingga 30% dan 42%) lebih tinggi dengan waktu tunda pembentukan sambungan yang lama dan usia beton yang masih dini.

Al-Mamoori dan 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. Metode penelitian yang dilakukan yaitu berupa eksperimen terhadap benda uji balok beton (110×110×650) mm berjumlah 24 buah dengan dan tanpa *retarding agents* yang masing-masing terdiri dari balok yang memiliki bidang *cold joint* kasar dan halus dengan arah horizontal (diisi pada kedalaman 25%, 50%, dan 75%) dan arah vertikal (diisi pada rentang 33% dan 50%) dengan waktu tunda selama 120 menit. Benda uji dilakukan pengujian pada umur 28 hari dengan



hasil penelitian yaitu adanya *retarding agents* dapat menunda *initial setting time* sekitar 277 menit. Sambungan konstruksi horizontal secara keseluruhan hanya memiliki sedikit pengaruh sementara pada sambungan konstruksi vertikal lebih baik pada 33% rentang balok daripada rentang 50%.

### 2.1.3. Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

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

Tabel 2.5 Perbedaan penelitian terdahulu dan sekarang

No	Penelitian	Tahun	Perbedaan	
			Terdahulu	Sekarang
1	perbandingan kekuatan lentur pada balok beton bertulang yang dicor secara berlapis dengan mutu berbeda (Tarigan, 2019)	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 menggunakan mutu beton $f_c' = 30$ MPa dengan variasi adanya lapisan <i>cold joint</i> dengan rentan waktu 2 jam dan 4 jam.
2	pengujian kuat tarik lentur beton dengan variasi kuat tekan beton (Pane dkk., 2015)	2015	Pengujian menggunakan benda uji berbentuk balok dimensi (100 × 100 × 400) mm dengan variasi kuat tekan beton yaitu 20, 25, 30, 35 Mpa.	Pengujian nilai kuat lentur balok dimensi (150 × 150 × 600) mm dengan kuat tekan beton sebesar $f_c' = 30$ Mpa.
3	<i>Effect of cold joint on strength of concrete</i> (Rathi dan Kolase, 2013)	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> yaitu arah horizontal dan vertikal bidang benda uji.
4	<i>A study of factors affecting the flexural tensile strength of cold joint</i> (Ahmed dkk., 2016)	2016	Pengujian dilakukan untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi tarik lentur dengan tambahan <i>super plasticizer</i> pada <i>mix design</i> .	Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai kuat lentur dengan adanya pengaruh <i>cold joint</i> pada pengecorannya.

Tabel 2.5 Perbedaan penelitian terdahulu dan sekarang (lanjutan)

No	Penelitian	Tahun	Perbedaan	
			Terdahulu	Sekarang
5	<i>Cyclic behaviour of in-situ exterior beam-column subassemblies with cold joint in column</i> (Roy dan Laskar, 2017)	2017	Benda uji berupa beton bertulang perpaduan antara kolom ( $120 \times 150$ ) mm dan balok ( $150 \times 150 \times 900$ ) mm yang tersambung pada kondisi <i>cold joint</i> di kolom.	Benda uji merupakan balok beton ( $150 \times 150 \times 600$ ) mm tanpa tulangan dengan proses pengecoran mengalami kondisi <i>cold joint</i> .
6	<i>Concrete cold joint formation in hot weather conditions</i> (Illangakoon dkk., 2019)	2019	Eksperimen <i>cold joint</i> dilakukan pada kondisi dua suhu ruangan yang telah diatur yaitu $25^{\circ}\text{C}$ dan $45^{\circ}\text{C}$ . lamanya variasi waktu tunda sambungan pada pengecoran yaitu 0, 170, 210, 315, 350, 400, 525 menit.	Eksperimen dilakukan pengujian pada kondisi suhu ruangan sekitar $32^{\circ}\text{C}$ . lamanya variasi waktu tunda sambungan yaitu 120 menit dan 240 menit.
7	<i>Mechanical behavior of concrete cold joints</i> (Torres dkk., 2016)	2016	Pengecoran kondisi <i>cold joint</i> dilakukan pada arah horizontal, diagonal dan vertikal terhadap benda uji. Tes pengujian yang diterapkan adalah tes kuat tekan dan kuat tarik tidak langsung.	Pengecoran kondisi <i>cold joint</i> dilakukan pada arah horizontal dan vertikal terhadap benda uji. Tes pengujian yang diterapkan yaitu pengujian kuat lentur.
8	Pengaruh variasi dimensi benda uji terhadap kuat lentur balok beton bertulang (Manangin dkk., 2015)	2015	Balok dengan dimensi ( $100 \times 100 \times 800$ ) mm, ( $140 \times 140 \times 800$ ) mm dan ( $170 \times 170 \times 800$ ) mm diuji kuat lenturnya untuk mengetahui pengaruh dimensi benda uji terhadap nilai kuat lentur.	Balok ( $150 \times 150 \times 600$ ) mm diuji untuk mengetahui pengaruh pengecoran kondisi <i>cold joint</i> terhadap nilai kuat lentur.

Tabel 2.5 Perbedaan penelitian terdahulu dan sekarang (lanjutan)

No	Penelitian	Tahun	Perbedaan	
			Terdahulu	Sekarang
9	<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).	Penelitian dilakukan untuk mengetahui nilai kuat lentur balok beton <i>cold joint</i> dengan kuat tekan beton 30 MPa.
10	<i>Reduce the influence of horizontal and vertical cold joints on the behaviour of high strength concrete beam casting in hot weather by using sugar molasses</i> (Al-Mamoori dan Al-Mamoori, 2018)	2018	Penelitian ini mempunyai 2 tujuan utama yaitu pertama menyelidiki efek penggunaan limbah gula 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.	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh cold joint terhadap nilai kuat lentur balok tanpa adanya <i>retarding agents</i> .

Berdasarkan Tabel 2.5 mengenai perbedaan penelitian terdahulu dan sekarang dapat dinyatakan bahwa penelitian mengenai uji eksperimental kuat lentur pada balok beton akibat pengaruh kondisi *clod joint*, menurut sepengetahuan penulis adalah asli dan belum pernah diteliti oleh peneliti lain.

## 2.2. Dasar Teori

Beberapa definisi dan spesifikasi yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Standar Nasional Indonesia (SNI), *American Standard Testing and Material* (ASTM), buku-buku dan jurnal yang terkait.

### **2.2.1. Beton**

Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambahan membentuk masa padat (BSN, 1993).

### **2.2.2. Bahan Penyusun Beton**

#### **2.2.2.1. Semen**

Semen merupakan hasil industri yang sangat kompleks dengan campuran serta susunan yang berbeda-beda. Menurut Mulyono (2003) fungsi semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat. Semen portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Semen portland didefinisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya (ASTM, 1985).

Setiap semen dapat dibedakan berdasarkan susunan kimia maupun kehalusan butirnya. Menurut Mulyono (2003) Perbandingan bahan-bahan utama penyusun semen portland adalah kapur (CaO) sekitar 60%-65%, silika (SiO<sub>2</sub>) sekitar 20%-25%, dan oksidasi besi serta alumina (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) sekitar 7%-12%.

Menurut BSN (1991) membagi semen portland menjadi lima jenis yaitu sebagai berikut ini.

- a. Tipe I, semen portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya.
- b. Tipe II, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- c. Tipe III, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi.
- d. Tipe IV, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah.

- e. Tipe V, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

Semen tipe I digunakan untuk keperluan bangunan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus. Semen tipe II digunakan untuk konstruksi bangunan yang terus berhubungan dengan air atau untuk pondasi yang tertanam didalam tanah. Semen tipe III dipergunakan untuk daerah yang bertemperatur rendah, terutama pada daerah yang mempunyai musim dingin. Semen tipe IV digunakan untuk pekerjaan-pekerjaan yang besar seperti bendung, pondasi berukuran besar atau pekerjaan besar lainnya. Semen tipe V digunakan untuk bangunan yang berhubungan dengan air laut atau bangunan yang terkena pengaruh gas atau uap kimia agresif.

#### 2.2.2.2. Air

Menurut BSN (2013) tentang Spesifikasi air pencampuran yang digunakan dalam produksi beton semen hidraulis, air yang dapat digunakan dalam campuran beton adalah sebagai berikut ini.

- a. Air untuk pengadukan (air yang ditimbang atau diukur di *batching plan*).
- b. Es.
- c. Air yang ditambahkan operator truk.
- d. Air bebas pada agregat-agregat.
- e. Air yang masuk dalam bentuk bahan-bahan tambah, apabila air ini dapat meningkatkan rasio air semen lebih dari 0,01.
- f. Air minum dapat digunakan tanpa perlu pengujian sesuai persyaratan standar
- g. Air percampuran yang seluruh atau sebagian terdiri dari sumber-sumber air yang tidak dapat diminum boleh digunakan dengan batasan kualitas yang memenuhi standar.
- h. Sumber-sumber air yang tidak bisa diminum harus memenuhi persyaratan penggunaan.
- i. Air berasal dari beberapa sumber, dimana salah satu sumber merupakan air sisa produksi beton, maka harus memenuhi persyaratan.

Menurut Mulyono (2003) jika air yang ada didapatkan dari sumber yang belum terbukti memenuhi syarat maka harus diuji tekan mortar yang dibuat dengan air tersebut, lalu kemudian dibandingkan dengan campuran mortar yang

menggunakan air suling. Hasil pengujian (usia 7 hari dan 28 hari) kubus adukan dibuat dengan air campuran yang tidak dapat diminum paling tidak harus mencapai 90% dari kekuatan spesimen serupa yang dibuat dengan air yang dapat diminum.

#### 2.2.2.3. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang semua butirannya menembus ayakan berlubang 4.75 mm (BSN, 2002). Secara umum, persyaratan agregat halus menurut BSN (2002) adalah sebagai berikut ini.

- a. Agregat halus terdiri dari butiran keras dan tajam.
- b. Modulus halus butir berkisar 1,5-1,8 dengan variasi butir sesuai standar gradasi.
- c. Butiran halus bersifat kekal yang berarti tidak hancur dan pecah oleh pengaruh cuaca. Sifat kekal agregat dapat diuji menggunakan larutan jenuh garam dengan nilai maksimum bagian yang hancur yaitu 10% dari beratnya.
- d. Agregat halus tidak diperbolehkan mengandung lumpur lebih dari 5% (terhadap berat kering), jika lebih dari 5% maka agregat harus dicuci.

#### 2.2.2.4. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah krikil yang mempunyai ukuran butiran antara 5-40 mm dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu (BSN, 2000). Menurut BSN (2002) agregat kasar yang akan dipakai untuk membuat campuran beton harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- a. kadar lumpur maksimal adalah 1% berat kering,
- b. modulus halus butir antara 6-7,1,
- c. tidak diperbolehkan mengandung material yang reaktif terhadap alkali,
- d. penyerapan air maksimal 3%, dan
- e. mempunyai sifat kekal terhadap pengaruh cuaca. Sifat kekekalan agregat kasar dapat diuji menggunakan perendaman *Natrium Sulfat* ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) dengan bagian yang hancur maksimum 12% berat agregat dan menggunakan perendaman *Magnesium Sulfat* ( $\text{MgSO}_4$ ) dengan bagian yang hancur maksimum 18% berat agregat.

### 2.2.3. Cold Joint

*Cold joint* adalah bidang yang lemah disebabkan oleh gangguan dalam proses pengecoran yang dapat merusak kinerja struktural tergantung arah pembentukan dan arah beban yang diterimanya. Kehadiran *cold joint* dalam struktur beton dapat menyebabkan kerusakan seperti kebocoran air, difusi klorida, pengurangan kekuatan dan mengurangi penampilan estetika permukaan beton (Illangakoon dkk., 2019). Ketidakmungkinan melakukan pengecoran struktur bangunan dalam sekali jalan merupakan salah satu penyebab *cold joint* tidak bisa dihindarkan, selain itu faktor lain yang bisa menyebabkan *cold joint* dalam pengecoran diantaranya keterlambatan pengangkutan beton dari *batching plan* ke lokasi proyek dan penundaan pengecoran konstruksi yang tidak lengkap sehingga dilanjut pada hari berikutnya (Rathi dan Kolase, 2013). Untuk menghindari hal ini, penuangan beton harus segera dilakukan kembali sebelum mencapai waktu *initial setting*. Untuk keterlambatan yang lama maka diperluakan suatu bahan tambahan yang dapat memperpanjang waktu *initial setting* sebagai salah satunya adalah gula yang dapat menunda proses hidrasi semen.

### 2.2.4. Kuat Lentur

Kuat lentur didefinisikan sebagai nilai tegangan tarik yang dihasilkan dari momen lentur dibagi dengan momen penahan penampang balok uji (BSN, 1996b).

Menurut Ahmed dkk. (2014) banyak faktor telah terbukti mempengaruhi kuat lentur beton seperti tingkat kuat tekan beton, ukuran, usia beton dan sengkang pada komponen 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 (Manangin dkk., 2015). Menurut BSN (1996b) hasil pengujian kuat lentur dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.7 berikut.

$$f_{lt} = \frac{3PL}{2bd^2} \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan:

$f_{lt}$  = kuat lentur (MPa),

P = beban maksimal yang mengakibatkan keruntuhan balok uji (Newton),

- L = panjang bentang diantara kedua balok tumpuan (mm),  
b = lebar balok rata-rata pada penampang runtuh (mm), dan  
d = tinggi balok rata-rata pada penampang runtuh (mm).