

Uji Eksperimental Kuat Lentur Pada Balok Beton Akibat Pengaruh *Cold Joint*

Eksperimental Test Of Flexural Strength On Concrete Beams With Cold Joint Effect

Dihari Abiyoga Fitriyanto, Fadillawaty Saleh, Fanny Monika, Hakas Prayuda
Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Proses pekerjaan bangunan yang menggunakan material beton hampir tidak mungkin melakukan pengecoran untuk selesai dalam sekali waktu. Keterlambatan *truk mixer* dan kondisi cuaca yang tidak mendukung sangat mungkin terjadi dalam pekerjaan bangunan, oleh karena itu sambungan dingin (*cold joint*) tidak dapat dihindarkan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kuat lentur balok dengan adanya pengaruh dari *cold joint* menggunakan metode eksperimen. Benda uji terdiri dari balok beton normal tanpa tulangan (sebagai sampel kontrol), balok beton *cold joint* arah vertikal dan balok beton *cold joint* arah horizontal yang metode pembuatan campuran beton mengacu pada *mix design ACI 211.1-19*. Waktu jeda penuangan beton yang digunakan pada proses pembuatan benda uji *cold joint* terdiri dari 120 menit dan 240 menit dengan waktu pengujian kuat lentur pada benda uji dilakukan pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari setelah proses *curing* beton. Berdasarkan ketiga jenis benda uji yang dilakukan pengujian kuat lentur meunjukkan semakin lama usia beton maka nilai kuat lentur semakin tinggi. Hasil perbandingan antara beton normal dan beton *cold joint* menunjukkan adanya pengaruh *cold joint* dapat menurunkan nilai kuat lentur balok. Kuat lentur beton *cold joint* vertikal dengan waktu jeda pengecoran 120 menit dan 240 menit mengalami penurunan masing-masing sebesar 8,77% dan 12,25% dimana kuat lentur rata-rata sebesar 7,07 MPa dan 6,8 MPa dibandingkan dengan beton normal sebesar 7,75 MPa. Untuk kuat lentur beton *cold joint* horizontal dengan waktu jeda pengecoran 120 menit dan 240 menit mengalami penurunan sebesar 4,90% dan 10,45% dengan nilai kuat lentur rata-rata sebesar 7,37 MPa dan 6,94 MPa.

Kata-kata kunci : balok, beton, kuat lentur, dan sambungan dingin

Abstract. *The process of building construction using concrete material is almost impossible to finished process casting at one time. Delay in mixer trucks and weather that not support is very possible in the construction of buildings, therefore cold joints cannot be avoided. The purpose of this study is to analyze flexural strength with the effect of a cold joint in beams using an experimental method. In this experiment is used three types of concrete beams such as normal concrete beams without reinforcement (control specimens), vertical failure plan and horizontal failure plan which is a concrete mix design method using ACI 211.1-19. Setting time for cold joint samples in this experiment used two different times (120 minutes and 240 minutes) and flexural strength was analyzed in 7 days, 14 days and 28 days after curing. The result from three types of specimens showed that flexural strength increases with the increasing age of concrete. Results of comparison between normal concrete and cold joint concrete that effect of cold joints can reduce the grade of flexural strength beams. Flexural strength of vertical failure plan with setting time of 120 minutes and 240 minutes decreased respectively by 8,77% and 12,25% where the average flexural strength was 7,07 MPa and 6,8 MPa compared to normal concrete amounting to 7,75 MPa. For the flexural strength of horizontal failure plan with a casting delay of 120 minutes and 240 minutes, it decreased by 4,90% and 10,45% where the average flexural strength was 7,37 MPa and 6,94 MPa.*

Keywords : beams, concrete, flexural strength, and cold joint

1. Pendahuluan

Pada proses pekerjaan bangunan yang menggunakan material beton hampir tidak mungkin melakukan pengecoran dalam sekali

waktu. Keterlambatan *truk mixer* dan kondisi cuaca yang tidak mendukung sangat mungkin terjadi dalam pekerjaan bangunan, oleh karena itu sambungan dingin (*cold joint*) tidak dapat

dihindarkan. Adanya *cold joint* pada pengecoran struktur balok akan menimbulkan masalah, dari yang relatif kecil sampai menimbulkan masalah yang serius tergantung berapa lama keterlambatan rentan waktu yang terjadi. Untuk masalah yang relatif kecil, *cold joint* menyebabkan perbedaan warna antara permukaan balok beton baru dengan balok beton lama yang ditandai dengan guratan garis sepanjang pertemuan beton tersebut sehingga menimbulkan kesan yang kurang menarik untuk dilihat. Untuk masalah yang lebih serius, dengan adanya *cold joint* dapat menyebabkan balok menjadi rusak yang kemungkinan besar berpengaruh terhadap turunnya nilai kekuatan balok dari nilai standar yang telah ditetapkan baik dari segi kuat tarik maupun kuat lentur.

Ahmed dkk. (2014) mengungkapkan banyak faktor telah terbukti mempengaruhi kuat lentur beton seperti tingkat kuat tekan beton, ukuran, usia dan sengkang pada komponen lentur beton. 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 corkan 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. Hasil menunjukkan nilai lenturan yang diperoleh pada 3 titik tiap masing-masing benda uji antar keduanya memiliki nilai yang tidak jauh berbeda, sedangkan 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. Variasi nilai kuat tekan f_c' yang dipakai adalah 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, dan 35 MPa. 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. Hasil penelitian Pane

dkk. (2015) diperluas oleh Ahmed dkk. (2014) 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). Dengan menggunakan statistik regresi linier, persamaan nilai kuat lentur yang didapatkan dalam eksperimen ini yaitu sebagai berikut ini.

$$f_r = 1.055 \times f_c^{0.5} \dots\dots\dots(1)$$

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

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

dimana nilai f_c = kuat tekan beton dan h = lebar benda uji (mm). Penelitian Ahmed, dkk. (2014) yang menyatakan bahwa lebar benda uji dapat mempengaruhi kuat lentur diperkuat oleh penelitian Manangin dkk. (2015) 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. 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.

Torres dkk. (2016) menyebutkan bahwa *cold joint* adalah bidang yang lemah disebabkan oleh gangguan dalam proses pengecoran yang dapat merusak kinerja struktural. Menurut Roy dan Laskar (2017) parameter yang dipertimbangkan pada penelitian mengenai *cold joint* antara lain pola retak, mode kegagalan, daktilitas, beban daya dukung dan degradasi kekakuan. Rathi dan Kolase (2013) melakukan penelitian mengenai efek *cold joint* terhadap kekuatan beton. Peneliti menggunakan campuran beton yang dituangkan kedalam cetakan terdiri dari 3 jenis campuran yaitu *fresh concrete*, *stain concrete*, *strained normal concrete with retarding agent*. 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. Selaras dengan penelitian Rathi dan Kolase (2013), hasil penelitian Torres dkk. (2016) mengenai perilaku mekanis pada *cold joint* beton yang menggunakan benda uji silinder dengan waktu tunda sambungan yaitu 2 jam, 4 jam, 6 jam, dan 8 jam juga 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%). 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. 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. Hasil menunjukkan 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 suhu 25°C, sambungan dingin dan pengurangan nilai kuat lentur muncul setelah 210 menit. Jadi dibawah kondisi suhu lingkungan yang tinggi, pengurangan nilai kuat lentur dan pembentukan *cold joint* terjadi lebih cepat dibandingkan dengan kondisi normal. Salah satu cara yang dapat mengurangi dampak dari adanya *cold joint*, pada penelitian Al-Mamoori dan Al-Mamoori (2018) tentang mengurangi pengaruh *cold joint* horizontal dan vertikal pada pengecoran balok beton mutu tinggi dalam cuaca panas dengan menggunakan limbah gula mendapatkan hasil bahwa yaitu

adanya *retarding agents* berupa cairan limbah gula dapat menunda *initial setting time* dari yang awalnya 120 menit menjadi sekitar 277 menit.

Dalam studi ini, masalah yang timbul dengan adanya *cold joint* tentu akan berpengaruh terhadap struktur balok. Pengaruh tersebut tergantung waktu tunda dan arah pengecoran *cold joint* yang dilakukan. Dengan adanya permasalahan tersebut maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis pengaruh *cold joint* terhadap nilai kuat lentur balok. Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini berupa perbandingan nilai kuat lentur antara balok normal dengan balok *cold joint* dengan memperhatikan waktu jeda pengecoran dan arah sambungan.

2. Landasan Teori

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). Untuk menghasilkan beton yang mudah dalam pelaksanaan dan mendapatkan kuat tekan rencana yang sesuai harapan maka campuran harus ditetapkan sedemikian rupa menggunakan metode rencana campuran SNI, metode ACI maupun metode lainnya.

Sambungan Dingin (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).

Kuat Lentur

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

BSN (1996) hasil pengujian kuat lentur dapat dihitung menggunakan Persamaan berikut.

$$f_{lt} = \frac{3PL}{2bd^2} \dots \dots \dots (4)$$

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).
- d =Tinggi balok rata-rata pada penampang runtuh (mm).

3. Metodologi Penelitian

Penelitian ini berupa uji eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Teknologi dan Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Prosedur Pengujian Material Agregat

Pemeriksaan material agregat beton merupakan syarat yang harus dilakukan sebelum material tersebut digunakan, tujuannya untuk mengetahui material tersebut layak atau tidak layak digunakan. Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Hasil pengujian agregat halus

Pengujian	Hasil pengujian	Satuan
Berat jenis curah kering	2,43	-
Berat jenis jenuh kering permukaan	2,54	-
Berat jenis semu	2,75	-
Penyerapan air	4,83	%
Kadar air	6,17	%
Kadar lumpur	2	%
Modulus halus butir (MHB)	2,75	-

Tabel 2. Hasil pengujian agregat kasar

Pengujian	Hasil pengujian	Satuan
Berat jenis curah kering	2,51	-
Berat jenis jenuh kering permukaan	2,58	-
Berat jenis semu	2,70	-
Penyerapan air	2,82	%
Keausan	32,87	%
Berat isi	1,54	Ton/m ³
Kadar air	3,71	%
Kadar lumpur	4,92	%

Mix Design

Uji eksperimen pada penelitian ini menggunakan perencanaan beton (*mix design*) dengan metode *ACI 211.1-19*. Dengan hasil berat komposisi material untuk 1 m³ adalah sebagai berikut.

- a. Berat air = 175,30 Kg
- b. Berat semen = 452,62 Kg
- c. Berat agregat halus (pasir) = 654,83 Kg
- d. Berat agregat kasar (kerikil) = 1078,08 Kg

Slump Test

Slump test merupakan salah satu pengujian beton segar untuk mengetahui konsistensi campuran agar diperoleh beton yang mudah dalam penuangan dan pemadatan di lapangan sehingga memenuhi syarat *workability*. Nilai *slump* yang diperoleh pada pengujian ini adalah sebesar 8 cm dengan batas nilai *slump* maksimal perencanaan sebesar 10 cm.

Pembuatan Benda Uji

Benda uji pada penelitian ini berupa balok dengan dimensi (150×150×600) mm dengan kondisi 2 pembuatan yang berbeda yaitu kondisi normal dan kondisi beton yang dipengaruhi adanya *cold joint*. Waktu jeda yang diberikan pada kondisi balok *cold joint* adalah selama 120 menit dan 240 menit.

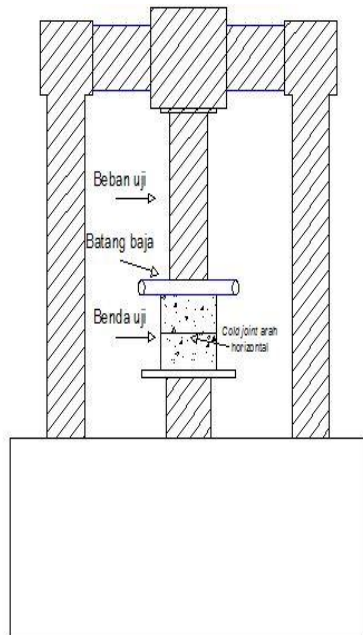
Perawatan Benda Uji

Menurut BSN (2011) benda uji beton harus dirawat basah pada temperatur 23°C±1,7°C mulai dari waktu pencetakan sampai saat pengujian dengan tempat perawatan bebas dari getaran selama 48 jam pertama perawatan. Perawatan bermaksud untuk mencegah gangguan pada saat proses hidrasi beton sehingga beton tidak mengalami keretakan karena kehilangan air yang begitu cepat.

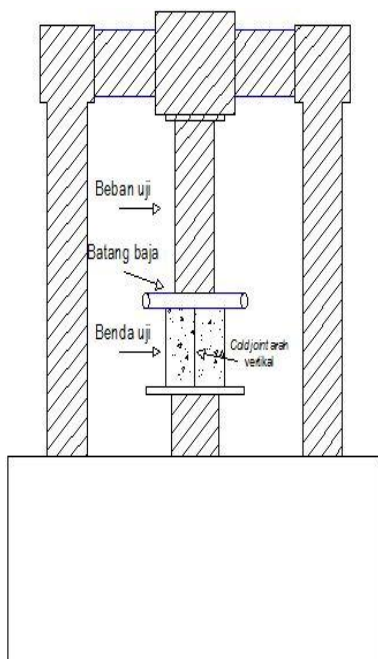
Pengujian Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur bertujuan untuk mengetahui kemampuan batas yang dimiliki beton untuk menerima beban secara maksimum. Pengujian dilakukan pada benda uji beton balok umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari menggunakan *Flexural machine test* merek *Hung ta* yang dibebani terpusat

langsung seperti pada Gambar 1 dan Gambar 2. Hipotesa awal hasil uji kuat lentur yaitu beton normal yang proses pengecorannya tidak memiliki waktu jeda sambungan pengecoran memiliki nilai kuat lentur lebih tinggi daripada benda uji yang mengalami kondisi *cold joint*.

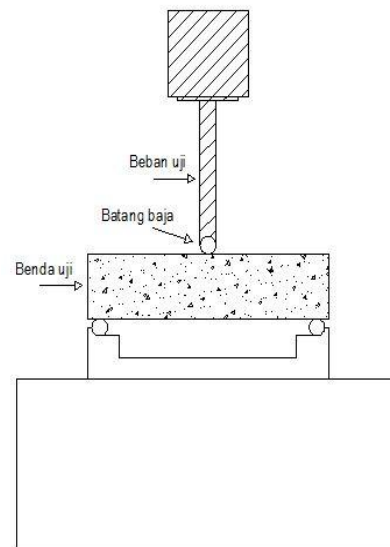


(a)



(b)

Gambar 1. Sketsa pengujian kuat lentur tampak depan (a) *cold joint* arah horizontal dan (b) *cold joint* arah vetikal



Gambar 2. Sketsa pegujian kuat lentur tampak samping

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil Kuat Lentur Balok Normal dan Balok Cold Joint

Berdasarkan pengujian kuat lentur balok normal dan balok *cold joint* yang dilakukan di Laboratorium didapatkan hasil kuat lentur untuk umur beda uji 7 hari, 14 hari, dan 28 hari dapat dilihat pada Tabel 3, Tabel 4, Tabel 5, Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 3. Hasil pengujian kuat lentur beton normal

No benda uji	Waktu jeda pengecoran (menit)	Umur benda uji (Hari)	Kuat lentur (MPa)	Kuat lentur rata-rata (MPa)
N 7.1		7	5,86	
N 7.2		7	5,66	5,76
N 14.1	0	14	6,31	
N 14.2		14	7,4	6,86
N 28.1		28	7,62	
N 28.2		28	7,89	7,76

Tabel 4. Hasil pengujian kuat lentur balok *cold joint* arah vertikal dengan waktu tunda pengecoran selama 120 menit

No benda uji	Waktu jeda pengecoran (menit)	Umur benda uji (Hari)	Kuat lentur (MPa)	Kuat lentur rata-rata (MPa)
CDV 1.7		7	4,76	
CDV 2.7		7	4,98	4,87
CDV 1.14	120	14	5,72	
CDV 2.14		14	6,06	5,88
CDV 1.28		28	7,1	
CHV 2.28		28	7,06	7,07

Tabel 5. Hasil pengujian kuat lentur balok *cold joint* arah horizontal dengan waktu tunda pengecoran selama 120 menit

No benda uji	Waktu jeda pengecoran (menit)	Umur benda uji (Hari)	Kuat lentur (MPa)	Kuat lentur rata-rata (MPa)
CDH 1.7	120	7	5,35	5,34
CDH 2.7		7	5,34	
CDH 1.14		14	7,38	6,77
CDH 2.14		14	6,17	
CDH 1.28		28	7,75	7,38
CDH 2.28		28	7	

Tabel 6. Hasil pengujian kuat lentur balok *cold joint* arah vertikal dengan waktu tunda selama 240 menit

No benda uji	Waktu jeda pengecoran (menit)	Umur benda uji (Hari)	Kuat lentur (MPa)	Kuat lentur rata-rata (MPa)
CDV 1.7	240	7	4,4	4,13
CDV 2.7		7	3,86	
CDV 1.14		14	4,28	5,41
CDV 2.14		14	6,54	
CDV 1.28		28	6,53	6,81
CDV 2.28		28	7,08	

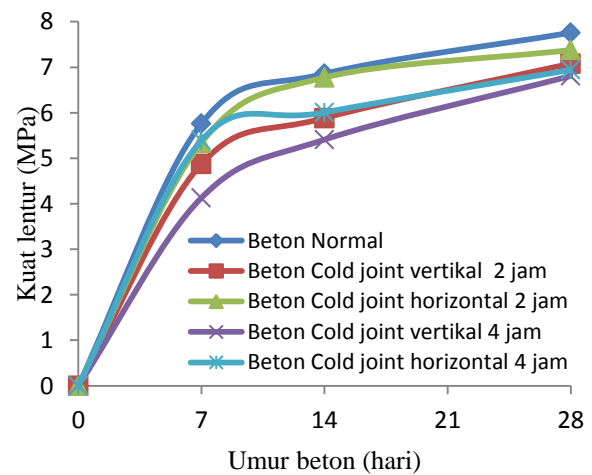
Tabel 7. Hasil pengujian kuat lentur *cold joint* arah horizontal dengan waktu tunda pengecoran selama 240 menit

No benda uji	Waktu jeda pengecoran (menit)	Umur benda uji (Hari)	Kuat lentur (MPa)	Kuat lentur rata-rata (MPa)
CDH 1.7	240	7	4,57	5,39
CDH 2.7		7	6,21	
CDH 1.14		14	6,21	6
CDH 2.14		14	5,8	
CDH 1.28		28	7,42	6,94
CDH 2.28		28	6,46	

Perbandingan Kuat Lentur Beton Normal dan Beton Cold Joint

Berdasarkan hasil pengujian kuat lentur balok beton yang telah dilakukan pada beton normal dan beton *cold joint* pada umur beton 7 hari, 14 hari dan 28 keduanya menunjukkan penambahan kekuatan lentur sering bertambahnya umur beton seperti pada Gambar 4. Perbandingan kuat lentur antara beton normal dan beton *cold joint* sesuai dengan perkiraan awal menunjukkan bahwa beton normal baik umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan dengan beton *cold joint*. Hasil

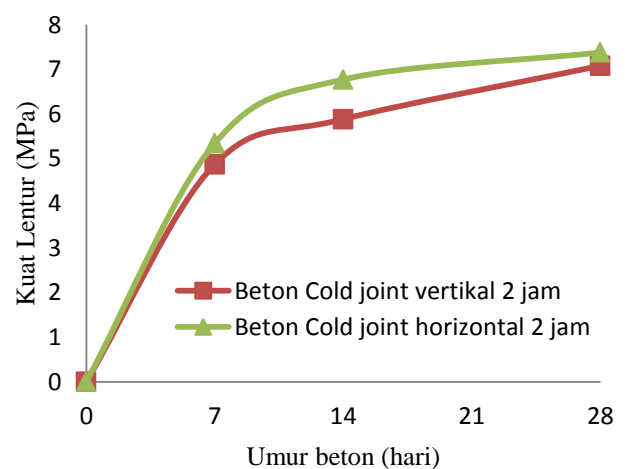
perbandingan yang paling mendekati terdapat pada beton *cold joint* dengan waktu jeda pengecoran 120 menit pada arah horizontal dengan nilai kuat lentur sebesar 5,34 MPa, 6,77 MPa dan 7,38 MPa yang dibandingkan dengan beton normal dengan nilai kuat lentur sebesar 5,76 MPa, 6,86 MPa dan 7,76 MPa.



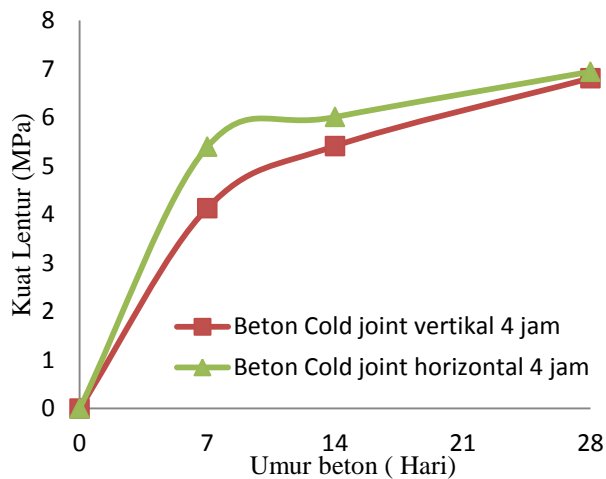
Gambar 3. Hubungan kuat lentur dan umur beton

Perbandingan Kuat Lentur Beton Cold Joint Arah Vertikal dan Arah Horizontal

Berdasarkan hasil analisis data hubungan kuat lentur dan umur beton pada waktu jeda pengecoran selama 2 jam dan 4 jam yang dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan bahwa *cold joint* arah horizontal memiliki nilai kuat lentur yang lebih baik dibandingkan dengan arah vertikal dengan penurunan kuat lentur sebesar 4,07% dan 2,01%.

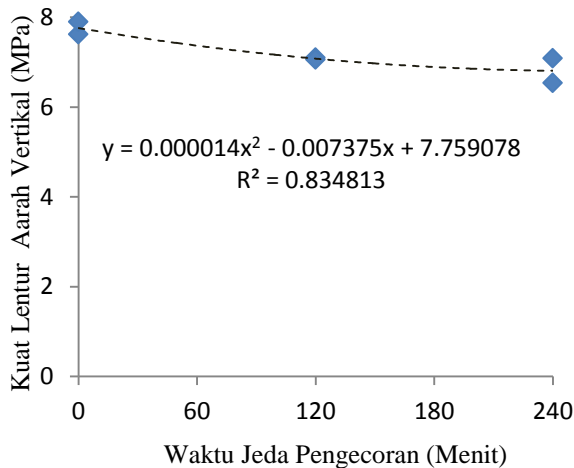


Gambar 4. Hubungan kuat lentur dan umur beton pada waktu jeda pengecoran 2 jam (120 menit)



Gambar 5. Hubungan kuat lentur dan umur beton pada waktu jeda pengecoran 4 jam (240 menit)

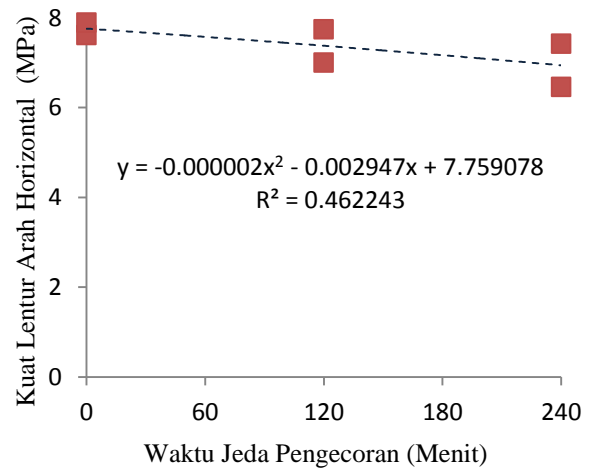
Hubungan Waktu Jeda Penuangan dan Kuat Lentur Beton



Gambar 6. Hubungan kuat lentur beton dan waktu jeda pengecoran cold joint pada umur beton 28 hari

Berdasarkan hasil analisis regresi polynomial data antara hubungan waktu jeda pengecoran dan kuat lentur beton cold joint arah vertikal seperti pada Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai kuat lentur mengalami penurunan seiring bertambah lamanya waktu jeda pengecoran dengan persamaan regresi yang didapat yaitu $y = 0,000014x^2 - 0,007375x + 7,759078$ dengan nilai R^2 sebesar 0,834813. Hasil tersebut menunjukkan kuat lentur beton cold joint vertikal dengan waktu jeda pengecoran 120 menit mengalami penurunan sebesar 8,77% dimana kuat lentur rata-rata sebesar 7,07 MPa dibandingkan dengan beton normal sebesar 7,75 MPa, sedangkan kuat lentur beton cold

joint vertikal dengan waktu jeda pengecoran 240 menit mengalami penurunan sebesar 12,25% dengan kuat lentur rata-rata sebesar 6,8 MPa.



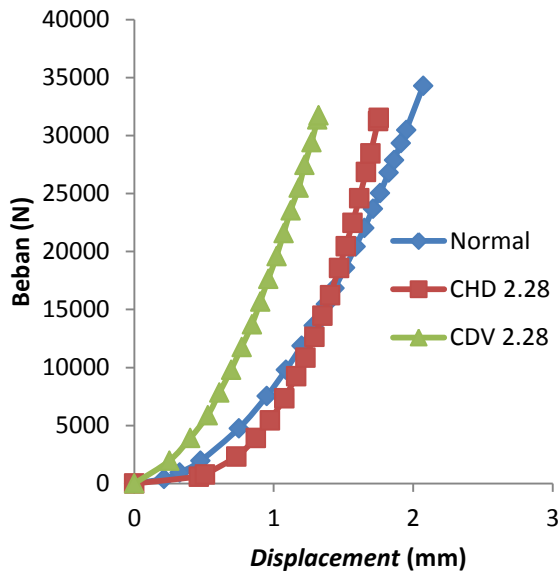
Gambar 7. Hubungan kuat lentur beton dan waktu jeda pengecoran cold joint pada umur beton 28 hari

Untuk hasil analisis regresi polynomial data antara hubungan waktu jeda pengecoran dan kuat lentur beton cold joint arah horizontal seperti pada Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai kuat lentur mengalami penurunan seiring bertambah lamanya waktu jeda pengecoran dengan persamaan regresi yang didapat yaitu $y = 0,000002x^2 - 0,002947x + 7,759078$ dengan nilai R^2 sebesar 0,462243. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kuat lentur beton cold joint horizontal dengan waktu jeda pengecoran 120 menit mengalami penurunan sebesar 4,90% dimana kuat lentur rata-rata sebesar 7,37 MPa dibandingkan dengan beton normal sebesar 7,75 MPa, sedangkan kuat lentur beton cold joint horizontal dengan waktu jeda pengecoran 240 menit mengalami penurunan sebesar 10,45% dimana kuat lentur rata-rata sebesar 6,94 MPa dibandingkan dengan beton normal sebesar 7,75 MPa.

Hubungan Beban dan Displacement Pada Beton Umur 28 Hari

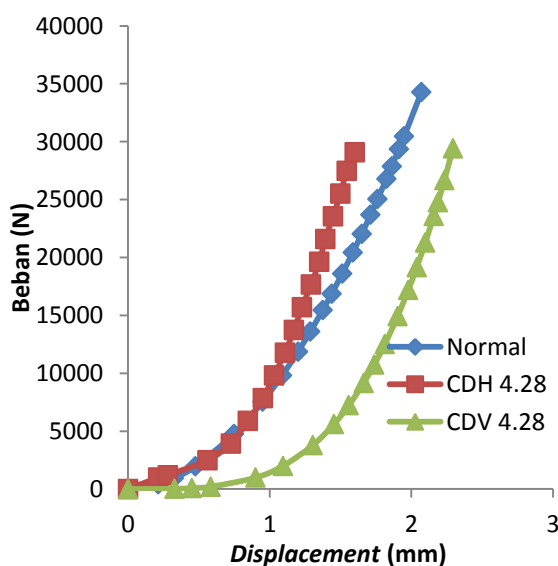
Hubungan antara beban dan displacement pada semua benda uji umur 28 hari menunjukkan pola kuva yang hampir sama, semakin bertambahnya beban maka displacement yang dihasilkan juga mengalami peningkatan yang hampir berbanding lurus. Hal ini disebabkan oleh benda uji yang digunakan adalah balok tanpa tulangan

sehingga nilai *displacement* yang dihasilkan relatif kecil.



Gambar 8. Hubungan beban dan *displacement* pada beton normal dan beton *cold joint* waktu jeda 120 menit umur 28 hari

Hasil analisis hubungan antara beban dan *displacement* pada beton normal dan beton *cold joint* waktu jeda 120 menit dengan arah vertikal dan horizontal seperti pada Gambar 8 menunjukkan beton normal memiliki *displacement* yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton *cold joint* dengan nilai *displacement* sebesar 2,072 mm, tidak jauh berbeda dengan *displacement* beton *cold joint* arah vertikal sebesar 1,322 mm dan beton *cold joint* arah horizontal sebesar 1,754 mm



Gambar 9. Hubungan beban dan *displacement* pada beton normal dan beton *cold joint* waktu jeda 240 menit umur 28 hari

Hasil analisis hubungan antara beban dan *displacement* pada beton normal dan beton *cold joint* waktu jeda 240 menit dengan arah vertikal dan horizontal seperti pada Gambar 9 menunjukkan beton *cold joint* arah vertikal memiliki nilai *displacement* yang lebih besar dengan nilai *displacement* 2.294 mm, tidak jauh berbeda dengan *displacement* beton normal sebesar 2,072 mm dan beton *cold joint* arah horizontal sebesar 1,602 mm.

Perbandingan Hasil Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Hasil penelitian yang dilakukan saat ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu jeda pengecoran maka kuat lentur beton akan mengalami penurunan kekuatan, hal ini terjadi karena waktu jeda pengecoran yang dilakukan pada penelitian ini melebihi waktu ikat awal yang berkisar 60 menit sampai 120 menit. Sedangkan pada penelitian terdahulu Rathi dan Kolase (2013) seperti pada Tabel 8 menunjukkan bahwa nilai kuat lentur meningkat seiring bertambahnya waktu jeda pengecoran sebelum sampai melebihi waktu pengaturan awal (75 menit), akan tetapi setelah melebihi waktu pengaturan awal nilai kuat lentur mengalami penurunan baik *cold joint* arah vertikal maupun arah horizontal.

Tabel 8. Nilai kuat lentur beton *cold joint* (Ratih dan Kolase, 2013)

Waktu jeda pengecoran (menit)	Kuat lentur (MPa)	
	Beton cold joint arah vertikal	Beton cold joint arah horizontal
0	12,39	12,39
45	12,45	13,1
75	12,95	13,82
120	10,23	10,95
180	9,45	9,03

Hasil perbandingan dari penelitian sekarang dan terdahulu dapat disimpulkan bahwa nilai kuat lentur dari kedua penelitian mengalami penurunan kekuatan karena pada saat waktu jeda pengecoran yang dilakukan tersebut melebihi waktu pengaturan awal. Nilai kuat lentur yang dihasilkan pada kedua penelitian menunjukkan bahwa *cold joint* arah horizontal sebagian besar memiliki hasil nilai kuat lentur yang lebih baik daripada arah vertikal.

5. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pengujian dapat disimpulkan sebagai berikut ini.

- a. Sesuai dengan hipotesa awal didapatkan bahwa hasil pengujian kuat lentur balok beton normal memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan dengan beton *cold joint* baik arah horizontal maupun arah vertikal.
- b. Hasil pengujian kuat lentur pada umur 28 hari balok *cold joint* arah horizontal memiliki hasil yang lebih baik daripada balok *cold joint* arah vertikal.
- c. Kuat lentur beton *cold joint* vertikal dengan waktu jeda pengecoran 120 menit dan 240 menit mengalami penurunan kekuatan masing-masing sebesar 8,77% dan 12,25% dimana kuat lentur rata-rata sebesar 7,07 MPa dan 6,8 MPa dibandingkan dengan beton normal sebesar 7,75 MPa. Untuk kuat lentur beton *cold joint* horizontal dengan waktu jeda pengecoran 120 menit dan 240 menit dibandingkan beton normal mengalami penurunan sebesar 4,90% dan 10,45% dengan kuat lentur rata-rata sebesar 7,37 MPa dan 6,94 MPa.

6. Daftar Pustaka

- Ahmed, M., Hadi, K. M. El, Hasan, M. A., Mallick, J., dan Ahmed, A. (2014). Evaluating the co-relationship between concrete flexural tensile strength and compressive strength. *International Journal of Structural Engineering*, 5(2), 115.
- Ahmed, M., Mallick, J., dan Abul Hasan, M. (2016). A study of factors affecting the flexural tensile strength of concrete. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 28(2), 147–156.
- Al-mamoori, F. H. N., dan Al-mamoori, A. H. N. (2018). Reduce the Influence of Horizontal and Vertical Cold Joints on the Behavior of High Strength Concrete Beam Casting in Hot Weather by Using Sugar Molasses. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4-19), 794–800.
- BSN. (1993). SNI 03-2834-1993 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*. Jakarta.
- BSN. (1996). SNI 03-4154-1996 Metode Pengujian Kuat Lentur beton dengan Balok Uji Sederhana yang Dibebani Terpusat Langsung. *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*. Jakarta.
- BSN. (2011). SNI 2493-2011 Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji di Laboratorium. *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*. Jakarta.
- Illangakoon, G. B., Asamoto, S., Nanayakkara, A., dan Nguyen Trong, L. (2019). Concrete cold joint formation in hot weather conditions. *Construction and Building Materials*, 209, 406–415.
- Manangin, Irmawati Indahriani, Marthin D. J. Sumajouw, M. M. (2015). Pengaruh variasi dimensi benda uji terhadap kuat lentur balok beton bertulang. *Jurnal Sipil Statik*, 3(9), 613–620.
- Pane, F. P., Tanudjaja, H., dan Windah, R. S. (2015). Pengujian kuat tarik lentur beton dengan variasi kuat tekan beton. *Jurnal Sipil Statik*, 5(5), 313–321.
- Rathi, V. R., dan Kolase, P. K. (2013). Effect of Cold Joint on Strength Of Concrete. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2(9), 4671–4679.
- Roy, B., dan Laskar, A. I. (2017). Cyclic behavior of in-situ exterior beam-column subassemblies with cold joint in column. *Engineering Structures*, 132, 822–833.
- Tarigan, G. (2019). Perbandingan kekuatan lentur pada balok beton bertulang yang dicor secara berlapis dengan mutu berbeda. *Buletin Utama Teknik*, 14(2), 140–148.
- Torres, A., Canon, A. R., Sarmiento, F. P., dan Diaz, M. B. (2016). Mechanical Behavior Of Concrete Cold Joints. *Revista Ingenieria de Construcción*, 31(3), 151–162.