

Uji Eksperimental Kuat Lentur Awal pada Balok Beton Akibat Pengaruh *Cold Joint*

Experimental Test of Early Bending Strength in Concrete Beams due to Cold Joint Effect

Yoraga Dian Citra, Fadillawaty Saleh, Fanny Monika, Hakas Prayuda

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Sambungan dingin adalah bagian dari beton yang tidak dirawat, disebabkan oleh hambatan selama pengecoran yang mempengaruhi kinerja sistem struktural. Sambungan dingin terbentuk karena lamanya waktu yang ditentukan untuk pengecoran beton. Cara mencegah cold joint adalah dengan mengatur interval casting sehingga lapisan atas menjadi monolith dengan lapisan bawah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan lentur balok karena pengaruh sambungan dingin menggunakan metode eksperimental. Spesimen ini terdiri dari balok beton bertulang normal (sampel kontrol), balok beton sambungan dingin vertikal dan horisontal menggunakan metode campuran beton, mengacu pada desain campuran ACI 211.1-19 dengan penambahan campuran *bestmittel*. Waktu istirahat untuk menuangkan beton yang digunakan dalam proses pembuatan spesimen sambungan dingin terdiri dari 120 dan 240 menit. Uji kuat lentur spesimen dilakukan pada 3, 7 dan 28 hari setelah proses curing beton. Hasil uji kekuatan lentur menunjukkan bahwa dalam ketiga jenis spesimen uji, semakin lama usia beton, semakin tinggi nilai kekuatan lenturnya. Hasil perbandingan antara beton normal dan sambungan dingin menunjukkan bahwa pengaruh sambungan dingin dapat mengurangi kekuatan lentur balok. Kekuatan lentur sambungan dingin vertikal dengan waktu jeda 120 dan 240 menit menurun 10,3% dan 12,4% sedangkan yang horizontal dengan waktu jeda 120 dan 240 menit menurun masing-masing sebesar 5,9% dan 10,2%.

Kata-kata kunci: balok, *bestmettel*, beton, *cold joint* dan kuat lentur.

Abstract. Cold joints are parts of concrete that are not treated, caused by obstacles during casting which affect the performance of the structural system. Cold joints are formed due to the length of time specified for concrete casting. How to prevent cold joints is to set the casting interval so that the top layer becomes a monolith with the bottom layer. This study aims to analyze the flexural strength of beams due to the influence of cold joints using experimental methods. This specimen consists of normal reinforced concrete beams (control samples), vertical and horizontal cold joints concrete beams using the concrete mix method, referring to the ACI 211.1-19 mixture design with the addition of the *bestmittel* mixture. Break time for pouring concrete used in the process of making cold junction specimens consists of 120 and 240 minutes. The flexural strength test of the specimen is carried out at 3, 7 and 28 days after the concrete curing process. The flexural strength test results show that in the three types of test specimens, the longer the concrete age, the higher the flexural strength value. The result of comparison between normal concrete and cold joints shows that the influence of cold joints can reduce the flexural strength of the beam. The flexural strength of vertical cold joints with a pause time of 120 and 240 minutes decreased by 10.3% and 12.4% while the horizontal ones with a break time of 120 and 240 minutes decreased by 5.9% and 10.2%, respectively.

Key words : beams, bestmettel. concrete, cold joint and flexural strength.

1. Pendahuluan

Pembangunan konstruksi di Indonesia saat ini terbilang cukup pesat seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk terutama pada kota-kota besar. Untuk dapat menunjang pertumbuhan ini membutuhkan sarana dan prasarana terutama bangunan rumah dan gedung yang menggunakan bahan konstruksi berupa beton. Salah satu kendala bahan dasar yang menggunakan beton ialah kondisi cuaca yang 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. 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.

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 yang 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. 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. Rathi dan Kolase (2013) melakukan penelitian tentang pengaruh kekuatan sambungan dingin beto yang menggunakan gula sebagai zat perlambat. Duan dkk. (2016) melakukan penelitian tentang bahan anti air, pengaturan cepat dan perbaikan awal kekuatan tinggi yang berasal dari *metakaolin geopolimer*. Karakteristik penyerapan air yang sangat rendah dibandingkan dengan *geopolimer* dengan penyerapan air 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. 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 ijinakan untuk menghasilkan beton dengan semen kekuatan awal tinggi. 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 $50 \pm 5^\circ\text{C}$. Pada kisaran ini sesuai dengan suhu campuran yang disarankan (maksimum 21°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. Pane dkk. (2015) melakukan penelitian mengenai pengujian kuat tarik lentur beton dengan variasi kuat tekan beton untuk mengetahui hubungan perbandingan antara kuat tekan beton dan kuat tarik lentur 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). 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. 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.

Pada hal ini dilakukan pengujian dengan pengaruh *cold joint* terhadap kuat lentur pada beton berkekuatan awal tinggi tanpa tulangan dengan campuran beton yang sudah diperhitungkan dan ditambahkan zat adiktif (*Bestmittel*) lalu dilakukan pengujian kuat tekan dan kuat lentur yang diharapkan mendapatkan hasil yang maksimum atau tinggi di awal pada kondisi *cold joint*.

2. Landasan Teori

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, 2002).

Sambungan Dingin (Cold Joint)

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, 2007).

Bestmittel

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

Kuat Lentur

Menurut BSN (2011) kuat lentur merupakan kemampuan beton untuk menahan beban atau gaya dengan arah tegak lurus terhadap beton dalam satuan *Mega Pascal* (MPa) per satuan luas. Menurut BSN (2011) hasil pengujian kuat lentur dapat dihitung menggunakan Persamaan berikut.

$$\sigma_1 = \frac{PL}{bh^2} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

- σ_1 = kuat lentur (MPa),
- P = beban maksimal yang terbaca oleh mesin (N),
- L = jarak antara dua garis perletakan (mm),
- b = lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm), dan
- h = lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm).

3. Metodologi Penelitian

Penelitian ini berupa uji eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Teknologi Bahan Konstruksi, Program Studi 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.

1. Berat air = 130,200 L
2. Berat semen = 439,229 Kg
3. Berat agregat halus (pasir) = 633,492 Kg
4. Berat agregat kasar (kerikil) = 1039,50 Kg
5. Bestmettel = 2,196 L

Slump Test

Slump test merupakan salah satu pengujian beton segar untuk mengetahui konsistensi campuran agar diperoleh beton yang mudah dalam penuangan dan pematatan 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

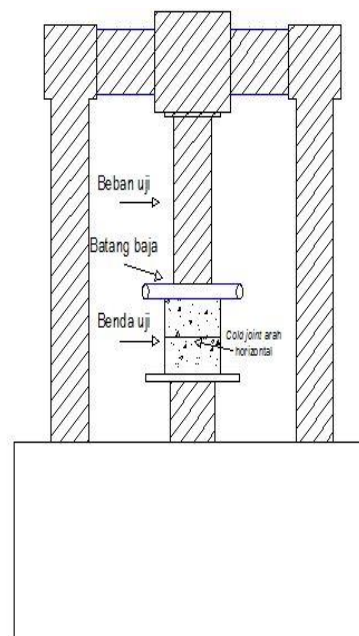
yaitu kondisi normal dan kondisi beton yang dipengaruhi adanya *cold joint*. Waktu jeda yang diberikan pada kondisi balok *cold joint* adalah selama 120 menit dan 240 menit.

Perawatan Benda Uji

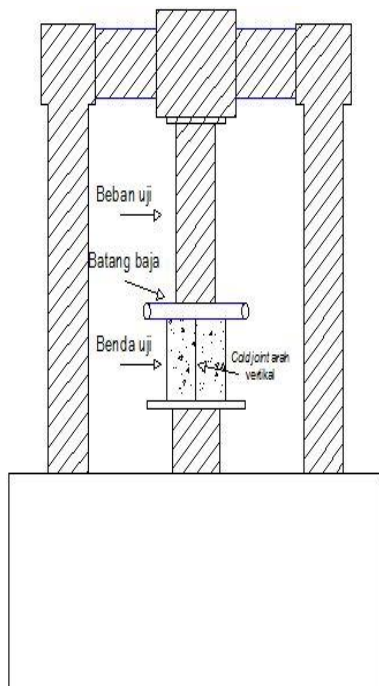
Perawatan benda uji (*curing*) dilakukan dengan cara merendam beton ke dalam air. Perendaman dilakukan setelah benda uji beton sudah mengeras secara sempurna (*final setting*).

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 3 hari, 7 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*.

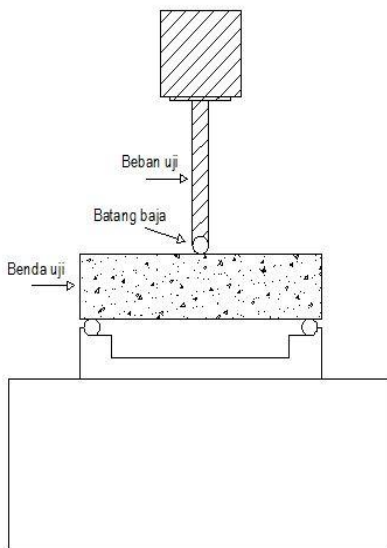


(a)



(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 3 hari, 7 hari, dan 28 hari

dapat dilihat pada Tabel 3, Tabel 4, Tabel 5, Tabel 6 dan Tabel 7 dibawah ini.

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 3.1		3	6,64	6,47
N 3.2		3	6,31	
N 7.1	0	7	6,77	7,19
N 7.2		7	7,62	
N 28.1		28	7,89	8,07
N 28.2		28	8,24	

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 1.3	120	3	5,88	5,72
CDV 2.3		3	5,55	
CDV 1.7		7	6,68	6,66
CDV 2.3		7	6,64	
CDV 1.28		28	7,1	7,24
CHV 2.28		28	7,38	

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 1.3	120	3	6,20	6,06
CDH 2.3		3	5,92	
CDH 1.7		7	6,87	6,88
CDH 2.7		7	7,13	
CDH 1.28		28	7,75	7,59
CDH 2.28		28	7,44	

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

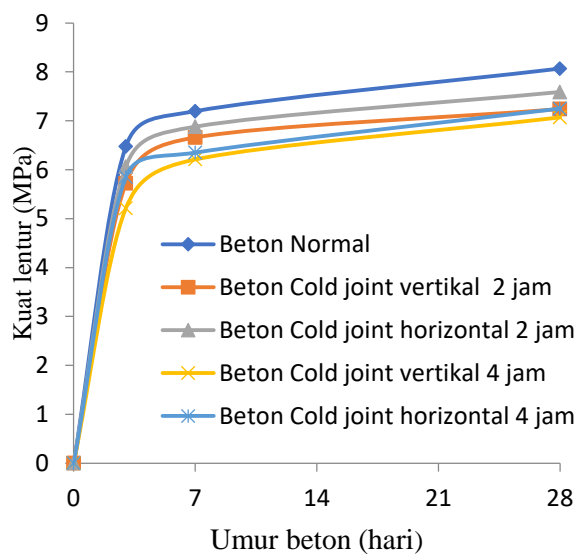
No benda uji	Waktu jeda pengecoran (menit)	Umur benda uji (Hari)	Kuat lentur (MPa)	Kuat lentur rata-rata (MPa)
CDV 1.3	240	3	5,07	5,21
CDV 2.3		3	5,35	
CDV 1.7		7	6,21	6,21
CDV 2.7		7	6,22	
CDV 1.28		28	7,08	7,07
CDV 2.28		28	7,05	

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 1.3	240	3	5,79	5,85
CDH 2.3		3	5,92	
CDH 1.7		7	6,35	6,35
CDH 2.7		7	6,34	
CDH 1.28		28	7,24	7,25
CDH 2.28		28	7,08	

Perbandingan Kuat Lentur Beton Normal dan Beton Cold Joint

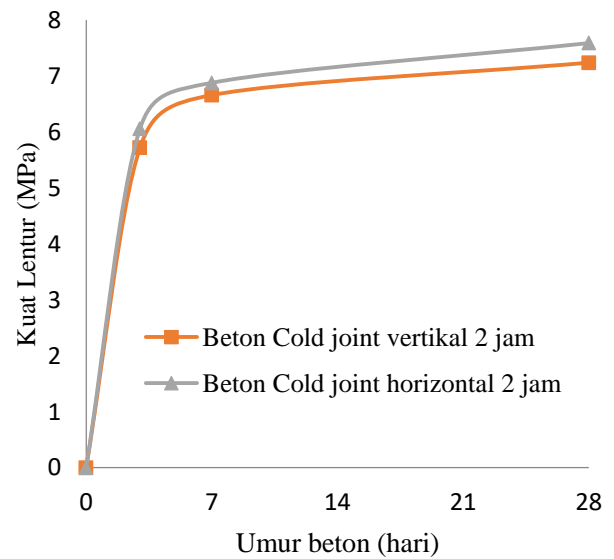
Berdasarkan hasil pengujian kuat lentur balok beton yang telah dilakukan pada beton normal dan beton *cold joint* pada umur beton 3 hari, 7 hari dan 28 keduanya menunjukkan penambahan kekuatan lentur sering bertambahnya umur beton seperti pada Gambar 4. Perbandingan kuat lentur antara beton normal dan beton *cold joint* sesuai dengan perkiraan awal menunjukkan bahwa beton normal baik umur 3 hari, 7 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 6,06 MPa, 6,88 MPa dan 7,59 MPa yang dibandingkan dengan beton normal dengan nilai kuat lentur sebesar 6,47 MPa, 7,19 MPa dan 8,07 MPa.



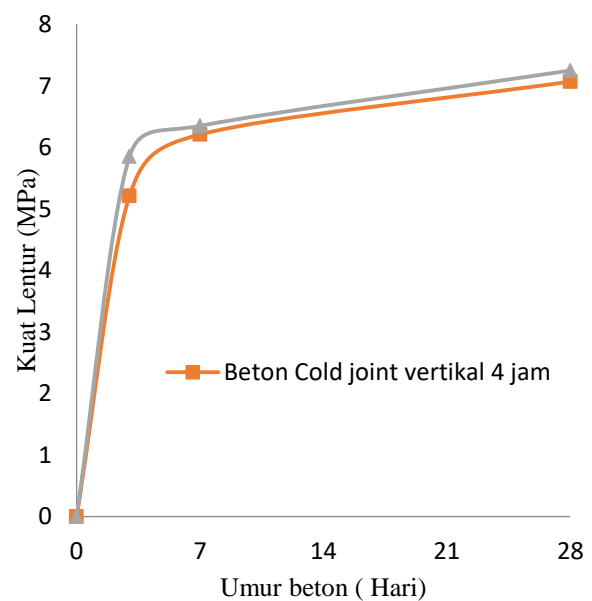
Gambar 3. Hubungan kuat lentur dan umur beton

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%.

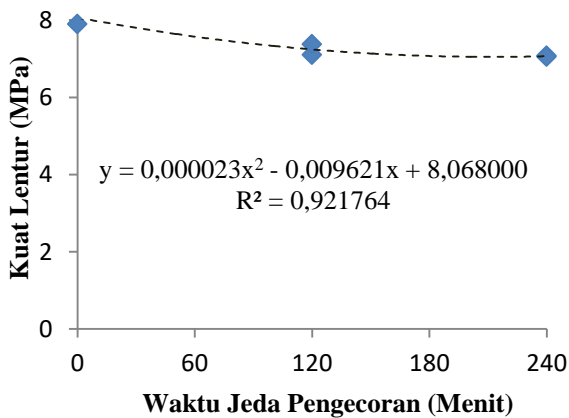


Gambar 4. Hubungan kuat lentur dan umur beton pada waktu jeda pengecoran 2 jam (120 menit)



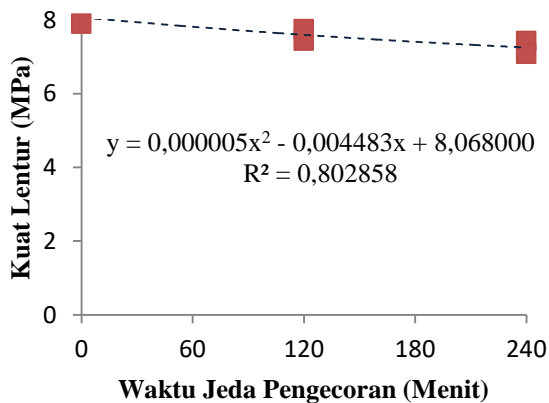
Gambar 5. Hubungan kuat lentur dan umur beton pada waktu jeda pengecoran 4 jam (240 menit)

Hubungan Waktu Jeda Penuangan dan Kuat Lentur Beton



Gambar 6. Hubungan kuat lentur beton *cold joint* dengan waktu jeda pengecoran 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 $y = 0,000023x^2 - 0,009621x + 8,068$ dengan nilai R^2 sebesar 0,921764. Hasil tersebut menunjukkan kuat lentur beton *cold joint* vertikal dengan waktu jeda pengecoran 120 menit mengalami penurunan sebesar 10,3% dimana kuat lentur rata-rata sebesar 7,24 MPa dibandingkan dengan beton normal sebesar 8,07 MPa, sedangkan kuat lentur beton *cold joint* vertikal dengan waktu jeda pengecoran 240 menit mengalami penurunan sebesar 12,4% dengan kuat lentur rata-rata sebesar 7,07 MPa.

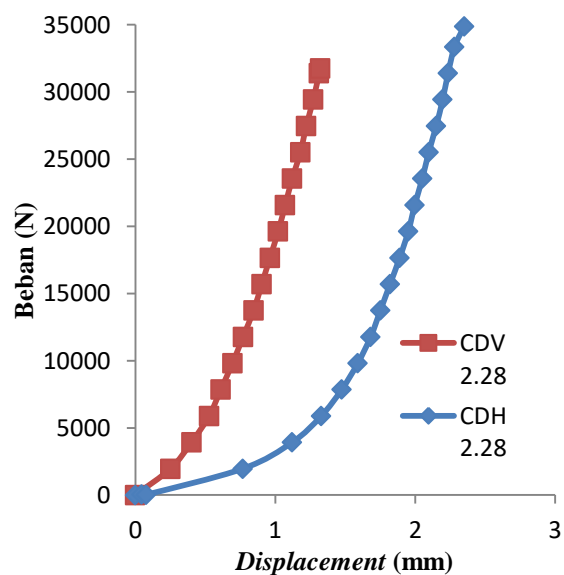


Gambar 7. Hubungan kuat lentur *cold joint* dengan waktu jeda pengecoran pada umur beton 28 hari

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 $y = 0,000005x^2 - 0,004483x + 8,068$ dengan nilai R^2 sebesar 0,802858. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kuat lentur beton *cold joint* horizontal dengan waktu jeda pengecoran 120 menit mengalami penurunan sebesar 5,90% dimana kuat lentur rata-rata sebesar 7,59 MPa dibandingkan dengan beton normal sebesar 8,07 MPa, sedangkan kuat lentur beton *cold joint* horizontal dengan waktu jeda pengecoran 240 menit mengalami penurunan sebesar 10,2% dimana kuat lentur rata-rata sebesar 7,25 MPa dibandingkan dengan beton normal sebesar 8,07 MPa.

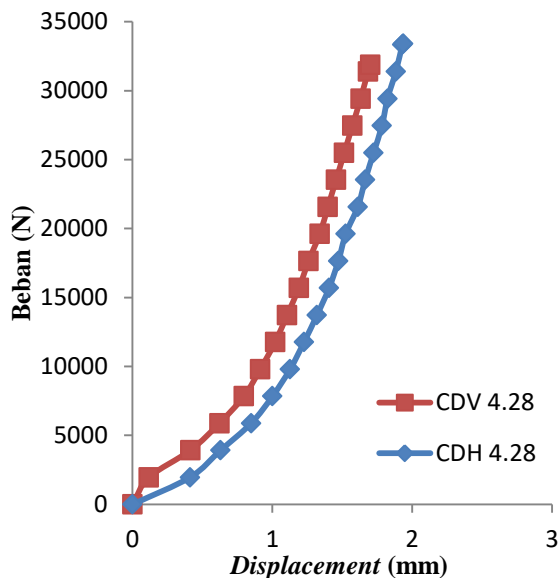
Hubungan Beban dan Displacement Pada Beton Umur 28 Hari

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* beton normal dan beton *cold joint* waktu jeda 120 menit pada umur 28 hari

Hasil analisis hubungan antara beban dan *displacement* pada beton *cold joint* waktu jeda 120 menit dengan arah vertikal dan horizontal seperti pada Gambar 8 menunjukkan beton memiliki *displacement* beton *cold joint* arah vertikal sebesar 1,322 mm dan beton *cold joint* arah horizontal sebesar 2,3 mm



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

Hasil analisis hubungan antara beban dan *displacement* pada beton *cold joint* waktu jeda 240 menit dengan arah vertikal dan horizontal seperti pada Gambar 9 menunjukkan beton memiliki *displacement* beton *cold joint* arah vertikal sebesar 1,6 mm dan beton *cold joint* arah horizontal sebesar 1,98 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 & 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 & 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.

1. Pengaruh kuat lentur beton berkekuatan awal tinggi dengan kondisi *cold joint* pada umur 28 hari dengan waktu jeda pengecoran 120 menit arah horizontal yang dibandingkan dengan vertikal memiliki nilai kuat lentur yang lebih baik sebesar 4,61%. Hasil pada umur 28 hari dengan waktu jeda pengecoran 240 menit arah horizontal yang dibandingkan dengan vertikal memiliki nilai kuat lentur yang lebih baik sebesar 2,48%. Sesuai dengan hipotesa awal bahwa beton berkekuatan awal tinggi dengan kondisi *cold joint* arah horizontal memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan dengan beton dalam kondisi *cold joint* vertikal.
2. Pengaruh kuat lentur beton *cold joint* vertikal dengan waktu jeda pengecoran 120 menit dan 240 menit mengalami penurunan kekuatan masing-

masing sebesar 10,3% dan 12,4% dimana kuat lentur rata-rata sebesar 7,24 MPa dan 7,07 MPa dibandingkan dengan beton normal (waktu jeda pengecoran 0 menit) sebesar 8,07 MPa. Kuat lentur beton *cold joint* horizontal dengan waktu jeda pengecoran 120 menit dan 240 menit mengalami penurunan sebesar 5,90% dan 10,2% dimana kuat lentur rata-rata sebesar 7,59 MPa dan 7,25 MPa dibandingkan dengan beton normal (waktu jeda pengecoran 0 menit) sebesar 8,07 MPa.

6. Daftar Pustaka

- Ahmed, M., Hadi, K. M. El, Hasan, M. A., Mallick, J., & 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., & 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., & 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., & 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., & Windah, R. S. (2015). Pengujian kuat tarik lentur beton dengan variasi kuat tekan beton. *Jurnal Sipil Statik*, 5(5), 313–321.
- Rathi, V. R., & 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., & 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., & Diaz, M. B. (2016). Mechanical Behavior Of Concrete Cold Joints. *Revista Ingenieria de Construcción*, 31(3), 151–162.