

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Agregat

Hasil pengujian agregat kasar dan agregat halus yang dilakukan di Laboratorium Struktur Program Studi Teknik Sipil, fakultas teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta (UMY) mendapatkan hasil pengujian sebagai berikut ini.

4.1.1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian ini bertujuan untuk menghitung volume yang ditempati agregat perencanaan campuran beton. Hasil dari pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus, diperoleh penyerapan air sebesar 4,83% , berat jenis semu (*apparent specific gravity*) sebesar 2,75, berat jenis jenuh kering permukaan (*saturated surface dry*) sebesar 2,54, dan berat jenis curah kering (*bulk specific gravity*) sebesar 2,43. Data hasil pengujian dan analisis perhitungan dapat dilihat pada lampiran 2.

4.1.2. Pengujian Kadar Lumpur

Pengujian kadar lumpur ini bertujuan untuk mengetahui persentase kandungan lumpur yang terdapat didalam agregat halus tersebut dan menentukan apakah agregat halus tersebut baik atau tidak digunakan untuk campuran beton. Kadar lumpur yang berlebih dapat menurunkan kekuatan dan ketahanan beton. Maka mutu beton yang direncanakan tidak terpenuhi atau jelek. Hasil yang didapatkan dalam pengujian kadar lumpur agregat halus yang dilakukan yaitu sebesar 2% di mana hasilnya lebih rendah dari yang disyaratkan yaitu sebesar 5%. Data hasil pengujian dan analisis hitungan kadar lumpur agregat halus dapat dilihat pada lampiran 3.

4.1.3. Pengujian Analisis Saringan

Pengujian analisis saringan ini bertujuan untuk menentukan ukuran butiran pada agregat yang diperlukan untuk dalam perencanaan adukan beton (*mix design*). Data distribusi butiran diperlukan dalam perencanaan campuran beton (*mix design*) untuk menentukan nilai modulus halus butir (MHB). Modulus halus

butir (MHB) adalah suatu indeks yang digunakan untuk mengukur kehalusan atau kekasaran butiran agregat, semakin besar nilai modulus halus butir maka semakin besar butiran agregatnya. Pengujian analisis saringan mendapatkan hasil rata – rata sebesar 2,75. Data hasil pengujian dan analisis hitungan dapat dilihat pada lampiran 4.

4.1.4. Pengujian Kadar air

Kadar air adalah perbandingan antara berat agregat dalam keadaan jenuh air dengan berat agregat dalam kondisi kering. Nilai kadar air digunakan untuk koreksi jumlah takaran air yang diperlukan pada perencanaan campuran beton. Berdasarkan pengujian agregat dilaboratorium, nilai kadar air untuk agregat kasar adalah sebesar 3,71% sedangkan agregat halus memiliki kadar air sebanyak 6,17%.

4.1.5. Pengujian Keausan (*Los Angeles*)

Pengujian keausan agregat dilakukan dengan menggunakan percobaan abrasi *Los Angeles*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui gambaran kekuatan agregat kasar (kerikil) selama proses penumpukan, pemindahan dan pengangkutan agregat itu sendiri. Nilai yang diperoleh dari hasil pengujian keausan ini berupa prosentase antara berat bagian yang halus (lewat lubang ayakan 2 mm) setelah pengujian dan berat semula sebelum pengujian. Berdasarkan pengujian keausan yang dilakukan maka didapatkan nilai keausan rata-rata sebesar 32,87 % dengan persyaratan maksimal keausan sebesar 40 %.

4.1.6. Pengujian Berat Isi

Berat isi merupakan rasio antara berat agregat dan isi/volume. Pengujian berat isi menggunakan agregat kasar diperlukan untuk perencanaan campuran beton untuk menentukan berat agregat dengan ukuran volume yang digunakan. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium diperoleh berat isi rata-rata agregat kasar sebesar 1,54 ton/m³ atau 93,64 lb/ft³.

Tabel 4. 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 4. 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	%

4.2. Hasil Pengujian *Slump Test*

Pada setiap pekerjaan beton, sebelum beton dituangkan kedalam cetakan maka beton segar harus diuji terlebih dahulu. Salah satu pengujian yang dilakukan untuk mengetahui tingkat *workability* campuran beton segar adalah *slump test*. Hasil pengujian *slump* diperoleh dari hasil pengukuran jarak permukaan beton sampai bagian atas cetakan kerucut *abrams*. Semakin besar nilai *slump* maka tingkat *workability* campuran tersebut semakin baik, akan tetapi nilai tersebut harus tidak boleh melampaui batas maksimal dari nilai persyaratan yang telah ditetapkan. Nilai *slump* yang diperoleh pada pengujian ini adalah sebesar 8 cm yang berarti nilai tersebut sesuai dengan perancangan *mix design* dengan batas nilai *slump* maksimal sebesar 10 cm. Pengujian *slump* dapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4. 1 Nilai *slump test* campuran beton.

4.3. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Berdasarkan pengujian kuat tekan beton normal berbentuk kubus yang dilakukan di Laboratorium didapatkan hasil kuat lentur rata-rata untuk umur beda uji 7 hari, 14 hari, dan 28 hari adalah masing-masing sebesar 28,54 MPa, 38,93 MPa dan 42,78 MPa. Hasil pengujian kuat lentur beton normal dapat dilihat pada Tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4. 3 Hasil pengujian kuat tekan beton normal

No. Benda Uji	Waktu Jeda Pengecoran (Menit)	Umur Benda Uji (Hari)	Beban Puncak (Kg)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
N10			63860	27,84	
N9		7	66570	29,02	28,54
N7			65980	28,77	
N6			94080	41,02	
N5	0	14	82950	36,17	38,93
N4			90845	39,61	
N3			103640	45,19	
N2		28	95210	41,51	42,78
N1			95530	41,65	

4.4. Hasil Pengujian Kuat Lentur

Berdasarkan pengujian kuat lentur balok normal yang dilakukan di Laboratorium didapatkan hasil kuat lentur rata-rata untuk umur beda uji 3 hari, 7 hari, dan 28 hari adalah masing-masing sebesar 6,473 MPa, 7,197 MPa dan 8,068 MPa. Hasil pengujian kuat lentur beton normal dapat dilihat pada Tabel 4.4 dibawah ini.

Tabel 4. 4 Hasil pengujian kuat lentur beton normal

No benda uji	Waktu jeda pengecoran (menit)	Umur benda uji (Hari)	Beban puncak (Kg)	Kuat lentur (MPa)	Kuat lentur rata-rata (MPa)
Normal 3.1		3	3044,09	6,636	
Normal 3.2		3	2894,68	6,310	6,473
Normal 7.1	0	7	3107,58	6,774	7,197
Normal 7.2		7	3495,34	7,619	
Normal 28.1		28	3623,08	7,898	8,068
Normal 28.2		28	3779,29	8,238	

Pengujian kuat lentur pada balok beton *cold joint* arah vertikal dengan waktu jeda pengecoran selama 120 menit didapatkan nilai kuat lentur rata-rata pada umur 3 hari, 7 hari dan 28 hari masing-masing sebesar 5,72 MPa, 6,66 MPa dan 7,24 MPa seperti pada Tabel 4.5 sedangkan untuk balok beton *cold joint* arah horizontal pada waktu jeda pengecoran 120 menit dengan umur beton 3 hari, 7 hari dan 28 hari didapatkan nilai kuat lentur masing-masing sebesar 6,06 MPa, 6,88 MPa dan 7,59 MPa dapat dilihat pada Tabel 4.6

Tabel 4. 5 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)	Beban puncak (Kg)	Kuat lentur (MPa)	Kuat lentur rata-rata (MPa)
CDV 2.1.3		3	2696,65	5,88	5,72
CDV 2.2.3		3	2547,24	5,55	
CDV 2.1.7	120	7	3062,74	6,68	6,66
CDV 2.2.7		7	3044,09	6,64	
CDV 2.1.28		28	3257,5	7,1	7,24
CDV 2.2.28		28	3358,49	7,38	

Tabel 4. 6 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)	Beban puncak (Kg)	Kuat lentur (MPa)	Kuat lentur rata-rata (MPa)
CDH 2.1.3		3	2843,53	6,20	6,06
CDH 2.2.3		3	2716,05	5,92	
CDH 2.1.7	120	7	3152,68	6,87	6,88
CDH 2.2.7		7	3268,58	7,13	
CDH 2.1.28		28	3554,55	7,75	7,59
CDH 2.2.28		28	3410,94	7,44	

Berdasarkan pengujian didapatkan kuat lentur pada balok beton *cold joint* arah vertikal dengan waktu jeda selama 240 menit didapatkan nilai kuat lentur rata-rata pada umur 3 hari, 7 hari dan 28 hari masing-masing sebesar 5,21 MPa, 6,21 MPa dan 7,07 MPa seperti pada Tabel 4.7 sedangkan untuk balok beton *cold joint* arah horizontal pada waktu jeda 240 menit dengan umur beton yang sama didapatkan nilai kuat lentur masing-masing sebesar 5,85 MPa, 6,35 MPa dan 7,25 MPa seperti pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 7 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)	Beban puncak (Kg)	Kuat lentur (MPa)	Kuat lentur rata-rata (MPa)
CDV 4.1.3	240	3	2326,03	5,07	5,21
CDV 4.2.3		3	2452,51	5,35	
CDV 4.1.7		7	2849,33	6,21	6,21
CDV 4.2.7		7	2851,85	6,22	
CDV 4.1.28		28	3248,68	7,08	7,07
CDV 4.2.28		28	3236,84	7,05	

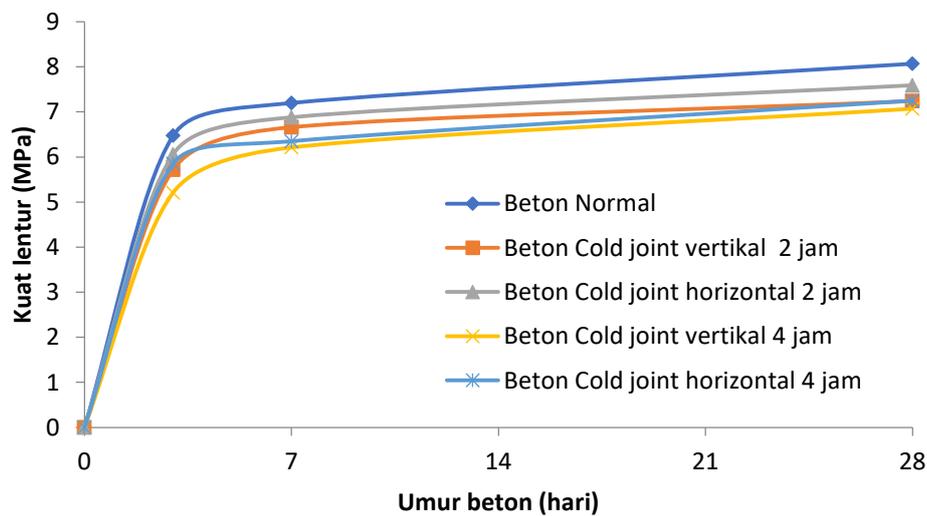
Tabel 4. 8 Hasil pengujian kuat lentur *cold joint* arah horizontal dengan waktu tunda pengecoran selama 240 menit

No benda uji	Waktu jeda pengecoran (menit)	Umur benda uji (Hari)	Beban puncak (Kg)	Kuat lentur (MPa)	Kuat lentur rata-rata (MPa)
CDH 4.1.3	240	3	2656,34	5,79	5,85
CDH 4.2.3		3	2713,53	5,92	
CDH 4.1.7		7	2913,33	6,35	6,35
CDH 4.2.7		7	2910,31	6,34	
CDH 4.1.28		28	3405,39	7,42	7,25
CDH 4.2.28		28	3248,68	7,08	

4.4.1. Perbandingan Kuat Lentur Beton Normal dan Beton Cold Joint

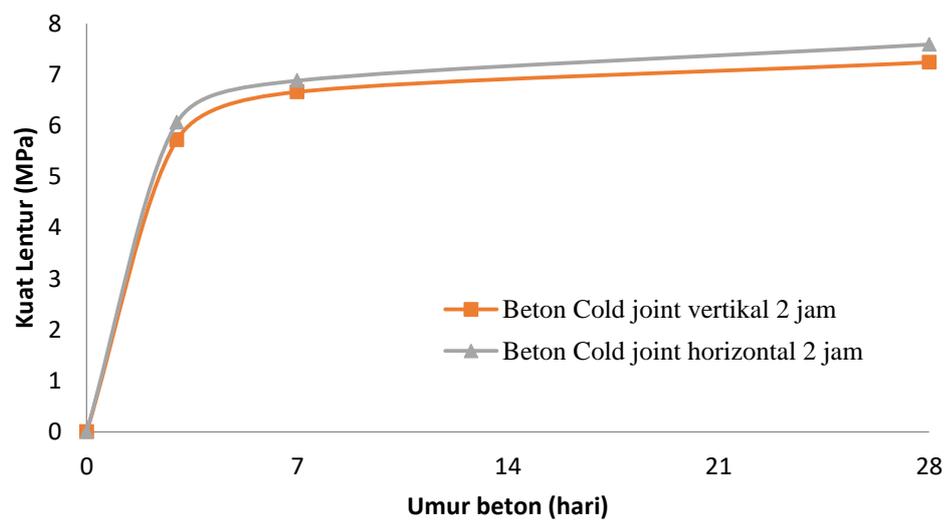
Berdasarkan hasil pengujian kuat lentur balok beton yang telah dilakukan pada beton normal dan beton *cold joint* pada umur beton 3 hari, 7 hari dan 28 hari seperti pada Gambar 4.2 keduanya menunjukkan penambahan kekuatan lentur sering bertambahnya umur beton. Perbandingan kuat lentur antara beton normal 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 dibandingkan dengan beton normal dengan nilai kuat lentur sebesar 6,473 MPa, 7,197 MPa dan 8,068 MPa.



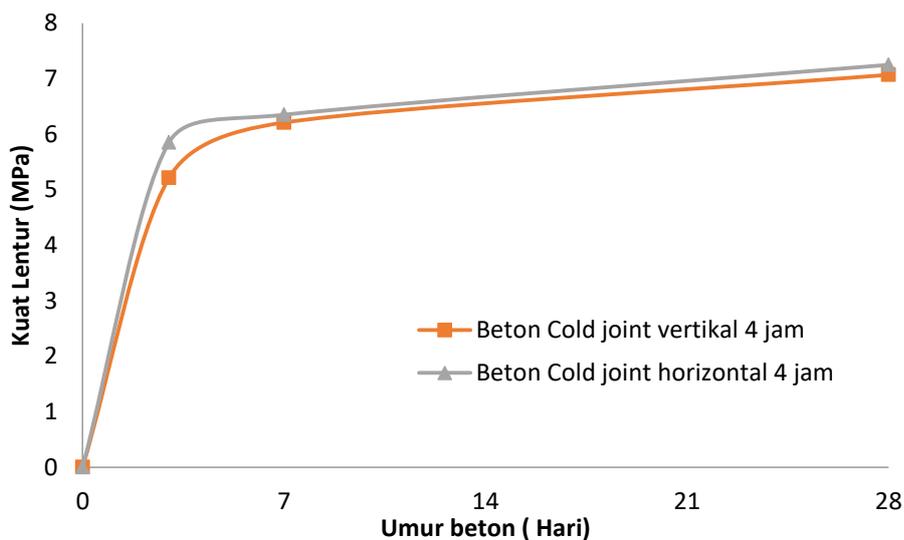
Gambar 4. 2 Hubungan kuat lentur dan umur beton.

4.4.2. Perbandingan Kuat Lentur Beton *Cold Joint* Arah Vertikal dan Arah Horizontal



Gambar 4. 3 Hubungan kuat lentur dan umur beton pada waktu jeda pengecoran 2 jam (120 menit).

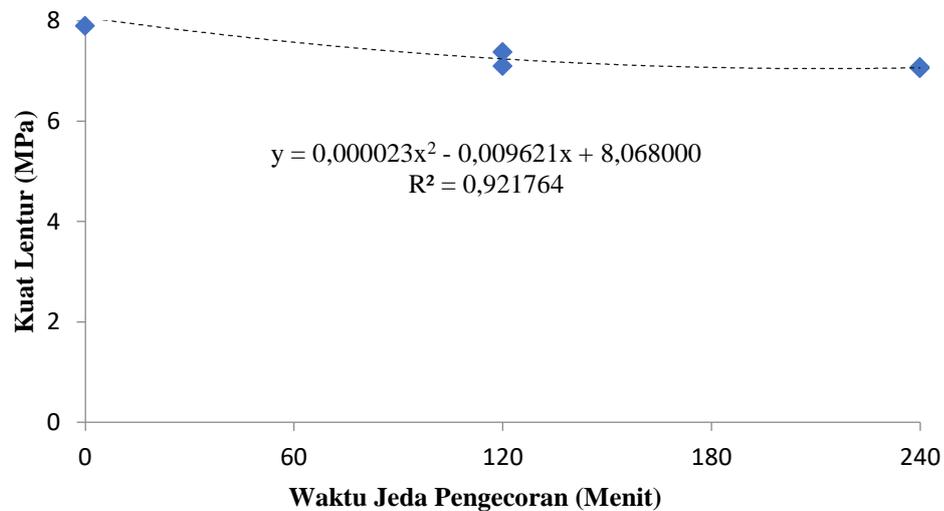
Berdasarkan hasil analisis data hubungan kuat lentur dan umur beton pada waktu jeda pengecoran selama 2 jam yang dapat dilihat pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa *cold joint* arah horizontal memiliki nilai kuat lentur yang lebih baik dibandingkan dengan arah vertikal dengan penurunan kuat lentur sebesar 4,61% dikarenakan arah pengujian horizontal lebih kuat dari arah pengujian vertikal.



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

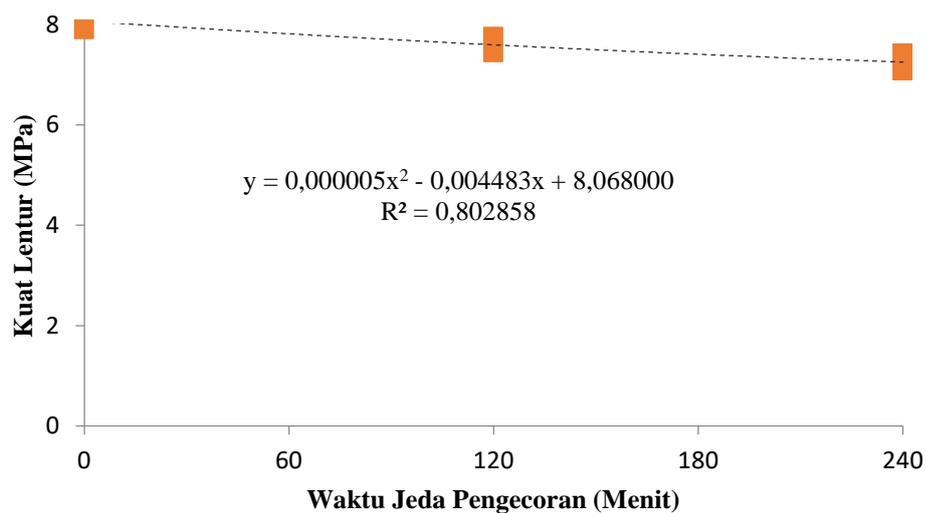
Hasil analisis data hubungan kuat lentur dan umur beton pada waktu jeda pengecoran selama 4 jam yang dapat dilihat pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa *cold joint* arah horizontal memiliki nilai kuat lentur yang lebih baik dibandingkan dengan arah vertikal dengan penurunan kuat lentur sebesar 2,48% dikarenakan arah pengujian horizontal lebih kuat dari arah pengujian vertikal.

4.4.3. Hubungan Waktu Jeda Pengecoran dan Kuat Lentur Beton



Gambar 4. 5 Hubungan kuat lentur beton *cold joint* pada umur beton 28 hari dan waktu jeda pengecoran

Berdasarkan hasil analisis regresi polinomial data antara hubungan waktu jeda pengecoran dan kuat lentur beton *cold joint* arah vertikal seperti pada Gambar 4.5 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 yang berarti bahwa 90% dipengaruhi oleh waktu jeda pengecoran.



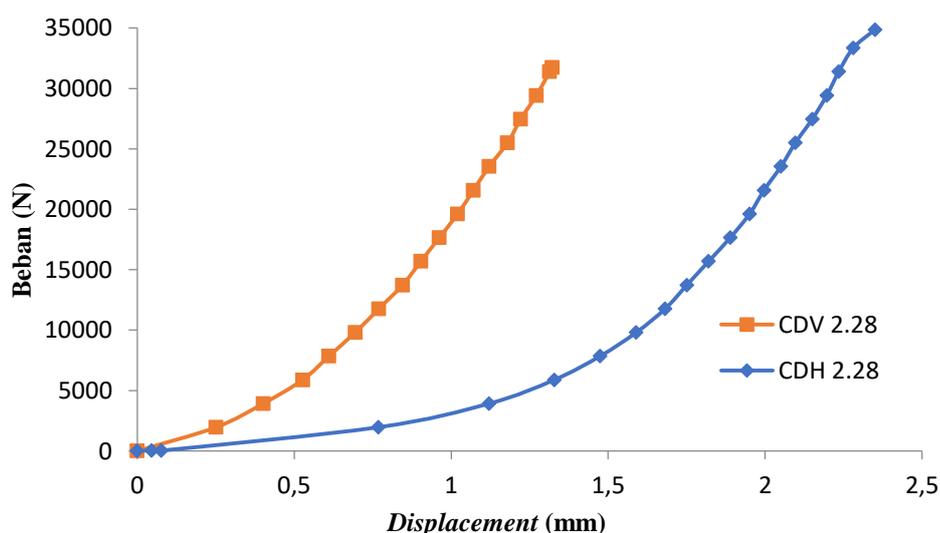
Gambar 4. 6 Hubungan kuat lentur beton *cold joint* pada umur beton 28 hari dan waktu jeda pengecoran

Berdasarkan hasil analisis regresi polynomial data antara hubungan waktu jeda pengecoran dan kuat lentur beton *cold joint* arah horizontal seperti pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa nilai kuat lentur mengalami penurunan seiring bertambah lamanya waktu jeda pengecoran dengan persamaan regresi yang didapat yaitu $y = 0,0000005x^2 - 0,004483x + 8,068$ dengan nilai R^2 sebesar 0,802858 yang berarti bahwa 90% dipengaruhi oleh waktu jeda pengecoran.

Hubungan Beban dan *Displacement* Pada Beton Umur 28 Hari

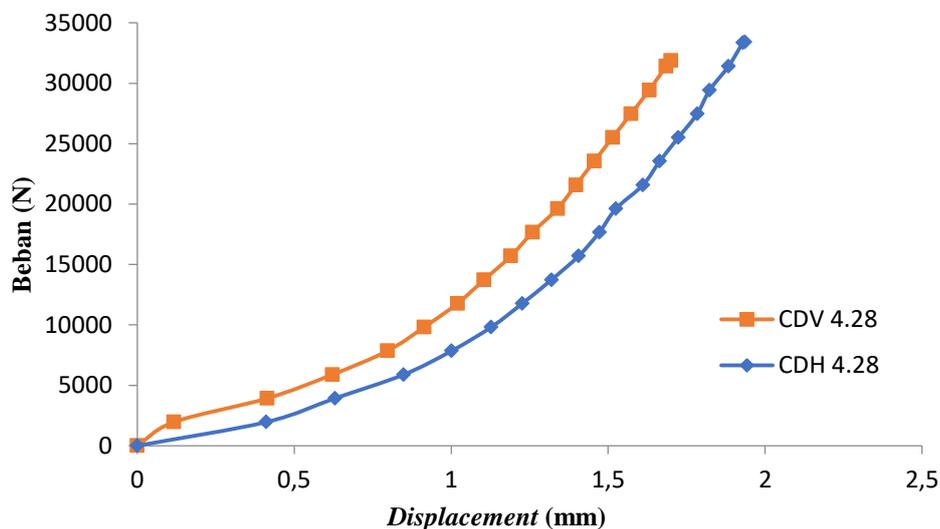
Hubungan antara beban dan *displacement* pada semua benda uji umur 28 hari menunjukkan pola kuva yang hampir sama, semakin bertambahnya beban maka *displacement* yang dihasilkan juga mengalami peningkatan yang hampir berbanding lurus. Hal ini disebabkan oleh benda uji yang digunakan adalah balok tanpa tulangan sehingga nilai *displacement* yang dihasilkan relatif kecil karena beban yang diterima hanya dibebankan pada struktur balok tersebut tanpa adanya resistensi dari tulangan.

Hasil analisis hubungan antara beban dan *displacement* beton *cold joint* waktu jeda 120 menit dengan arah vertikal dan horizontal seperti pada Gambar 4.7 menunjukkan *displacement* beton *cold joint* arah vertikal sebesar 1,322 mm dan beton *cold joint* arah horizontal sebesar 2,3 mm.



Gambar 4. 7 Hubungan beban dan *displacement* beton vertikal dan horizontal beton *cold joint* waktu jeda 120 menit pada umur 28 hari.

Hasil analisis hubungan antara beban dan *displacement* beton *cold joint* waktu jeda 240 menit dengan arah vertikal dan horizontal seperti pada Gambar 4.8 menunjukkan *displacement* beton *cold joint* arah vertikal sebesar 1,6 mm dan beton *cold joint* arah horizontal sebesar 1,98 mm.



Gambar 4. 8 Hubungan beban dan *displacement* beton vertikal dan horizontal beton *cold joint* waktu jeda 240 menit pada umur 28 hari.

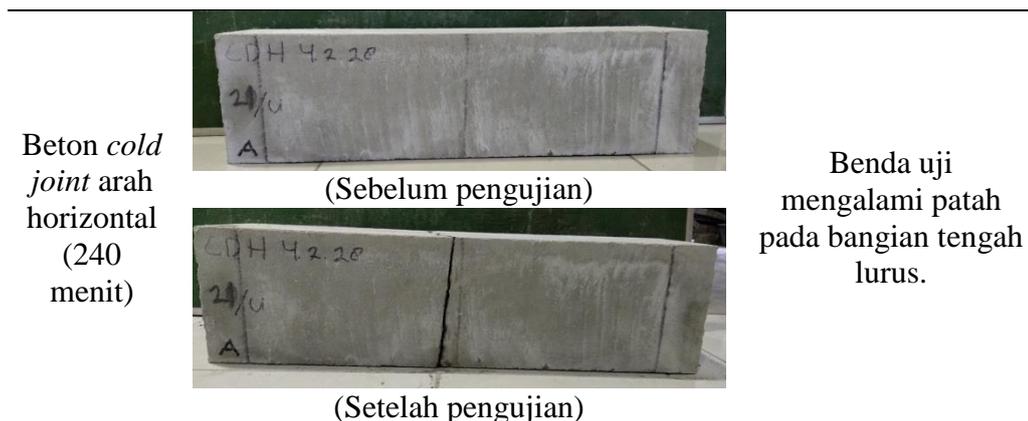
Dari hasil analisis data hubungan beban dan *displacement* dapat ditarik kesimpulan bahwa semua nilai *displacement* yang dihasilkan pada pengujian yang telah dilakukan memiliki rentan nilai yang tidak jauh berbeda berkisar antara 1,3 mm sampai 2,294 mm. Nilai *displacement* yang relatif kecil dan tidak jauh berbeda pada setiap benda uji dikarenakan pengaruh dari benda uji yang digunakan tidak menggunakan tulangan sehingga beban yang diterima murni dipikul oleh balok tersebut.

4.5.Perbandingan Fisik Benda Uji

Pengujian kuat lentur yang telah dilakukan mengakibatkan benda uji balok beton mengalami perubahan fisik berupa patahan dengan pola yang berbeda pada masing-masing benda uji. Perubahan fisik benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Perbandingan fisik benda uji

Benda Uji	Gambar Benda Uji	Keterangan
Beton normal	 (Sebelum pengujian)	Benda uji mengalami patah pada bagian tengah sedikit menyerong.
	 (Setelah Pengujian)	
Beton <i>cold joint</i> arah vertikal (120 menit)	 (Sebelum pengujian)	Benda uji mengalami patah pada bagian tengah lurus.
	 (Setelah pengujian)	
Beton <i>cold joint</i> arah vertikal (240 menit)	 (Sebelum pengujian)	Benda uji mengalami patah pada bagian tengah lurus.
	 (Setelah pengujian)	
Beton <i>cold joint</i> arah horisotal (120 menit)	 (Sebelum pengujian)	Benda uji mengalami patah pada bagian tengah menyerong.
	 (Setelah pengujian)	



4.6. Perbandingan Hasil Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Tabel 4. 10 Perbandingan hasil nilai kuat lentur terhadap waktu jeda pengecoran pada penelitian terdahulu dan sekarang

Penelitian	Judul	Waktu jeda pengecoran (menit)	Kuat lentur (MPa)	
			Beton <i>cold joint</i> arah vertikal	Beton <i>cold joint</i> arah horizontal
	Uji			
	Eksperimental kuat lentur pada balok	0	8,06	8,06
Sekarang	beton normal dan balok beton akibat pengaruh <i>cold joint</i>	120	7,24	7,59
		240	7,07	7,25
		0	12,39	12,39
	<i>Effect of cold joint on strength of concrete</i>	45	12,45	13,1
Terdahulu	(Rathi & Kolase)	75	12,95	13,82
		120	10,23	10,95
		180	9,45	9,03

Hasil perbandingan nilai kuat lentur terhadap lamanya waktu sambungan pengecoran yang dilakukan seperti pada Tabel 4.10 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 Rathi & Kolase (2013) menunjukkan bahwa nilai kuat lentur meningkat seiring bertambahnya waktu jeda pengecoran sebelum sampai melebihi waktu ikat awal (75 menit), akan tetapi setelah melebihi waktu ikat awal nilai kuat lentur mengalami penurunan baik *cold joint* arah vertikal maupun arah horizontal.

Tabel 4. 11 Perbandingan nilai kuat lentur akibat pengaruh suhu pada beton *cold joint*

Penelitian	Judul	Suhu (°C)	Dimensi (cm)	Waktu jeda pengecoran (menit)	Kuat lentur beton <i>cold joint</i> arah vertikal (MPa)
Sekarang	Uji Eksperimental kuat lentur pada balok beton normal dan balok beton akibat pengaruh <i>cold joint</i>	32	15×15×60	0	8,06
				120	7,24
				240	7,07
Terdahulu	<i>Concrete cold joint formation in hot weather conditions</i> (Illangakoon dkk.)	25	15×15×40	0	4,25
				170	4,55
				210	4,40
				315	4,67
				350	4,44
				400	4,13

Nilai kuat lentur pada beton *cold joint* dapat dipengaruhi juga oleh suhu lingkungan sekitar, pada Tabel 4.11 menunjukkan bahwa suhu lingkungan yang rendah dapat meningkatkan waktu ikat awal beton. Pada penelitian Illangakoon dkk. (2019) dengan suhu lingkungan sekitar 25°C waktu ikat awal beton terjadi berkisar 400 menit sedangkan pada penelitian saat ini dengan suhu lingkungan sekitar 32°C waktu ikat awal beton yang didapat kurang dari 120 menit. Dengan

demikian dapat disimpulkan bahwa semakin rendah suhu lingkungan maka waktu ikat awal pada beton *cold joint* dapat meningkat.

Hasil perbandingan nilai lendutan pada pengujian kuat lentur antara penelitian terdahulu dan sekarang menunjukkan bahwa antara balok normal dan balok yang mengalami sambungan pengecoran memiliki nilai lendutan yang tidak jauh berbeda. Pada penelitian Tarigan (2019) menunjukkan perbedaan lendutan antara beton normal dan beton dengan adanya sambungan memiliki nilai lendutan yang berkisar antara 0,2 mm sampai 1 mm. Sama halnya dengan hasil penelitian terdahulu, pada penelitian saat ini menunjukkan perbedaan nilai lendutan antara beton normal dan beton dengan adanya sambungan berkisar antara 1,3 mm sampai 2 mm.