

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Beton merupakan salah satu bahan yang paling banyak digunakan dalam pembuatan suatu konstruksi. Beton bila dilihat secara sepintas tampak sederhana, namun jika diamati dengan lebih seksama beton sebagai material komposit mempunyai banyak permasalahan. Permasalahan yang sering terjadi di antaranya adalah kerusakan atau cacat pada beton.

Berbagai jenis kerusakan atau cacat yang dapat dialami oleh beton salah satunya adalah sambungan dingin (*cold joint*). Sambungan dingin (*cold joint*) merupakan cacat pada beton yang diakibatkan oleh penundaan waktu pengecoran. Terdapat beberapa penelitian yang mengkaji mengenai sambungan dingin (*cold joint*) pada beton di antaranya yaitu sebagai berikut ini.

1. *Effects of cold joint and loading conditions on chloride diffusion in concrete containing GGBFS* (Yoo dan Kwon, 2016).
2. *Time and cold joint effect on chloride diffusion in concrete containing GGBFS under various loading conditions* (Yang dkk., 2018).
3. *Analysis technique on water permeability in concrete with cold joint considering micro pore structure and mineral admixture* (Choi dkk., 2015).
4. *Effect of cold joint on strength of concrete* (Rathi dan Kolase, 2013).
5. *Mechanical behavior of concrete cold joints* (Torres dkk., 2016).
6. *Effects of cold joints on the structural behaviour of polyurethane rigid foam panels* (Nemati dkk., 2018).
7. *Evaluation of bonding shear performance of ultra-high-performance concrete with increase in delay in formation of cold joint* (Lee dkk., 2016).
8. *Time laps and different joint affects quality of regular concrete* (Tapkire dan Parihar, 2014).
9. *Cyclic behavior of in-situ exterior beam-column subassemblies with cold joint in column* (Roy dan Laskar, 2017).
10. *Concrete cold joint formation in hot weather conditions* (Illangakoon dkk., 2019).

2.1.1. Penelitian Terdahulu tentang Sambungan Dingin (*Cold Joint*)

Yoo dan Kwon (2016) melakukan penelitian tentang efek sambungan dingin dan kondisi pembebanan pada difusi klorida dalam beton yang mengandung *GGBFS* (*Ground Granulated Blast Furnace Slag*). Pengujian dilakukan menggunakan sampel beton dengan w/b (*water to binder*) 0,6 dan 40% rasio penggantian *GGBFS* untuk *OPC* (*Ordinary Portland Cement*). Berdasarkan pengujian difusi klorida yang dilakukan dengan level pembebanan hingga 60%, pada kondisi tekan koefisien difusi klorida meningkat pada beton *OPC* dengan sambungan dingin sebesar $42,2 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$, lebih besar dibandingkan pada beton *OPC* tanpa sambungan dingin yaitu sebesar $29,5 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$, hasil tersebut hampir sama terhadap beton *GGBFS* tetapi lebih kecil dibandingkan dengan beton *OPC*, data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.1. Berdasarkan pengujian kuat tekan dan kuat lentur dengan data hasil pengujian seperti pada Tabel 2.2, didapatkan hasil kuat tekan dan kuat lentur terbesar yaitu pada beton *GGBFS* tanpa sambungan dingin masing-masing sebesar 34,1 MPa dan 4,3 MPa, sedangkan pada beton *GGBFS* dengan sambungan dingin mendapatkan hasil kuat tekan dan kuat lentur lebih kecil yaitu masing-masing sebesar 33,6 MPa dan 2,7 MPa.

Tabel 2.1 Koefisien difusi klorida dengan mempertimbangkan efek pembebanan (rata-rata) (Yoo dan Kwon, 2016)

	Beban	Koefisien difusi ($\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)		
		Kontrol	30%	60%
Kuat tekan	O	22,0 (1,00)	20,8 (0,94)	29,5 (1,34)
	S	6,6 (1,00)	6,5 (0,98)	15,3 (2,32)
	OJ	23,7 (1,00)	37,9 (1,6)	42,2 (1,78)
	SJ	8,6 (1,00)	13,8 (1,6)	21,7 (2,52)
Kuat tarik	O	22,0 (1,00)	28,7 (1,30)	31,5 (1,43)
	S	6,6 (1,00)	8,2 (1,24)	12,2 (1,85)
	OJ	23,7 (1,00)	29,5 (1,24)	32,4 (1,37)
	SJ	8,6 (1,00)	12,6 (1,47)	15,6 (1,81)

O: *OPC*, S : *GGBFS*, OJ : *OPC* dengan sambungan dingin, SJ : *GGBFS* dengan sambungan dingin.

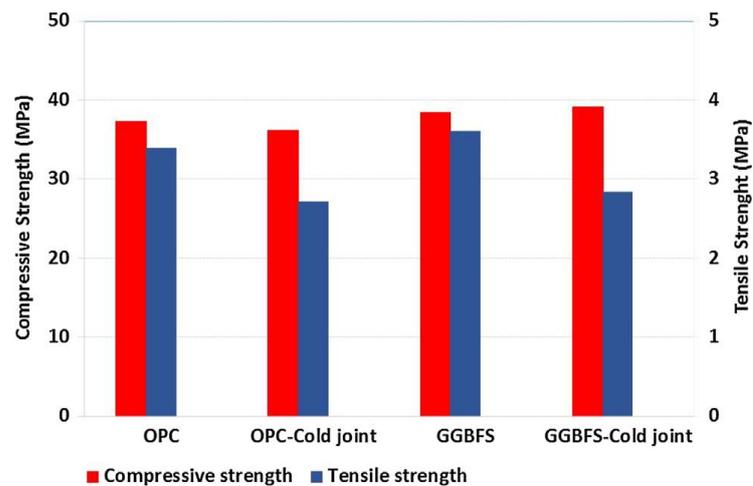
Tabel 2.2 Kuat tekan dan lentur untuk sampel *RCPT (Rapid Chloride Penetration Test)* (Yoo dan Kwon, 2016)

Pengujian		Kekuatan (MPa)			Rata-rata
		1	2	3	
Kuat tekan	O-C	32,6	31,8	32,5	32,3
	OJ-C	32,3	32,8	32,7	32,6
	S-C	33,9	34	34,4	34,1
	SJ-C	34,1	33	33,7	33,6
Kuat tarik	O-T	3,7	4,1	3,9	3,9
	OJ-T	2,6	2,9	2,6	2,7
	S-T	4,2	4,2	4,2	4,2
	SJ-T	2,8	2,6	2,7	2,7

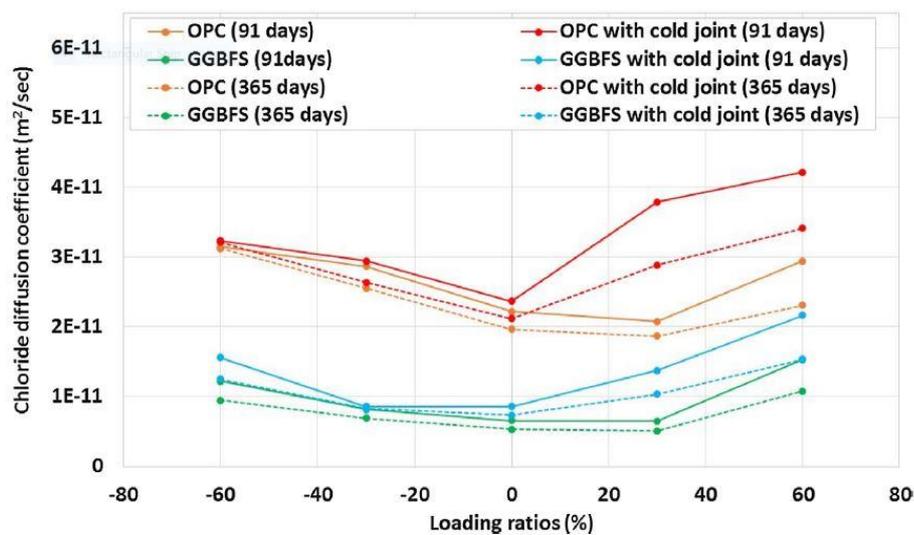
O: *OPC*, S : *GGBFS*, J : Sambungan dingin, C : Kuat tekan, T : Kuat lentur

Yang dkk. (2018) melakukan penelitian tentang efek waktu dan sambungan dingin pada difusi klorida dalam beton yang mengandung *GGBFS (Ground Granulated Blast Furnace Slag)* dengan berbagai kondisi pembebanan. Sampel beton menggunakan *w/b (water to binder)* 0,6 dengan rasio penggantian 40% *GGBFS (Ground Granulated Blast Furnace Slag)* untuk *OPC (Ordinary Portland Cement)*. Pengujian kuat tekan pada umur beton 365 hari menunjukkan penurunan pada beton *OPC* dengan sambungan dingin dibandingkan dengan beton *OPC* tanpa sambungan dingin, sedangkan pada beton *GGBFS* dengan sambungan dingin tidak menunjukkan penurunan kuat tekan yang signifikan dibandingkan dengan beton *GGBFS* tanpa sambungan dingin, data hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 2.1. Pengujian koefisien difusi klorida diukur untuk beton yang dipelihara (*curing*) 365 hari dengan mempertimbangkan kondisi kuat tarik dan kuat tekan, hasil pengujian dianalisis dengan hasil sebelumnya yaitu pada beton yang dipelihara (*curing*) 91 hari. Berdasarkan hasil pengujian di daerah tekan, koefisien difusi meningkat menjadi $1,87 \text{ E-11}$ – $2,3 \text{ E-11 m}^2/\text{s}$ untuk beton *OPC* dan $5,12 \text{ E-12}$ – $1,08 \text{ E-11 m}^2/\text{s}$ untuk beton *GGBFS*, namun dalam beton yang mengandung sambungan dingin meningkat secara linear menjadi $2,89 \text{ E-11}$ – $3,42 \text{ E-11 m}^2/\text{s}$ untuk beton *OPC* dan $1,04 \text{ E-11}$ – $1,54 \text{ E-11 m}^2/\text{s}$ untuk beton *GGBFS*, data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.3. Berdasarkan hasil

pengujian yang dapat dilihat pada Gambar 2.2, mengungkapkan bahwa koefisien difusi klorida meningkat jika terdapat sambungan dingin pada beton, terlepas dari jenis pembebanan dan penambahan campuran mineral. Efek *curing* pada difusi klorida dalam beton *GGBFS* menunjukkan perilaku yang hampir sama dengan yang ada pada beton *OPC* hasilnya secara keseluruhan menurun pada beton yang *curing* 365 hari. Hasil pengujian mengungkapkan area sambungan yang tidak sempurna rentan terhadap beban tarik dan tekan, dengan koefisien difusi klorida meningkat secara linier dengan meningkatnya pembebanan.



Gambar 2.1 Hubungan *compressive strength*, *tensile strength*, dan *cold joint* untuk seluruh benda uji pada periode *curing* 365 hari (Yang dkk., 2018)



Gambar 2.2 Hubungan *chloride diffusion coefficient* dan *loading ratios* untuk seluruh benda uji (Yang dkk., 2018)

Tabel 2.3 Koefisien difusi pada kuat tarik dan tekan (periode *curing* 365 hari)
(Yang dkk., 2018)

Kasus	Tingkat tarik (%)		Kontrol 0	Tingkat tekan (%)	
	- 60	- 30		30	60
<i>OPC</i>	3,13E-11	2,56E-11	1,96E-11	1,87E-11	2,31E-11
<i>OPC</i> dengan sambungan dingin	3,21E-11	2,64E-11	2,12E-11	2,89E-11	3,42E-11
<i>GGBFS</i>	9,48E-12	6,91E-12	5,32E-12	5,12E-12	1,08E-11
<i>GGBFS</i> dengan sambungan dingin	1,25E11	8,28E-12	7,34E-12	1,04E-11	1,54E-11

Choi dkk. (2015) melakukan penelitian tentang teknik analisis permeabilitas air pada beton sambungan dingin dengan mempertimbangkan struktur pori mikro dan campuran mineral. Sambungan dingin pada beton karena pengecoran yang tertunda dapat menyebabkan berkurangnya tahanan geser dan meningkatnya perembesan air. Penelitian ini menyajikan model analitik berdasarkan konsep *REV* (*Representative Element Volume*) untuk menilai efek permeabilitas air pada beton dengan sambungan dingin. Penelitian ini menggunakan sampel beton *OPC* (*Ordinary Portland Cement*) dan beton *GGBFS* (*Granulated Ground Blast Furnace Slag*) dengan kondisi sambungan dingin, kedua sampel menggunakan rasio w/b (*water to binder*) 0,6 dengan penggantian 40% *OPC* untuk *GGBFS*, pengujian *WPT* (*Water Permeability Test*) dilakukan pada sampel yang dipelihara (*curing*) selama 91 hari. Hasil pengujian menunjukkan perembesan air pada beton *OPC* dengan sambungan dingin meningkat 47,9% sementara beton *GGBFS* hanya 27,1%. Penggantian *OPC* dengan *GGBFS* membuat perembesan air berkurang sebesar 10,9% untuk beton normal dan 14,1% untuk beton sambungan dingin. Hasil analisis menggunakan *REV* (*Representative Element Volume*) cukup efektif karena hasil numerik sesuai dengan hasil pengamatan eksperimental dengan perbedaan 0,98-14,93% untuk beton normal dan 2,39-12,97% untuk sambungan dingin.

Rathi dan Kolase (2013) melakukan penelitian tentang pengaruh sambungan dingin pada kekuatan beton. Penelitian ini memberikan data kekuatan

beton yang mensimulasikan urutan *casting* (pengecoran) yang tidak tepat. Benda uji beton menggunakan proporsi campuran untuk beton mutu M25 (25 MPa) dengan tiga jenis beton yaitu beton bernoda, beton bernoda dengan zat perlambat dan beton segar. Perbedaan antara beton bernoda dan beton segar adalah beton bernoda benar-benar dibuat untuk jumlah total dari cetakan dalam satu tahap pembuatan dengan dipengaruhi waktu jeda, sedangkan beton segar yaitu beton yang baru disiapkan untuk setiap kali pengecoran tanpa dipengaruhi waktu jeda. Waktu jeda pengecoran pada pengujian ini yaitu 45 menit, 75 menit, 120 menit, dan 180 menit, waktu jeda ini dilakukan untuk mempelajari perilaku sambungan dingin terhadap kekuatan beton. Penelitian ini menggunakan gula sebagai zat perlambat yaitu 0,1% dari total berat semen untuk mengatasi masalah sambungan dingin. Berdasarkan hasil penelitian yang dapat dilihat pada Tabel 2.4, Tabel 2.5, dan Tabel 2.6 dalam kasus sambungan dingin kuat tekan pada beton bernoda dengan zat perlambat dibandingkan dengan beton bernoda tanpa zat perlambat meningkat sebesar 12,71% untuk bidang kegagalan horizontal dan 14,67% untuk bidang kegagalan vertikal, sedangkan untuk beton segar dibandingkan dengan beton bernoda tanpa zat perlambat menurun sebesar 5,97% untuk bidang kegagalan horizontal dan 3,5% untuk bidang kegagalan vertikal, dan untuk beton bernoda dengan zat perlambat dibandingkan dengan beton segar meningkat sebesar 16,58% untuk bidang kegagalan horizontal dan 15,85% untuk bidang kegagalan vertikal.

Tabel 2.4 Hasil pengujian untuk kuat tekan beton bernoda (Rathi dan Kolase, 2013)

No.	Waktu jeda	Kuat tekan beton N/mm ²			
		Kubus penuh	Bidang kegagalan diagonal	Bidang kegagalan vertikal	Bidang kegagalan horizontal
1	0	34,84	34,84	34,84	34,84
2	45	39,56	35	35,35	37,67
3	75	41,65	36,12	36,89	39,67
4	120	29,55	30,46	30,2	31,84
5	180	28,2	28,71	30,8	30,91

Tabel 2.5 Hasil pengujian untuk kuat tekan beton bernoda dengan zat perlambat
(Rathi dan Kolase, 2013)

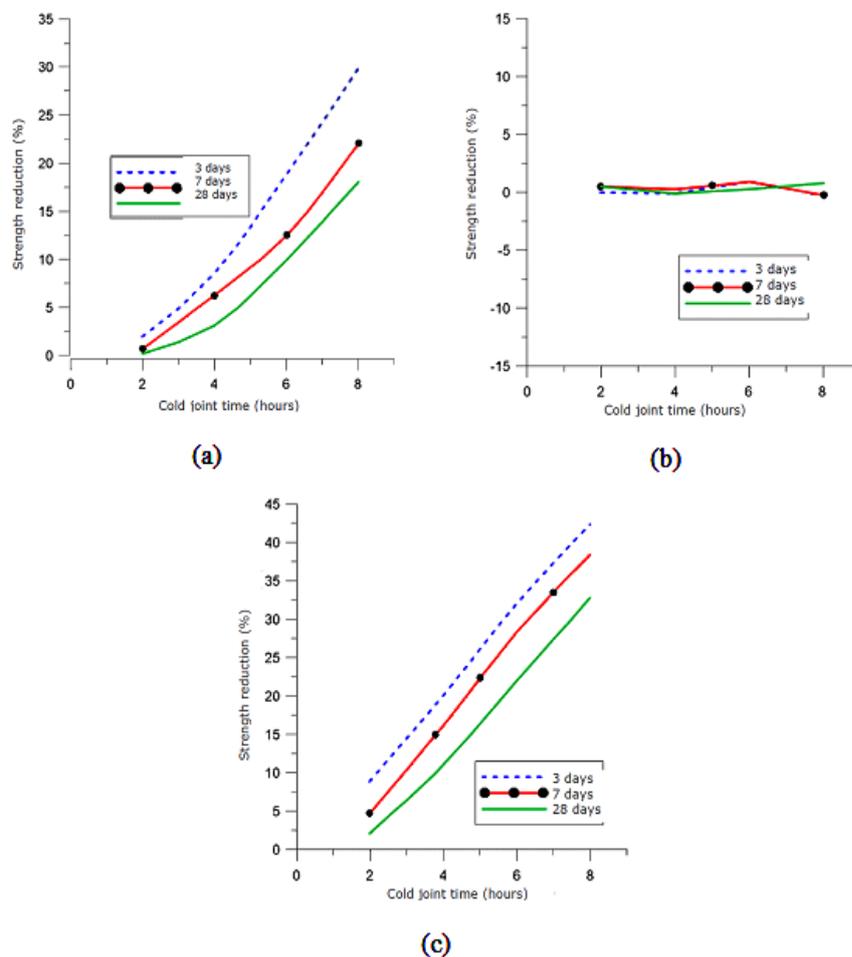
No.	Waktu jeda	Kuat tekan beton N/mm ²			
		Kubus penuh	Bidang kegagalan diagonal	Bidang kegagalan vertikal	Bidang kegagalan horizontal
1	0	35,53	35,53	35,53	35,53
2	45	37,46	36,56	36,85	36,93
3	75	41,79	37,65	37,8	38,67
4	120	44,76	38,52	39,84	40,47
5	180	48,36	41,13	42,74	45,53

Tabel 2.6 Hasil pengujian untuk kuat tekan beton segar (Rathi dan Kolase, 2013)

No.	Waktu jeda	Kuat tekan beton N/mm ²			
		Kubus penuh	Bidang kegagalan diagonal	Bidang kegagalan vertikal	Bidang kegagalan horizontal
1	0	34,84	34,84	34,84	34,84
2	45	34,5	33,67	34,01	34,3
3	75	33,45	31,79	32,23	32,57
4	120	32,45	30,46	30,2	31,84
5	180	31,45	28,71	30,8	30,91

Torres dkk. (2016) melakukan penelitian tentang perilaku mekanis sambungan dingin pada beton. Pengujian kuat tekan dan kuat tarik tidak langsung pada penelitian ini dilakukan terhadap spesimen beton silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan panjang 30 cm. Sambungan dingin pada pengujian ini diinduksi secara horizontal, diagonal dan vertikal dengan memiliki waktu pembentukan 2, 4, 6, dan 8 jam. Beton silinder dengan sambungan dingin horizontal dan diagonal digunakan untuk pengujian kuat tekan, sedangkan beton silinder dengan sambungan dingin vertikal digunakan untuk pengujian kuat tarik

tidak langsung. Pengujian kuat tekan dan kuat tarik tidak langsung menggunakan sampel beton pada umur 3, 7, dan 28 hari. Tes eksperimental menunjukkan bahwa beton silinder dengan sambungan dingin horizontal yang dikenakan kekuatan tekan tidak menunjukkan hilangnya resistensi, sedangkan beton silinder dengan sambungan dingin diagonal yang dikenai kekuatan tekan dan sambungan dingin vertikal yang dikenai kekuatan tarik tidak langsung, menunjukkan kehilangan resistensi yang besar masing-masing hingga 30% dan 42%. Hasil penelitian mengidentifikasi bahwa kehilangan resistensi atau ketahanan beton tergantung pada orientasi sambungan dingin sehubungan dengan arah tekan utama yang digunakan, hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Hubungan *strength reduction* dan *cold joint time* pada (a) diagonal, (b) horizontal, dan (c) vertikal (Torres dkk., 2016)

Nemati dkk. (2018) melakukan penelitian tentang efek sambungan dingin pada perilaku struktural panel busa kaku *poliuretana*. Dalam penelitian ini, efek

sambungan dingin (lapisan) pada perilaku struktural panel busa kaku *poliuretana* (*PU*) akan dipelajari melalui beberapa percobaan pada sampel yang terdapat sambungan dingin dan tanpa sambungan dingin, di bawah beban *monotonic* dan *cyclic*. Hasil percobaan tersebut akan dibandingkan untuk menyelidiki dampak keberadaan sambungan dingin pada kekuatan tekuk. Pengujian tekuk dilakukan pada dua jenis panel *poliuretana* dengan menggunakan pengujian tekanan *pneumatik*. Panel dikategorikan berdasarkan keberadaan sambungan dingin konstruksi yaitu tipe TS (lapisan melintang) dan tipe S (tanpa gangguan). Panel *poliuretana* berukuran 1500 mm × 1000 mm × 100 mm dengan berat rata-rata untuk kedua jenis panel adalah 29,0 kg. Pembuatan sampel panel S dilakukan dengan sistem penuangan satu kali sedangkan sampel panel TS dicor dengan lima sambungan dingin yang terdiri dari H1 sampai H5 dibuat selama enam kali penuangan. Panel tipe S diuji di bawah pemuatan seragam *monotonic* dengan tekanan nominal maksimum sekitar 1 atm sedangkan panel TS diuji di bawah pemuatan seragam *monotonic* dan *cyclic*. Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa panel S dapat menahan hingga 0,77 atm di bawah beban pemuatan seragam *monotonic* sedangkan panel TS dengan sambungan dingin runtuh di bawah beban *monotonic* dan *cyclic* pada rata-rata 0,46 atm dan 0,33 atm dengan posisi yang sama, terletak pada bagian yang rusak dan memiliki mode kegagalan yang sama.

Lee dkk. (2016) melakukan penelitian tentang evaluasi kinerja geser ikatan beton berkinerja sangat tinggi dengan peningkatan keterlambatan dalam pembentukan sambungan dingin. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi optimal untuk memastikan sifat monolit beton kinerja sangat tinggi (*UHPC*). Pengujian geser langsung dilakukan untuk mengevaluasi kinerja geser ikatan pada sambungan dingin yang terjadi sebagai akibat dari keterlambatan selama penuangan beton dengan waktu jeda yang ditetapkan yaitu 0, 15, 30, dan 60 menit. Benda uji beton menggunakan kubus 150 mm × 150 mm × 150 mm dengan rasio w/b (*water to binder*) untuk beton *NSC* (beton berkekuatan normal) adalah 0,4 sedangkan rasio w/b (*water to binder*) untuk beton *UHPC* (beton kinerja sangat tinggi) adalah 0,14 yang mana beton *UHPC* diperkuat dengan serat baja. Berdasarkan evaluasi kinerja geser ikatan sehubungan dengan waktu

terjadinya sambungan dingin, menunjukkan beton *NSC* yang dipadatkan mengalami peningkatan sekitar 5% pada kekuatan geser ikatan terhadap beton *NSC* yang tidak dipadatkan, dan sekitar 5% penurunan kekuatan geser ikatan dengan penundaan pengecoran hingga 60 menit berdasarkan hasil tersebut bahwa pemadatan dapat menyebabkan sifat monolit lebih dari 95% asalkan sambungan dingin terbentuk dalam waktu 60 menit. Pada kekuatan geser ikatan *UHPC* menunjukkan kecenderungan untuk menurun secara bertahap seiring penundaan sampai sambungan dingin terbentuk meningkat, terlepas dari apakah pemadatan dilakukan. Pemadatan pada beton *UHPC* menghasilkan peningkatan kinerja geser ikatan sekitar 7%, selain itu penundaan 15 menit menghasilkan penurunan kekuatan geser ikatan sekitar 8%, yang mana menunjukkan kinerja geser ikatan terbaik hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Hasil uji kekuatan geser ikatan (Lee dkk., 2016)

Nama sampel (TS-DT)	Jeda (Menit)	Maksimum beban (kN)			Rata-rata maksimum beban (kN)	Kekuatan geser ikatan (MPa)	Rasio kekuatan geser residual (%)
		1	2	3			
NN-0	0	250,3	262,3	241,1	251,2	5,6	100
NN-15	15	228,9	229,9	239,3	232,7	5,2	92,4
NN-30	30	212,3	210,3	224,3	215,6	4,8	85,8
NN-60	60	198,1	194,9	176,5	189,8	4,2	75,6
TN-15	15	237,3	236,3	253,7	242,4	5,4	96,5
TN-30	30	240,8	233,8	236,2	236,9	5,3	94,3
TN-60	60	233,1	227,5	217,0	225,9	5,0	89,9
NU-0	0	1786,3	1708,7	1759,3	1751,4	38,9	100
NU-15	15	1504,1	1523,3	1445,8	1491,1	33,1	85,1
NU-30	30	1294,2	1386,1	1361,4	1347,2	29,9	76,9
NU-60	60	1026,0	1165,3	1132,3	1107,9	24,6	63,3
TU-15	15	1687,7	1664,5	1502,9	1618,4	36,0	92,4
TU-30	30	1418,5	1455,9	1319,9	1398,1	31,1	79,8
TU-60	60	1222,0	1263,7	1310,0	1265,2	28,1	72,2

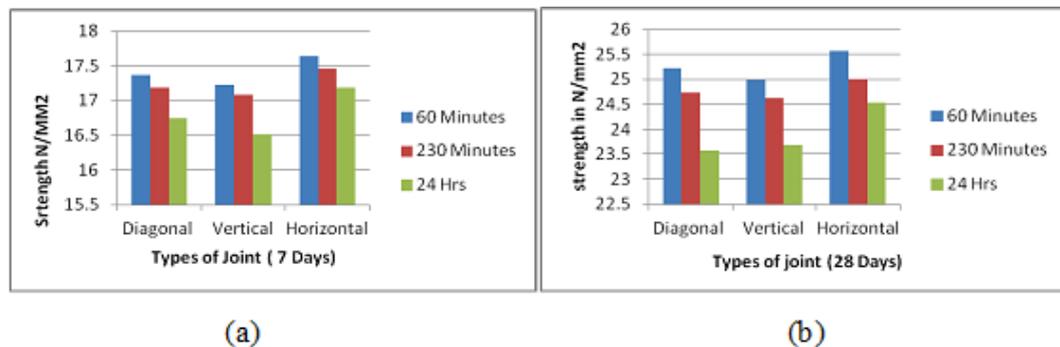
Keterangan : TS-DT;

T (Kondisi Pemadatan) = N (Tidak dipadatkan), T (Dipadatkan);

S (Kekuatan Beton) = N (Beton berkekuatan normal), U (Beton kinerja sangat tinggi);

DT = Jeda untuk sambungan dingin (0, 15, 30, dan 60 menit)

Tapkire dan Parihar (2014) melakukan penelitian tentang selang waktu dan sambungan berbeda pada pengaruh kualitas beton biasa. Penelitian ini memberikan data kekuatan beton pada sambungan dingin, dengan benda uji beton kubus kelas M20 (20 MPa) pada umur 7 hari dan 28 hari. Waktu jeda pengecoran yaitu 60 menit, 230 menit dan 24 jam, waktu jeda dalam pengecoran dilakukan untuk mempelajari perilaku sambungan dingin pada kuat tekan. Pengujian kuat tekan pada beton normal untuk umur 7 hari sebesar 18 N/mm² dan 28 hari sebesar 26 N/mm², hasil pengujian kuat tekan pada beton sambungan dingin dapat dilihat pada Gambar 2.4. Pada beton sambungan dingin untuk umur 7 hari dengan waktu jeda 60 menit, 230 menit dan 24 jam mengalami penurunan masing-masing sebesar 3,27%, 4,20%, dan 6,60%, sedangkan untuk umur 28 hari dengan waktu jeda yang sama mengalami penurunan 2,87%, 4,67%, dan 7,93%.



Gambar 2.4 Hubungan *strength* dan *types of joint* pada (a) umur 7 hari dan (b) umur 28 hari (Tapkire dan Parihar, 2014)

Roy dan Laskar (2017) melakukan penelitian tentang perilaku *cyclic* pada gabungan balok-kolom eksterior in-situ dengan sambungan dingin pada kolom. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki efek sambungan dingin dalam simulasi kolom pengecoran bertingkat dari struktur nyata dalam kinerja seismik pada gabungan balok-kolom in-situ. Kelas beton yang digunakan yaitu M20 (20 MPa) dengan rasio kekuatan lentur (R) 1.2, 1.4, 1.7, dan 2.0 diuji dengan pembebanan *cyclic*. Rasio kekuatan lentur (R) merupakan rasio jumlah kekuatan lentur nominal dari bagian kolom di atas dan bawah sambungan dengan jumlah kekuatan lentur nominal dari bagian balok pada sambungan. Berdasarkan hasil pengujian pada spesimen dengan sambungan dingin menunjukkan penurunan cukup besar dalam kinerjanya dibandingkan dengan spesimen kontrol (tanpa sambungan dingin).

Pengujian daktilitas (*ductility*) menunjukkan pada semua spesimen dengan sambungan dingin dalam kolom mengalami penurunan sebesar 22-36% dibandingkan dengan spesimen kontrol. Daktilitas dengan sambungan dingin lebih kecil disebabkan oleh konsentrasi tulangan pada daerah sambungan dingin yang menyebabkan kondisi plastis yang buruk dari spesimen tersebut. Hasil pengujian kekakuan sambungan balok-kolom pada penelitian ini menunjukkan kekakuan awal (*initial stiffness*) dan kekakuan lelah (*yield stiffness*) mengalami penurunan masing-masing sebesar 12-18% dan 11-26% dibandingkan dengan spesimen kontrol yang dapat dilihat pada Tabel 2.8 dan Tabel 2.9. Pengurangan kekakuan awal dan kekakuan lelah terutama karena kurangnya tahanan lateral dan kontribusi ikatan yang buruk oleh beton di daerah sambungan dingin.

Tabel 2.8 Kekakuan awal spesimen di bawah beban *cyclic* (Roy dan Laskar, 2017)

Nilai R	Kekakuan awal (kN/mm)		% Penurunan
	Spesimen kontrol	Spesimen dengan sambungan dingin	
1,2	2,56	2,24	12
1,4	2,77	2,27	18
1,7	2,65	2,24	15
2,0	2,46	2,17	12

Tabel 2.9 Kekakuan lelah spesimen di bawah beban *cyclic* (Roy dan Laskar, 2017)

Nilai R	Kekakuan awal (kN/mm)		% Penurunan
	Spesimen kontrol	Spesimen dengan sambungan dingin	
1,2	1,01	0,82	19
1,4	1,44	1,07	26
1,7	1,10	0,88	20
2,0	1,14	1,02	11

Illangakoon dkk. (2019) melakukan penelitian tentang pembentukan sambungan dingin beton dalam kondisi cuaca panas. Tujuan dari penelitian ini

adalah untuk menguji pengaruh suhu sekitar pada pembentukan sambungan dingin yang terkait dengan resistensi penetrasi. Sambungan dingin dievaluasi dengan pengujian kuat lentur balok beton dengan w/b ukuran 100 mm × 100 mm × 400 mm, beton segar diuji pada kondisi suhu sekitar 25° C dan 45° C. Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa sambungan dingin dapat terbentuk ketika keterlambatan pengecoran antara dua lapisan berturut-turut kurang dari waktu ikat awal (*initial setting*) beton konvensional, yaitu resistensi penetrasi 3,5 N/mm² diukur sesuai dengan ASTM C403/C403M. Hasil pengujian menunjukkan sambungan dingin terbentuk ketika resistensi penetrasi lebih besar dari 0,5 N/mm² dan resistensi penetrasi ini tidak tergantung pada suhu sekitar. Resistensi penetrasi 0,5 N/mm² mengakibatkan sambungan dingin terlihat tetapi tidak mempengaruhi kekuatan lentur secara signifikan, pengurangan menjadi signifikan dengan pengecoran lapisan pertama yang dimulai pada resistensi penetrasi 1,0 N/mm² jauh sebelum waktu ikat awal (*initial setting*) beton.

2.1.2. Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Perbedaan yang mendasari penelitian sekarang dengan terdahulu terkait *cold joint* (sambungan dingin) pada beton diantaranya dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Perbedaan penelitian terdahulu dan sekarang

No.	Penelitian	Jenis penelitian	Perbedaan	
			Terdahulu	Sekarang
1	<i>Effects of cold joint and loading conditions on chloride diffusion in concrete containing GGBFS</i> (Yoo dan Kwon, 2016)	Pengujian Lab	Efek <i>cold joint</i> dianalisis terhadap difusi klorida pada beton <i>GGBFS</i>	Efek <i>cold joint</i> dianalisis terhadap kuat tekan beton
2	<i>Time and cold joint effect on chloride diffusion in concrete containing GGBFS under various loading conditions</i> (Yang dkk., 2018)	Pengujian Lab	Efek <i>cold joint</i> dianalisis terhadap difusi klorida pada beton <i>GGBFS</i>	Efek <i>cold joint</i> dianalisis terhadap kuat tekan beton

Tabel 2.10 Perbedaan penelitian terdahulu dan sekarang (lanjutan)

No.	Penelitian	Jenis penelitian	Perbedaan	
			Terdahulu	Sekarang
3	<i>Analysis technique on water permeability in concrete with cold joint considering micro pore structure and mineral admixture</i> (Choi dkk., 2015)	Pengujian Lab	Efek <i>cold joint</i> dianalisis terhadap permeabilitas air pada beton	Efek <i>cold joint</i> dianalisis terhadap kuat tekan beton
4	<i>Effect of cold joint on strength of concrete</i> (Rathi dan Kolase, 2013)	Pengujian Lab	Beton digunakan berbentuk kubus ukuran 15 cm × 15 cm × 15 cm dengan mutu beton 25 MPa dan waktu jeda pembentukan <i>cold joint</i> 45, 75, 120, dan 180 menit	Beton digunakan berbentuk kubus ukuran 15 cm × 15 cm × 15 cm dengan mutu beton 30 MPa dan waktu jeda pembentukan <i>cold joint</i> 120 dan 240 menit
5	<i>Mechanical behavior of concrete cold joints</i> (Torres dkk., 2016)	Pengujian Lab	Beton digunakan berbentuk silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan waktu jeda pembentukan <i>cold joint</i> 2, 4, 6, dan 8 jam	Beton digunakan berbentuk kubus ukuran 15 cm × 15 cm × 15 cm dengan waktu jeda pembentukan <i>cold joint</i> 120 dan 240 menit
6	<i>Effects of cold joints on the structural behaviour of polyurethane rigid foam panels</i> (Nemati dkk., 2018)	Pengujian Lab	Efek <i>cold joint</i> dianalisis terhadap perilaku struktur pada panel busa kaku poliuretana	Efek <i>cold joint</i> dianalisis terhadap kuat tekan beton

Tabel 2.10 Perbedaan penelitian terdahulu dan sekarang (lanjutan)

No.	Penelitian	Jenis penelitian	Perbedaan	
			Terdahulu	Sekarang
7	<i>Evaluation of bonding shear performance of ultra-high-performance concrete with increase in delay in formation of cold joint</i> (Lee dkk., 2016)	Pengujian Lab	Efek <i>cold joint</i> dianalisis terhadap kinerja geser ikatan pada beton kinerja sangat tinggi (UHPC)	Efek <i>cold joint</i> dianalisis terhadap kuat tekan beton
8	<i>Time laps and different joint affects quality of regular concrete</i> (Tapkire dan Parihar, 2014)	Pengujian Lab	Beton digunakan berbentuk kubus ukuran 15 cm × 15 cm × 15 cm dengan mutu beton 20 MPa dan waktu jeda pembentukan <i>cold joint</i> 60 menit, 230 menit, dan 24 jam	Beton digunakan berbentuk kubus ukuran 15 cm × 15 cm × 15 cm dengan mutu beton 30 MPa dan waktu jeda pembentukan <i>cold joint</i> 120 dan 240 menit
9	<i>Cyclic behavior of in-situ exterior beam-column subassemblies with cold joint in column</i> (Roy dan Laskar, 2017)	Pengujian Lab	Efek <i>cold joint</i> dianalisis pada gabungan balok-kolom dalam kinerja seismik	Efek <i>cold joint</i> dianalisis terhadap kuat tekan beton
10	<i>Concrete cold joint formation in hot weather conditions</i> (Illangakoon dkk., 2019)	Pengujian Lab	Efek <i>cold joint</i> dianalisis terhadap kondisi cuaca panas	Efek <i>cold joint</i> dianalisis terhadap kuat tekan beton

2.1.3. Keaslian Penelitian

Berdasarkan Tabel 2.10 penelitian dengan judul pengaruh *cold joint* horizontal *cast* terhadap kuat tekan pada struktur beton menurut sepengetahuan penulis adalah asli dan belum pernah diteliti oleh penelitian terdahulu.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Beton

Beton adalah suatu bahan konstruksi yang dibuat dari campuran semen, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), dan air dengan atau tanpa material tambahan (*admixture*) pada perbandingan tertentu (Setiawan, 2016). Beton menjadi material yang sangat penting dan banyak digunakan untuk membangun berbagai infrastruktur seperti jembatan, jalan raya, bendungan, dan sarana prasarana perkotaan lainnya. Hal ini menjadikan beton, dilihat dari segi kuantitas, menjadi material yang paling banyak digunakan manusia setelah air.

2.2.2. Bahan Penyusun Beton

a. Semen

Semen yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan beton, tergolong ke dalam jenis semen hidraulis. Jenis semen hidraulis yang banyak digunakan hingga saat ini adalah semen portland yang dipatenkan di Inggris pada tahun 1824 atas nama Joseph Aspdin. Semen portland adalah material berbentuk bubuk berwarna abu-abu dan banyak mengandung kalsium dan aluminium silika. Menurut ASTM (2015) semen portland didefinisikan sebagai semen hidraulis, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang tergiling bersama-sama dengan bahan utamanya. Menurut Setiawan (2016) bahan dasar pembuatan semen adalah batu kapur yang mengandung CaO , serta lempung atau tanah liat yang banyak mengandung SiO_2 dan AL_2O_3 .

Menurut BSN (2004) semen portland dikategorikan berdasarkan tujuan penggunaannya terbagi menjadi 5 jenis yaitu sebagai berikut ini.

- 1) Tipe I yaitu semen portland untuk penggunaannya umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus.
- 2) Tipe II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- 3) Tipe III semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- 4) Tipe IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.

5) Tipe V yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

b. Agregat halus

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu yang semua butirnya menembus ayakan berlubang dengan ukuran 4,75 mm (Mulyono, 2003). Syarat mutu agregat halus menurut BSN (2002) sebagai berikut ini.

- 1) Butirannya tajam, kuat dan keras.
- 2) Bersifat kekal, tidak pecah atau hancur karena pengaruh cuaca.
- 3) Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur (bagian yang dapat melewati ayakan 0,060 mm) lebih dari 5%. Apabila lebih dari 5% maka agregat halus harus dicuci.
- 4) Agregat halus tidak boleh mengandung zat organik.
- 5) Modulus halus butir antara 1,5-3,8.
- 6) Tidak boleh mengandung garam.

c. Agregat kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu yang semua butirnya tertinggal di atas ayakan berlubang ukuran 4,75 mm (Mulyono, 2003). Syarat mutu agregat kasar menurut BSN (2002) sebagai berikut ini.

- 1) Butirannya tajam, kuat dan keras.
- 2) Bersifat kekal, tidak pecah atau hancur karena pengaruh cuaca.
- 3) Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur (bagian yang dapat melewati ayakan 0,060 mm) lebih dari 1%. Apabila lebih dari 1% maka agregat kasar harus dicuci
- 4) Agregat kasar tidak boleh mengandung zat organik dan bahan alkali.
- 5) Agregat kasar tidak mengandung butiran yang panjang dan pipih lebih dari 20%.

d. Air

Air merupakan salah satu bahan dasar yang diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen dan memberikan kemudahan dalam proses pembuatan beton. Proses pencampuran air dan semen akan

menimbulkan suatu reaksi kimia yang disebut dengan reaksi hidrasi. Air yang berlebih akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai secara keseluruhan, sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton (Mulyono, 2003).

Menurut Mulyono (2003) syarat umum air yang dapat digunakan untuk campuran beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, zat organis atau bahan lainnya yang dapat merusak beton atau tulangan. Menurut BSN (2013) persyaratan air pencampuran yang dapat digunakan dalam produksi beton adalah sebagai berikut ini.

- 1) Air pencampuran, dapat meliputi:
 - a. air untuk pengadukan (air yang ditimbang atau diukur di *batching plant*),
 - b. air yang ditambahkan oleh operator truk,
 - c. air bebas pada agregat-agregat, dan
 - d. air yang masuk dalam bentuk bahan-bahan tambahan, apabila air ini dapat meningkatkan rasio air semen lebih dari 0,01.
- 2) Air pencampuran yang seluruh atau sebagian terdiri dari sumber-sumber air yang tidak dapat diminum atau air dari produksi beton boleh digunakan dalam setiap proporsi dengan batasan kualitas yang memenuhi persyaratan.
- 3) Sumber-sumber air yang tidak bisa diminum harus memenuhi syarat penggunaan sesuai persyaratan.
- 4) Sumber-sumber air yang tidak bisa diminum harus memenuhi syarat penggunaan sesuai persyaratan.
- 5) Air kombinasi yang dicampur dari dua atau lebih sumber air, di mana satu dari sumber tersebut adalah air sisa produksi beton, harus memenuhi syarat untuk penggunaan sesuai persyaratan.

2.2.3. Sambungan Dingin (*Cold Joint*)

Sambungan dingin (*cold joint*) adalah titik sambung atau keadaan terputus yang dihasilkan oleh penundaan waktu penuangan (misalnya: beton segar) yang cukup untuk menghalangi penggabungan dua material yang dituang secara

berturut-turut (Bahar dkk., 2004). Menurut JSCE (2007) sambungan dingin adalah diskontinuitas antara lapisan beton yang sebelumnya ditempatkan dan lapisan beton berikutnya. Sambungan dingin dapat terjadi karena pembentukan kerak di permukaan beton yang menghalangi penggabungan monolit pada beton yang ditempatkan dalam dua tahap pengecoran atau lebih.

Sambungan dingin dapat terbentuk dikarenakan lama *setting time* beton yang singkat, untuk mencegah sambungan dingin perlu untuk mengatur interval penempatan pengecoran agar lapisan atas menjadi monolit dengan lapisan yang bawah. Interval penempatan pengecoran adalah waktu setelah penyelesaian penempatan dan pemadatan lapisan beton sampai lapisan atasnya ditempatkan setelah periode waktu yang ditentukan (JSCE, 2007). Interval penempatan pengecoran yang diizinkan dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Standar untuk waktu jeda yang diizinkan antara dua penempatan pengecoran atau lebih (JSCE, 2007)

Temperatur di lingkungan	Waktu jeda yang diizinkan
Lebih dari 25° C	2 jam
25° C atau kurang	2,5 jam

2.2.4. *Slump Test*

Slump test merupakan suatu teknik untuk memantau *homogeneity* dan *workability* (kemudahan pengerjaan beton segar) adukan beton segar dengan suatu kekentalan tertentu yang dinyatakan dengan nilai *slump* (BSN, 2008c). Nilai *slump* umumnya meningkat sebanding dengan nilai kadar air campuran beton, dengan demikian nilai *slump* berbanding terbalik dengan kekuatan beton. Kemudahan pengerjaan dapat dilihat dari nilai *slump* yang identik dengan tingkat keplastisan beton, di mana semakin plastis beton maka semakin mudah pengerjaannya. Menurut Mulyono (2003) unsur-unsur yang mempengaruhi nilai *slump* antara lain:

- a. jumlah air pencampuran,
- b. kandungan semen,
- c. gradasi campuran pasir-kerikil,

- d. bentuk butiran agregat kasar,
- e. butir maksimum, dan
- f. cara pemadatan.

2.2.5. Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan (BSN, 1990). Kuat tekan beton pada umumnya dijadikan acuan untuk menentukan mutu atau kualitas suatu material beton. Beton harus dirancang proporsi campurannya agar menghasilkan suatu kuat tekan rata-rata yang disyaratkan. Beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan tekan beton, diantaranya adalah rasio air-semen (FAS), jenis semen, bahan tambahan yang digunakan, agregat, air, kondisi kelembapan udara saat perawatan benda uji (*curing*), dan umur beton saat diuji (Setiawan, 2016). Kuat tekan beton dapat dihitung dengan Persamaan 2.1 berdasarkan (BSN, 1990).

$$f'c = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

- $f'c$ = kuat tekan beton (kg/cm²),
- P = beban maksimum (kg), dan
- A = luas penampang (cm²).