

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Campuran beton adalah salah satu bahan konstruksi yang digunakan pada pembangunan struktur. Pada saat proses penuangan campuran beton di cetakan terdapat jeda waktu dikarenakan pergantian truk *mixer* yang mengakibatkan lapisan beton di dalam cetakan menjadi mengeras sebelum sisa beton yang lain dituangkan. Keadaan tersebut dinamakan *cold joint* atau sambungan dingin. Untuk mengatasi keadaan tersebut perlu adanya penelitian untuk mencegah dampak tersebut. Penelitian ini melakukan pengujian terhadap *cold joint* dengan kuat tekan dan menambahkan bahan kimia berupa *besmittel* yang berfungsi untuk agar beton lebih cepat keras di usia muda serta mengurangi pemakaian air pada saat pengecoran sehingga bisa menghasilkan beton yang berkekuatan awal tinggi atau biasa disebut HES (*high early strength*).

Penelitian terdahulu yang telah meneliti *cold joint* dan HES (*high early strength*) antara lain sebagai berikut.

1. *Effects of cold joint an 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. *Mechanical behavior of concrete cold joint* (A. Torres dkk, 2015)
4. *Conrete cold joint formation in hot weather conditions* (Illangakoon dkk, 2019)
5. *Effect of cold joint om strength of concrete* (Rathi dan Kolase, 2013)
6. *Investigation on the effects of mix water temperatur eon High-Early strength cement concrete properties- An experimental work and case study* (Eskandarsefat, 2018)
7. *Effects of metakolin on a novel aerated megnesium phosphate cement with high early strength* (Yi dkk, 2018)
8. *Ultrasonic evaluation of mechanical properties of concretes produced with high early strength cement* (Haach dkk, 2015)

9. *Experimental study on the development of compressive strength of early concrete age using calcium-based hardening accelerator and high early strength cement* (Min dkk, 2014)
10. *A novel waterproof, fast setting and high early strength repair material derived from metakaolin geopolymer* (Duan dkk, 2016)

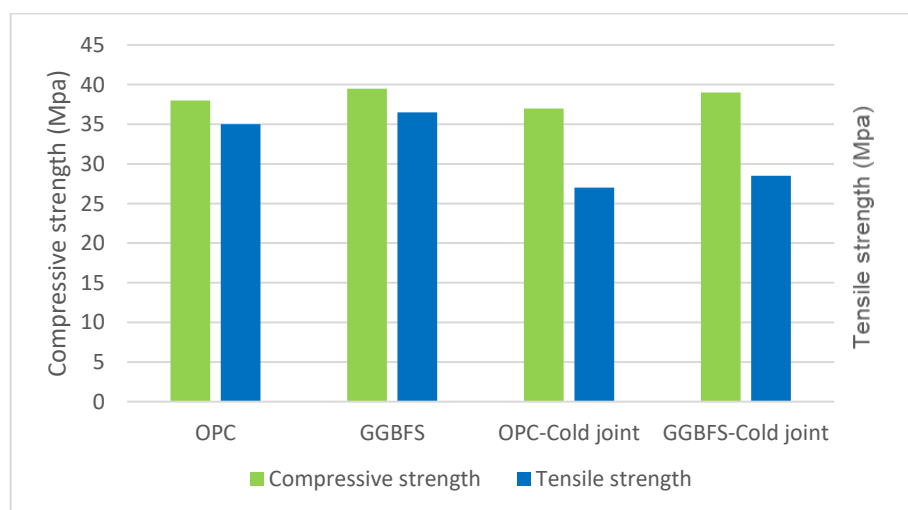
2.1.1. Cold Joint

Penelitian *cold joint* ada lima tinjauan yang nantinya akan mendukung penelitian ini yang dilakukan, di antaranya sebagai berikut.

Yoo dan Kwon (2016) melakukan penelitian tentang efek sambungan dingin dan kondisi pemuatan terhadap difusi klorida dalam konsentrasi mengandung GGBFS. Penelitian ini dijelaskan beton bertulang mengalami kerusakan dan korosi pada baja yang dianggap sebagai salah satu masalah paling kritis. Untuk konstruksi struktur yang efisien, campuran beton harus dituang secara terus-menerus, bila campuran beton tertunda maka akan terjadi kondisi buruk yaitu *cold joint* di permukaan beton. Klorida akan masuk ke dalam beton *cold joint* lebih cepat dari pada suara beton dan juga dipengaruhi oleh kondisi pembebanan. Penelitian ini menunjukkan evaluasi kuantitatif pada koefisien difusi klorida yang mempertimbangkan efek dari kondisi *cold joint*. Untuk pekerjaan, siapkan sampel beton dengan rasio 0,6 dari w/b (*water to binder*). Tegangan tekan dan tarik diinduksi dengan 30% dan 60% dari kekuatan *ultimate* masing-masing. Untuk menganalisis efek dari GGBFS (*Ground Granulated Blast Furnace Slag*) pada difusi klorida, 40% dari rasio GGBFS diganti dengan OPC (Ordinary Portland Cement). Koefisien difusi klorida diperkirakan menurun menjadi 30% dari tingkat pengisian dan meningkat dalam kondisi tekan. Ketika pengisian meningkat lebih dari 60% koefisien difusi klorida akan meningkat menjadi 1,34-1,78 kali untuk beton normal dan 2,32-2,52 kali untuk beton GGBFS. Secara khusus koefisien difusi klorida naik dengan bentuk kuadrat untuk beton normal.

Yang dkk. (2018) melakukan penelitian tentang efek sambungan dingin dan waktu pada difusi klorida dalam beton yang mengandung GGBFS dalam berbagai kondisi pemuatan. Pada penelitian ini, mengkaji tentang perubahan koefisien difusi klorida dalam *cold joint* yang mempertimbangkan pengaruh waktu dan kondisi pembebanan. Pengaruh waktu dan *cold joint* pada difusi

klorida merupakan parameter yang penting untuk desain daya tahan kuantitatif beton bertulang dalam berbagai kondisi pembebanan. *Cold joint* berarti daerah yang lemah mungkin terjadi akibat pengobatan yang tidak sempurna di permukaan beton sebelum ditempatkan dan pengiriman beton yang tertunda. Sampel beton dengan 0,6 dari w/b (*water to binder*) dengan rasio penggantian yang disiapkan 40% dari GGBFS (*Ground Granulated Blast Furnace Slag*), koefisien difusi klorida diukur selama 1 tahun yang mempertimbangkan tarik dan kondisi pembebanan tekan. Hasil dianalisis dengan hasil sebelumnya di 91 hari beton untuk evaluasi pengaruh waktu. Penelitian ini koefisien difusi diukur dengan mempertimbangkan waktu, *cold joint*, dan pada kondisi pembebanan. Pengisian hingga 60% dapat menyebabkan retak mikro dan mempengaruhi difusi klorida, tetapi efek retak dan *cold joint* tidak dapat diperoleh karena keterbatasan waktu dan peralatan yang tidak memadai. Pengaruh waktu, GGBFS, dan kondisi pembebanan secara kuantitatif dievaluasi bersama pada *cold joint* dan dibandingkan dengan hasil tes sebelumnya. Difusi koefisien dalam beton sembuh selama 1 tahun menunjukkan sifat yang berbeda-beda hampir sama dengan tes sebelumnya sembuh pada 91 hari. Untuk beton normal, ada perubahan signifikan untuk tingkat pembebanan 30% karena keterkaitan pori berkurang tapi akan cepat meningkat 60%. Waktu *curing* diperpanjang dari 91 hari menjadi 365 hari, mengalami penurunan karena hidarsi semen bertambah dan pepadatan pori dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Perbandingan *compressive strength* dan *tensile strength cold joint* dengan OPC dan GGBFS (Yang dkk., 2018)

Dalam pemadatan beton normal, OPC beton menunjukkan 78,4-99,3% dari penurunan rasio sementara GGBFS menunjukkan 70,84,3%. Di bawah tarik maksimum pembebanan adalah (60%), berkurang hanya 99,3% karena beban tarik terbatas. Beton GGBFS, 77,7-84,3% dan 70,6-78,7% dari penurunan kuat tarik dan tekan, pada efek *curing* masing-masing membesar dalam GGBFS tanpa *cold joint* masih efektif untuk penyembuhan retak mikro dan menutup pori. Untuk beton dengan *cold joint*, rasio penurunan klorida di OPC adalah 99,2% (60% pembebanan tarik) dan 81,0% (60% dari pembebanan tekan), namun jauh menurun 80,2% (60% dari pembebanan tarik) dan 71,0% (60% dari pembebanan tekan), yang menyatakan GGBFS dapat digunakan secara efektif dan memiliki bagian *cold joint* di bawah kondisi pembebanan.

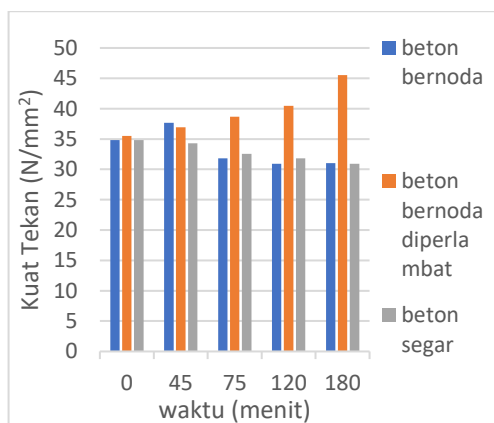
Torres dkk. (2015) melakukan penelitian tentang perilaku mekanis sambungan dingin pada beton. Beton *cold joint* merupakan bagian beton yang tidak dirawat yang disebabkan oleh hambatan pada saat pengecoran yang dapat mempengaruhi kinerja sistem struktural. Dalam penelitian ini membahas masalah *cold joint* dari dua perspektif yang saling melengkapi. a) Hilangnya resistensi akibat terjadinya *cold joint* di beton yang diukur melalui program dan b) model konstitutif yang diusulkan dan kinerjanya dianalisis untuk mensimulasikan perilaku tergantung waktu beton di bawah beban (*viscosity*) dan tidak ada beban (*setting*). Kuat tekan dan kuat tarik *cold joint* tidak langsung diuji dengan diameter beton 15 cm dan 30 cm, melainkan harus diinduksikan secara vertikal, diagonal, dan horizontal. Waktu pembentukan *cold joint* di dalam cetakan logam 2, 4, 6, dan 8 jam dan dilakukan tes kekuatan *ultimate* pada sampel pada usia beton 3, 7, dan 28 hari. Resistensi berkurang lebih dari 30% untuk beton silinder *cold joint* dengan sambungan diagonal yang mengalami tekanan dan sambungan vertikal mengalami kuat tarik tidak langsung yang mengakibatkan berkurangnya resistensi mencapai 42% dengan waktu pembentukan sendi yang lama dan usia muda untuk sampel. Beton silinder dengan *cold joint* horizontal tidak menunjukkan kehilangan resistensi. Resistensi yang hilang tergantung pada orientasi *cold joint* dengan arah tekanan. Silinder beton dengan *cold joint* mengalami *uniaxial* kuat tekan mengakibatkan adanya regangan dan tegangan di dekat sendi. Besarnya tekanan yang lebih tinggi karena perbedaan antara volume

beton silinder lebih tinggi. Perbedaan kekakuan terbesar yang diberikan pada silinder beton di usia muda dengan waktu pembentukan sendi yang lama dan kekuatan silinder beton lebih kecil di usia tua dengan waktu pembentukan sambungan yang lebih pendek karena beton mengalami penurunan pengaturan kecepatan. Mengapa silinder dengan waktu pembentukan sambungan tertentu dapat kehilangan presentase yang lebih tinggi di kuat tekan pada usia muda dari usai yang lebih tua. Hilangnya presentase tertinggi kuat tekan dalam silinder dengan *cold joint* diagonal dari pada silinder dengan sambungan horizontal karena komponen terbesar dari tegangan geser dan tegangan *Von Mises* adalah menunjukkan dalam sudut 45° yang konsisten pada kemiringan sendi diagonal.

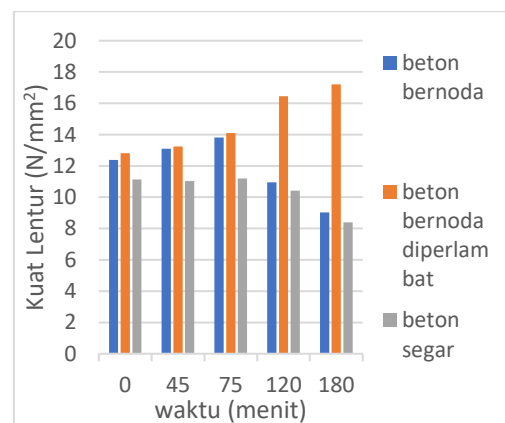
Illangakoon dkk. (2019) melakukan penelitian tentang membentuk formasi sambungan dingin dalam kondisi cuaca panas. Kemampuan struktur beton dapat dipengaruhi oleh adanya *cold joint* yang disebabkan oleh kerusakan pada tulangan baja pada beton, penurunan kekuatan, dan rusaknya estetika di permukaan beton. Dalam kondisi cuaca panas, terjadi pembentukan *cold joint* yang bisa parah karena penguapan di permukaan yang berlebihan dan perilaku *setting* beton yang cepat. *Cold joint* diuji dengan menggunakan kuat lentur dengan menggunakan balok beton *cold joint*. Beton segar dengan suhu awal 25°C yang diuji dengan suhu 25°C dan 45°C . *Cold joint* dapat terbentuk karena terjadi penundaan waktu di dua lapisan beton yang berturut-turut interval yang kurang dari waktu pengaturan awal, diukur menurut ASTM C403/C403M (ketahanan penetrasi yaitu $3,5 \text{ N/mm}^2$). Hasil percobaan ini menunjukkan bahwa *cold joint* terbentuk ketika ketahanan penetrasi lebih dari $0,5 \text{ N/mm}^2$ dan ketahanan penetrasi tidak tergantung pada suhu di sekitarnya. Pada ketahanan penetrasi $0,5 \text{ N/mm}^2$, *cold joint* yang memiliki dampak rendah pada kekuatan lentur walaupun sendi terlihat tetapi tidak mempengaruhi kekuatan lentur secara signifikan. Penurunan kekuatan yang signifikan terjadi di lapisan beton pertama, yang mulai pada ketahanan penetrasi $1,0 \text{ N/mm}^2$. Hali ini baik sebelum waktu *setting* awal beton. Pada *setting* awal beton interval waktu tidak berpengaruh untuk kondisi normal dan kondisi panas. Beton segar pada saat penempatan lebih dominan mengurangi waktu penempatan antara dua lapisan yang mempunyai suhu lingkungan. Beton tidak akan bekerja jika ketahanan penetrasi lebih dari $0,5$

N/mm^2 (*slump* menjadi 0). Pada batas getaran beton ini menggunakan uji ulang vibrator dan metode ini dapat digunakan sebagai tes lapangan untuk menghindari pembentukan *cold joint*. Getaran ulang kembali muncul antara 0,4 dan 0,6 N/mm^2 ketahanan penetrasi dan ketahanan ini adalah netral dari suhu di sekitar. Getaran ulang beton tidak boleh dilakukan setelah batas ketahanan dengan cara menggunakan vibrator, hanya setelah tahap ini dapat terjadi pembentukan *cold joint*.

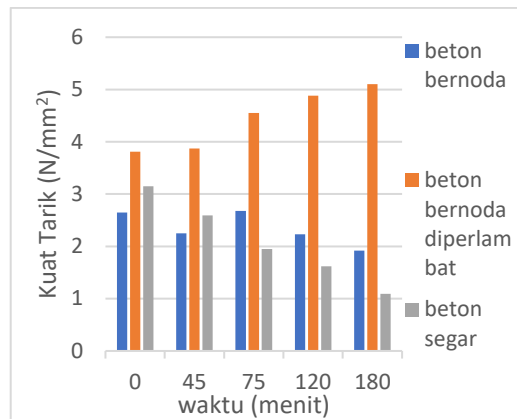
Rathi dan Kolase (2013) melakukan penelitian tentang pengaruh kekuatan sambungan dingin beton. Keterlambatan pengecoran karena berbagai kondisi serta urutan pengecoran yang tidak tepat dapat mengakibatkan *cold joint*. Untuk penundaan panjang pada pengecoran, beton harus tetap berjalan secara berkala dan harus digetarkan untuk menjaga beton. Namun, beton tidak boleh terlalu bergetar ke titik yang menyebabkan kerugian pada *casting* beton. Pada penelitian ini memberikan data kekuatan simulasi urutan *casting* yang tidak tepat. Untuk mengatasi masalah ini yang menyebabkan *cold joint*, peneliti telah menggunakan gula sebagai zat perlambat. Untuk membuktikan percobaan ini, peneliti melakukan percobaan pada tiga jenis beton kelas M25, seperti beton berbintik, beton berbintik dengan di perlambat, dan beton segar dapat dilihat pada Gambar 2.2



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.2 Perbandingan (a) kuat tekan (b) kuat lentur (c) kuat tarik antara beton bernoda, beton bernoda diperlambat, dan beton segar secara horizontal (Rathi dan Kolase, 2013)

Hasil percobaan kuat tekan, kuat lentur, dan belah tarik dengan tiga jenis beton di atas menunjukkan bahwa beton bernoda dengan di perlambat memberikan peningkatan kekuatan dibandingkan dengan kekuatan beton bernoda dan beton segar dalam bidang horizontal.

2.1.2. *High Early Strength (HES)*

Dalam penelitian *high early strength (HES)* akan digunakan lima tinjauan yang nantinya akan mendukung penelitian ini yang dilakukan, di antaranya sebagai berikut.

Eskandarsefat (2018) melakukan penelitian tentang investigasi pada efek suhu air campuran eon Semen beton kekuatan awal tinggi sebuah karya eksperimental dan studi kasus. Dalam banyak konstruksi dan terutama proyek *paving*, cuaca dingin dianggap sebagai salah satu hambatan pada pembangunan konstruksi di iklim dingin. Menurut sebagian besar spesifikasi beton, beton harus dijaga dari pembekuan selama kurang lebih 24 jam setelah ditempatkan dalam cuaca dingin. 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 ijinan untuk menghasilkan beton dengan semen kekuatan awal tinggi. Suhu air sangat mempengaruhi tingkat *slump*. 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 $50 \pm 5^\circ\text{C}$. Suhu sangat berpengaruh terhadap campuran beton, dibutuhkan suhu optimal untuk mengeras pada kisaran 14 hingga 18°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.

Yi dkk. (2018) melakukan penelitian tentang efek *metakolin* pada semen *magnesium fosfat aerasi* dengan kekuatan awal yang tinggi. *Magnesium Fosfat Cement* (MPC) adalah bahan pengikat yang terdiri dari magnesium dan fosfat yang mati terbakar dan proses hidrasi pada dasarnya adalah reaksi asam basa. MPC terbukti menjadi bahan semen untuk bahan berpori dengan kekuatan awal tinggi di bawah kondisi *curing*. Tetapi, ketahanan terhadap air yang buruk dari bahan berpori MPC yang membatasi aplikasi lebih lanjut. Penelitian ini menggunakan *metakaolin* untuk meningkatkan kinerja MPC aerasi. Hasil pengujian ditunjukkan bahwa keberadaan *metakolin* mengakibatkan pori-pori lebih halus yang membuat struktur pori lebih seragam. Kuat tekan *Metakaolin* naik dan tahan air dengan sedikit dampak negatif pada properti isolasi MPC aerasi. Untuk MPC aerasi dengan kepadatan 650 kg/m^3 , penggantian MgO dengan 30% metakaolin dapat meningkatkan 28 hari menjadi 4,2 Mpa, 43,4% lebih tinggi dari yang diperkirakan MPC tanpa *metakaolin*. *Metakaolin* dapat naik daya tahan air MPC aerasi secara signifikan. Penyerapan air *metakaolin* yang dimodifikasi MPC aerasi dengan kepadatan sekitar 650 kg/m^3 sesudah 48 jam perendaman bisa rendah sekitar 20%. *Metakaolin* dimodifikasi MPC aerasi dengan kepadatan sekitar 650 kg/m^3 memiliki kekuatan 3 jam sekitar 3 Mpa. Penambahan *metakaolin* dapat menghasilkan lebih banyak pori-pori lebih halus dengan struktur pori yang lebih seragam dalam MPC aerasi. Ini bisa terjadi atas peningkatan kekuatan tekan.

Haach dkk. (2015) melakukan penelitian tentang evaluasi ultrasonik dari sifat mekanik beton yang diproduksi dengan semen kuat awal yang tinggi

Penelitian ini dievaluasi penggunaan ultrasonik untuk karakteristik sifat mekanik beton diproduksi dengan semen berkekuatan awal tinggi. Ukuran agregat dan proporsi bahan yang variabel dianalisis. Tes ultrasonik dilakukan dari awal hingga 28 hari setelah dibuat dan hubungan yang sangat baik antara modulus elastisitas dinamis dan kuat tekan yang tercapai. Hasilnya menunjukkan modulus elastisitas dan kuat tekan beton yang dihasilkan dengan semen berkekuatan awal tinggi meningkat secara signifikan dalam 24 jam pertama. Metode ultrasonik sedikit rentan terhadap gangguan eksternal dibandingkan dengan tes statis lebih cocok untuk modulus elastisitas beton. Modulus elastisitas dinamis adalah 39,1% lebih tinggi dari yang statis. Namun, hubungan antara dinamis dan modulus elastisitas tidak menunjukkan korelasi dengan kuat tekan beton. Modulus elastisitas dengan kuat tekan berhubungan dengan usia oleh hukum eksponensial yang ditunjukkan pada persamaan. Peningkatan modulus elastisitas bisa mencapai 15% antara 24 jam dan 28 hari. Tes ultrasonik bisa dianggap sebagai metode evaluasi yang murah, sederhana dan akurat dari modulus elastisitas beton. Selain itu karena keterkaitan yang baik antara modulus elastisitas dinamis dan kuat tekan beton. Pengujian ultrasonik telah terbukti ada untuk estimasi kuat tekan beton.

Min dkk. (2014) melakukan penelitian tentang studi eksperimental pada pengembangan kekuatan tekan usia beton awal menggunakan akselerator pengerasan berbasis kalsium dan semen kekuatan awal tinggi. Uap *curing* diperlukan dalam pembuatan beton pracetak. Dengan demikian, sejumlah besar energi yang dikonsumsi dan pergantian bentuk rendah. Penelitian ini berdampak penurunan produktivitas dan berfokus pada pengembangan kekuatan tahap awal untuk beton pracetak lebih dari 10 MPa setelah 6 jam pengeringan pada suhu kamar tanpa pengeringan uap. Berbagai alat analisis mikro seperti TG/DTA, *Conduction Calorie Meter*, XRD, SEM dan MIP dilakukan pada beton dan pasta semen dengan jumlah yang digunakan berbasis kalsium pengerasan akselerator (CHA) untuk *tricalcium silikat* (C3S). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa efek reaksi CHA dihentikan sebelum mencapai 12 jam, *setting* awal beton dalam 80 menit dengan 3% dari CHA. Tingkat panas naik kuat tekan pada usia awal dan hasil *Ettringite*, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan C-S-H naik pada usia awal karena CHA akan merangsang (C₃A) dan C₃S dalam kekuatan awal tinggi semen saat digunakan

akselerator dengan pengerasan kalsium yang menjadi semen berkekuatan awal tinggi. Untuk spesimen beton, kuat tekan meningkat karena jumlah yang digunakan pengerasan akselerator meningkat. Kuat tekan beton lebih dari 10 MPa setelah 9 jam *curing* pada 20°C dengan 3% pengerasan akselerator. Tingkat panas dalam pasta semen naik dengan meningkatnya suhu yang digunakan pengerasan akselerator.

Duan dkk. (2016) melakukan penelitian tentang bahan anti air, pengaturan cepat dan perbaikan awal kekuatan tinggi yang berasal dari *metakaolin geopolimer*. bahan tahan air yang berbahan perbaikan *geopolimer* dengan permukaan *hidrofobik* dan kuat tekan tinggi. Hasil penelitian ditunjukkan bahwa perubahan permukaan *hidrofobik* sudah tercapai karena meningkatnya sudut kontak pada permukaan *geopolimer* dari 21 hingga 122. Setelah diamati bahwa penyerapan air bervariasi antara 0,01 dan 0,52. Bahan perbaikan *geopolimer* yang baru dikembangkan memiliki waktu *setting* pendek sekitar 24 menit, *flow* tinggi dari 212 mm dan kuat tekan awal yang tinggi mulai dari 5 MPa pada satu dan 7,6 Mpa pada 7 hari. Karakteristik penyerapan air yang sangat rendah dibandingkan dengan *geopolimer* dengan penyerapan air yang tinggi. *Geopolimer* ini bisa digunakan untuk perbaikan jalan beton atau sebagai pelapis perlindungan untuk beton laut karena memiliki keawetan dan kekuatan yang tinggi.

2.1.3. Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Perbedaan yang mendasari penelitian sekarang dengan terdahulu terkait *cold joint* (sambungan dingin) berkekuatan awal tinggi pada beton diantaranya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 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

Tabel 2. 2 Perbedaan penelitian terdahulu dan sekarang (lanjutan)

No.	Penelitian	Jenis penelitian	Perbedaan	
			Terdahulu	Sekarang
2	<i>Time and cold joint effect on chloride diffusion in concrete containing GGBFS under various loading conditions</i> (Yang dkk, 2018)	Pengujian Lab	Waktu dan efek <i>cold joint</i> dianalisis terhadap difusi klorida pada beton <i>GGBFS</i>	Efek <i>cold joint</i> dianalisis terhadap kuat tekan beton
3	<i>Mechanical behavior of concrete cold joint</i> (A. Torres dkk, 2015)	Pengujian Lab	Waktu jeda pembentukan <i>cold joint</i> 2, 4, 6, dan 8 jam menggunakan silinder beton	Waktu jeda pembentukan <i>cold joint</i> 120 dan 240 menit menggunakan kubus beton
4	<i>Concrete cold joint formation in hot weather conditions</i> (Illangakoon dkk, 2019)	Pengujian Lab	Efek <i>cold joint</i> dianalisis dalam kondisi cuaca panas	Efek <i>cold joint</i> dianalisis terhadap kuat tekan beton
5	<i>Effect of cold joint on strength of concrete</i> (Rathi dan Kolase, 2013)	Pengujian Lab	Waktu jeda pembentukan <i>cold joint</i> 45, 75, 120, dan 180 menit menggunakan kubus beton	Waktu jeda pembentukan <i>cold joint</i> 120 dan 240 menit menggunakan kubus beton
6	<i>Investigation on the effects of mix water temperature on High-Early strength cement concrete properties- An experimental work and case study</i> (Eskandarsefat, 2018)	Pengujian Lab	Semen yang digunakan khusus untuk beton kuat tekan awal tinggi	Zat adiktif (<i>besmittel</i>) digunakan untuk beton kuat tekan awal tinggi

Tabel 2. 3 Perbedaan penelitian terdahulu dan sekarang (lanjutan)

No.	Penelitian	Jenis penelitian	Perbedaan	
			Terdahulu	Sekarang
7	<i>Effects of metakolin on a novel aerated magnesium phosphate cement with high early strength</i> (Yi dkk, 2018)	Pengujian Lab	Semen yang digunakan yaitu <i>magnesium fosfat cement</i> (MPC untuk beton kuat tekan awal tinggi	Zat adiktif (<i>besmittel</i>) digunakan untuk beton kuat tekan awal tinggi
8	<i>Ultrasonic evaluation of mechanical properties of concretes produced with high early strength cement</i> (Haach dkk, 2015)	Pengujian Lab	Semen yang digunakan khusus untuk beton kuat tekan awal tinggi dan pengujian digunakan tes ultrasonik untuk kuat tekan dan modulus elastisitas beton	Zat adiktif (<i>besmittel</i>) digunakan untuk beton kuat tekan awal tinggi dan pengujian dilakukan tes kuat tekan beton
9	<i>Experimental study on the development of compressive strength of early concrete age using calcium-based hardening accelerator and high early strength cement</i> (Min dkk, 2014)	Pengujian Lab	<i>Calcium-based hardening accelerator</i> dan semen kuat tekan awal tinggi yang digunakan	Zat adiktif (<i>besmittel</i>) digunakan untuk beton kuat tekan awal tinggi
10	<i>A novel waterproof, fast setting and high early strength repair material derived from metakaolin geopolymer</i> (Duan dkk, 2016)	Pengujian Lab	<i>Geopolymer</i> digunakan untuk beton kuat tekan awal tinggi	Zat adiktif (<i>besmittel</i>) digunakan untuk beton kuat tekan awal tinggi

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Beton

a. Beton Normal

Beton adalah campuran antara agregat kasar, agregat halus, semen *portland* atau semen *hidrolis* lainnya, air, dan atau bahan tambahan (*admixture*) yang telah dicampur secara menyeluruh (warna sama) yang menghasilkan campuran yang plastis (antara padat dan cair) sehingga dapat dituang ke dalam cetakan untuk membentuk menjadi bentuk yang diinginkan setelah menjadi padat atau keras (Tjokrodimuljo, 1992).

b. Beton *cold joint*

Beton *cold joint* merupakan bagian beton yang tidak dirawat yang disebabkan oleh hambatan pada saat pengecoran yang dapat mempengaruhi kinerja sistem struktural (Torres dkk, 2015). *Cold joint* terbentuk karena lamanya waktu *setting* 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). Interval penempatan pengecoran yang diizinkan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 4 Standar interval penempatan pengecoran yang diizinkan (JSCE,2007)

Temperatur di lingkungan	Jeda waktu yang diizinkan antara dua penempatan pengecoran
$\leq 25^{\circ} \text{ C}$	2,5 jam
$> 25^{\circ} \text{ C}$	2 jam

2.2.2. Bahan Penyusun Beton

a. Semen

Semen *portland* adalah semen hidraulik yang dihasilkan dengan menggiling *kliner* yang terdiri dari kalsium silikat hidraulik, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan

yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya (ASTM, 2015). Menurut setiawan (2016) semen *portland* adalah material berbentuk bubuk berwarna abu-abu yang banyak mengandung aluminium silika dan kalsium. Bahan dasar pembuatan semen sebenarnya adalah lempung atau tanah liat yang banyak mengandung SiO₂ dan AL₂O₃ serta batu kapur yang mengandung CaO.

Menurut (BSN, 1989) semen *portland* dibagi menjadi 5 jenis, yaitu sebagai berikut.

- a) Jenis V, yaitu semen *portland* untuk konstruksi yang menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.
- b) Jenis IV, yaitu semen *portland* untuk konstruksi yang menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah
- c) Jenis III, yaitu semen *portland* untuk konstruksi yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi
- d) Jenis II, yaitu semen *portland* untuk konstruksi yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang
- e) Jenis I, yaitu semen *portland* untuk konstruksi umum yang penggunaan tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang diisyaratkan pada jenis lain.

b. Air

Syarat air yang dapat diperlukan dalam proses pencampuran beton menurut (ASTM, 2015) adalah sebagai berikut ini.

- a) Air yang ditimbang oleh operator truk.
- b) Air yang masuk dalam bentuk bahan-bahan tambahan, apabila air ini dapat meningkatkan rasio air semen lebih dari 0,01.
- c) Air pencampur yang seluruh atau sebagian terdiri dari sumber-sumber air yang tidak dapat di minum atau air dari produksi beton boleh digunakan dalam setiap proporsi dengan batasan kualitas memenuhi syarat.
- d) 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 pengujian dan persyaratan.
- e) Air untuk pengadukan (air yang ditimbang atau di ukur di *batching plant*).

- f) Air bebas pada agregat-agregat.
- g) Air minum boleh digunakan sebagai air pencampur beton tanpa diuji apakah sesuai persyaratan standar.
- h) Sumber-sumber air yang tidak bisa diminum harus memenuhi syarat penggunaan sesuai pengujian dan persyaratan.

c. Agregat Halus

Menurut BSN (2002) agregat halus adalah agregat dengan besar butir maksimum 4,76 mm berasal dari hasil olahan atau alam (hasil penyaringan atau terak tanur tinggi, pemecahan). Persyaratan agregat halus secara umum menurut (BSN, 2002) adalah seperti berikut ini.

- a) Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (terhadap berat kering), jika kadar lumpur melampaui 5% maka pasir harus dicuci.
- b) Modulus halus butir 1,5-3,8 dengan variasi butir sesuai gradasi.
- c) Butir-butir halus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.
- d) Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras.
- e) Agregat halus tidak mengandung zat organik.

d. Agregat Kasar

Menurut BSN (2002) agregat kasar merupakan kerikil hasil disintegrasi alami dari batuan yang mempunyai ukuran butir 5-40 mm. Agregat kasar untuk bahan bangunan sebaiknya dipilih yang memenuhi persyaratan sebagai berikut ini.

- a) Kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca (hujan dan terik matahari). Jika diuji dengan larutan garam Natrium Sulfat bagian yang hancur maksimum 12 %, jika dengan garam Magnesium Sulfat maksimum 18 %.
- b) Tidak boleh mengandung zat-zat yang aktif terhadap alkali.
- c) Modulus halus butir antara 6-7,10 dengan variasi butir sesuai standar gradasi.
- d) Butir-butirnya keras dan tidak berpori, indeks kekerasan \leq % % (diuji dengan goresan batang tembaga). Bila diuji dengan bejana *Rudeloff* atau *Angels*.

- e) Tidak mengandung lumpur (butiran halus yang lewat ayakan 0,06 mm) lebih dari 1 %.
- f) Butiran agregat yang dipipih dan panjang tidak boleh ≥ 20 %.
- g) Ukuran butir maksimum tidak boleh dari: $\frac{1}{3}$ tebal pelat beton, $\frac{3}{4}$ jarak bersih antar tulangan atau berkas tulangan, $\frac{d}{5}$ jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan.

2.2.3. Bahan Tambah zat adiktif (*besmittel*)

Menurut Mulyono (2004) bahan tambah mineral (*additive*) adalah bahan tambah yang berguna untuk memperbaiki kinerja beton sehingga bahan ini lebih cenderung bersifat pengikat. Ada beberapa bahan tambah yang tergolong dalam bahan tambah mineral antara lain adalah *slag*, *pozzolan*, *silica flume*, dan *fly ash*.

Keuntungan penggunaan bahan tambah mineral antara lain:

- a. mengurangi penyusutan,
- b. mempertinggi daya tahan terhadap serangan sulfat,
- c. mempertinggi kekuatan beton,
- d. mempertinggi daya tahan terhadap serangan reaksi alkali-silika,
- e. mengurangi porositas dan daya serap air dalam beton, mengurangi biaya pekerjaan beton,
- f. memperbaiki kinerja *workability*, dan
- g. mempertinggi usia beton.

2.2.4. *Slump Test*

Pengujian *slump* adalah teknik pengetesan untuk mengetahui *workability* (kemudahan pengerjaan beton segar) sebelum diaplikasikan dalam pekerjaan pengecoran. Dalam campuran beton, kadar air sangat diperhatikan karena dapat menentukan tingkat *workability*. Campuran beton yang sangat cair akan menyebabkan mutu beton rendah dan lama mengering. Sedangkan campuran beton yang terlalu kering akan menyebabkan adukan tidak merata dan sulit untuk dicetak. Menurut (Mulyono, 2003) unsur-unsur yang mempengaruhi nilai *slump* antara lain:

- a. butir maksimum,
- b. gradasi campuran pasir-krikil,

- c. cara pemadatan dan alat pemadat,
- d. jumlah air pencampuran (FAS),
- e. bentuk butiran agregat kasar, dan
- f. kandungan semen.

2.2.5. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan besarnya beban yang mengalami benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan yang dihasilkan oleh mesin tekan dan dinyatakan dalam per satuan luas (BSN, 1990). Kuat tekan beton pada umumnya dijadikan acuan menentukan kualitas atau mutu material beton. Beton harus diperhitungkan proporsi campuran agar menghasilkan kuat tekan beton yang diinginkan. Faktor yang mempengaruhi kekuatan tekan beton adalah rasio air-semen (FAS), kondisi kelembapan udara saat perawatan benda uji (*curing*), bahan tambahan yang dipakai, agregat, umur beton saat diuji, jenis semen, dan air (setiawan, 2016). Kuat tekan awal tinggi yaitu kuat tekan yang bisa mencapai kuat tekan beton yang bermutu tinggi pada umur beton yang muda. Beton mutu tinggi adalah beton yang tidak selalu dicapai hanya dengan penggunaan material yang standar tanpa penambahan bahan tambah khusus. Beton mutu tinggi biasanya digunakan untuk bangunan struktur yang memerlukan beton dengan kuat tekan lebih dari 40 MPa (Luga dan Atis, 2016). Kuat tekan awal tinggi terjadi karena pada rasio air beton berkurang yang mengakibatkan nilai kuat tekan beton yang tinggi akan tetapi *workability* menjadi susah. Penambahan bahan tambah tujuannya adalah untuk mempermudah *workability* dan bisa mendapatkan nilai kuat tekan di awal yang tinggi. Perhitungan kuat tekan beton dapat dihitung dengan Persamaan 2.1 berdasarkan (BSN, 1990)

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

Keterangan:

- f'_c = kuat tekan (MPa),
- A = luas penampang (cm²), dan
- P = beban maksimum (kg).