

PANAS HIDRASI BETON MASSA YANG MENGGUNAKAN SEMEN PORTLAND KOMPOSIT

Anshar¹, M. W. Tjaronge², R. Djamaluddin³ dan A. A. Amiruddin⁴

¹Mahasiswa Program Studi S3 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin,
Email: anshar_pu@yahoo.co.id

²Professor, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: tjaronge@yahoo.co.jp

³Professor, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: rudy0011@gmail.com

⁴Asosiasi Professor, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: a.arwinamiruddin@yahoo.com

ABSTRAK

Beton massa (*mass concrete*) adalah volume beton dengan dimensi yang sedemikian besar sehingga membutuhkan tindakan-tindakan tertentu untuk mengatasi pertumbuhan panas yang berlebihan yang dapat memicu timbulnya keretakan. Banyak timbul kasus keretakan pada beton massa yang dilaporkan dalam berbagai kasus dan yang paling banyak diakibatkan oleh panas hidrasi (*thermal hydration*) oleh reaksi kimia semen. Reaksi hidrasi yang terjadi sangat ditentukan oleh reaktifitas masing-masing senyawa utama. Senyawa C3A adalah yang paling reaktif, senyawa ini bereaksi dengan cepat, kemudian disusul oleh senyawa-senyawa C3S dan C2S. Jadi reaksi hidrasi semen portland akan berjalan dengan cepat sesuai dengan reaktifnya senyawa utama. Untuk semen jenis OPC (*Ordinary Portland Cement*) sudah banyak penelitian yang dilakukan terutama penggunaannya untuk beton massa. Namun untuk semen jenis PCC (*Portland Composite Cement*) tidak banyak penelitian yang dilakukan padahal semen jenis ini sangat banyak terdapat dipasaran dibanding semen jenis lainnya. Dalam penelitian ini akan dilakukan penelitian terhadap panas hidrasi beton massa dengan menggunakan semen tipe PCC. Maksud penelitian ini adalah untuk mendapatkan data-data suhu beton pada beton massa yang terdapat di tengah (*core*) dan dibagian tepi beton massa dengan berbagai karakteristik tipe beton yang berbeda. Perlakuan material lain seperti air campuran, agregat kasar dan agregat halus akan menjadi bahan penelitian juga.

Kata kunci: beton massa, panas hidrasi, semen PCC

1. PENDAHULUAN

Salah satu jenis beton yang sering digunakan untuk konstruksi bangunan besar seperti bendungan, bendung dan *pilecap* jembatan adalah beton massa (*mass concrete*). Perkembangan pembangunan infrastruktur khususnya bendungan di Indonesia saat ini cukup tinggi dengan adanya program 65 bendungan. Beton massa merupakan beton pada struktur masif dengan volume yang sangat besar dan memerlukan perlakuan yang berbeda dengan beton normal mengingat timbulnya panas yang berlebihan pada campuran beton. Pemilihan konstruksi dengan beton massa adalah salah satu pilihan pengecoran secara besar-besaran dan menerus. Pertimbangan yang perlu diperhatikan pada beton massa adalah keretakan yang diakibatkan oleh proses hidrasi semen.

Sekarang ini terdapat banyak pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar batubara. Hasil sampingan dari pembakaran batu bara berupa abu terbang yang tergolong sebagai material polusi (*pollutant*). Di Indonesia, untuk mengurangi limbah maka sejumlah pabrik semen mencampur abu terbang dan limbah yang mengandung pozzolan dengan klinker semen portland untuk menghasilkan Semen Portland Komposit [1] dengan tujuan menurunkan konsumsi energi dan mengurangi penggunaan sumber alam tidak terbarukan [2]. Semen Portland Komposit dapat dikategorikan sebagai CEM II menurut standar Eropa EN 197-1:2000, di Indonesia baru diproduksi pada tahun 2005, namun di Eropa pangsa pasar semen kategori CEM II telah lebih 50%, lebih besar dari Semen Portland Jenis 1 yang hanya sekitar 35% [3].

Selama proses pengerasan akan timbul panas yang diakibatkan oleh reaksi kimia antara semen dengan air (proses hidrasi), ditambah dengan suhu lingkungan yang tinggi. Hal ini akan menyebabkan terjadinya perbedaan panas (*thermal gradient*) antara lapisan inti dengan lapisan luar. Perbedaan panas tersebut akan mengakibatkan konstruksi di dalam tubuh konstruksi masif yang jika melebihi kuat tarik beton akan menimbulkan retak akibat regangan tarik. Penyebaran suhu panas hidrasi di bagian tengah dari lapisan yang di cor akan tersebar, sedangkan pada lapisan luar karena terpapar dengan lingkungan.

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh desain beton massa dengan semen PCC yang dapat digunakan untuk pembangunan bendungan dan struktur lainnya khususnya di Indonesia yang saat ini sedang giat-giatnya dilaksanakan dan kajian desain dan pengaruh struktur akibat keretakan yang timbul pada beton massa.

2. TINJAUAN PUSTAKA

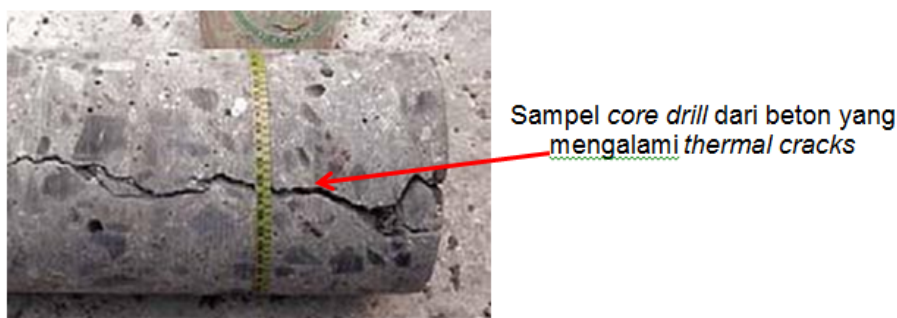
Teori Dasar Beton Massa (*Mass Concrete*)

Beton massa adalah volume beton dengan dimensi yang sedemikian besar sehingga membutuhkan tindakan-tindakan tertentu untuk mengatasi pertumbuhan panas yang berlebihan yang dapat memicu timbulnya keretakan [4]. Suatu elemen struktur dikatakan beton massa apabila memiliki dimensi/ketebalan minimal antara 1 – 1,5 m, atau rasio volume terhadap luas permukaan $> 1,2$ atau lebih, dimana tidak dikehendaki untuk mendapatkan kuat tekan yang sangat tinggi.

Hal yang membedakan beton massa dengan beton biasa yaitu perilaku termik-nya (*thermal behavior*), karena dengan struktur yang besar dan tebal panas hidrasi tidak mudah keluar, sehingga suhu didalam beton menjadi sangat tinggi. Hal ini dikarenakan hidrasi semen merupakan suatu proses yang sangat eksotermik, yang menyebabkan tingginya suhu di bagian inti dari beton massa.

Suatu hal yang harus diperhatikan pada beton massa adalah timbulnya perbedaan suhu maksimum yang besar (*thermal shock*) yang dapat menyebabkan terjadinya kontraksi dan menyebabkan retak adalah $40^{\circ}\text{C}/\text{jam}$ [5] dan adanya perbedaan temperatur beton inti dan beton dibawahnya tidak lebih dari 20°C [6].

Hal ini disebabkan karena terjadi perbedaan suhu yang sangat cepat pada bagian permukaan beton massa, yang menyebabkan perbedaan suhu yang besar dengan bagian inti beton maka hal ini berpotensi akan timbulnya keretakan (*thermal cracking*) seperti pada yang diperlihatkan pada Gambar 1.

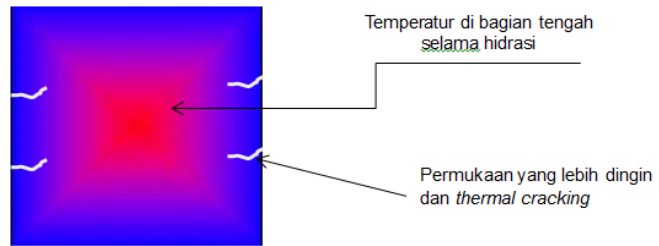


Gambar 1. Contoh beton massa yang mengalami retak thermal

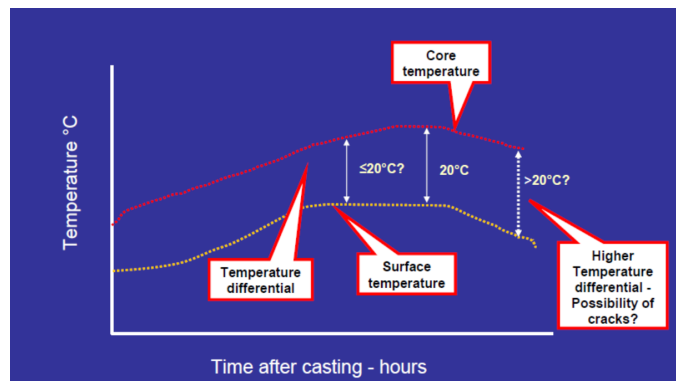
Mekanisme timbulnya *thermal cracking*, dimulai dari proses hidrasi semen yang menghasilkan meningkatnya temperatur dibagian tengah/inti beton massa. Jika bagian luar/permukaan beton massa mengalami pendinginan lebih cepat dari bagian tengah/inti, berikutnya akan terjadi *thermal expansion/contraction*, dan perbedaan temperatur memicu terjadi *thermal (tensile) stress* dibagian permukaan beton massa. Gambar 2 memperlihatkan perbedaan suhu pada beton massa. Gambar 3 memperlihatkan perbedaan temperatur beton massa.

Peningkatan temperatur pada beton massa dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain:

1. Semen : Komposisi kimia, kehalusan dan jumlahnya
2. Agregat : Jenis, jumlah dan CTE (*Coefficient thermal expansion*)
3. Dimensi dan tebal struktur
4. Metode pelaksanaan pengecoran dan *ambient temperature*

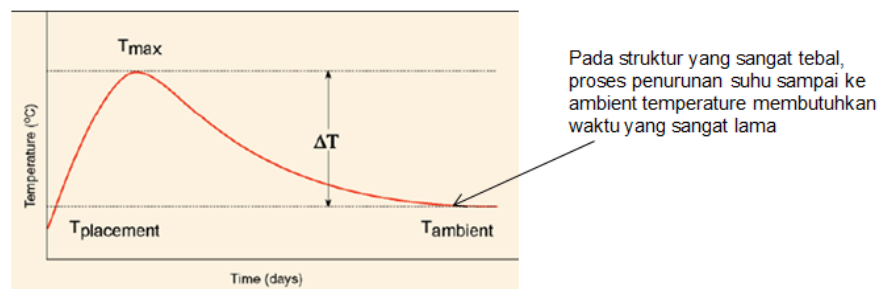


Gambar 2. Perbedaan suhu pada beton massa



Gambar 3. Perbedaan temperatur beton massa

Umumnya peningkatan temperatur pada beton massa (*mass concrete*) dapat terjadi pada hari ke 1 sampai dengan hari ke 3 setelah pengecoran dilakukan. Gambar 4. memperlihatkan grafik temperatur pada beton massa.



Gambar 4. Grafik temperatur pada beton massa

Teori Semen Portland Komposit (PCC)

Semen PCC atau *Portland Composite Cement* atau Semen Portland komposit, adalah semen Portland yang masuk kedalam kategori *blended cement* atau semen campur. Semen ini dibuat atau didesain karena dibutuhkan sifat-sifat tertentu yang mana sifat tersebut tidak dimiliki oleh semen Portland tipe I. Untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu pada semen PCC maka pada proses pembuatannya ditambahkan bahan aditif seperti pozzolan, *fly ash*, *silica fume* dan lain lain.

Menurut SNI 15-7064-2004 [7] maka definisi Semen Portland Komposit adalah: bahan pengikat hidrolisis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gyps dengan satu atau lebih bahan anorganik atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozzolan, senyawa silikat, batu kapur dengan kadar total bahan anorganik 6% – 35 % dari massa semen Portland komposit. Sifat-sifat yang dimiliki semen PCC:

1. Mempunyai panas hidrasi rendah sampai sedang
2. Tahan terhadap serangan sulfat
3. Kekuatan tekan awal kurang, namun kekuatan akhir lebih tinggi

Ditinjau dari sifat yang dimiliki oleh semen PCC maka semen tersebut dapat digunakan sebagai alternatif atau pengganti semen Portland tipe II, IV atau V. Menurut SNI 15-2049-2004 [8], semen Portland adalah semen hidrolis dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambahkan dengan tambahan lain. Klinker semen Portland terdiri dari empat unsur oksida yang utama yaitu CaO (kapur) = C; SiO₂ (silika) = S; Al₂O₃ (alumina) = A; dan Fe₂O₃ (oksida besi) = F serta sejumlah unsur kecil (*minor constituent*). Sifat kimia utama semen Portland dapat dilihat pada Tabel 1 dan sifat kimia tambahan semen Portland seperti C₃A maksimum, C₃A minimum, (C₃S + 2 C₃A), maksimum dan Alkali: (Na₂O + 0,658 K₂O, maksimum diperlihatkan pada Tabel 2, sifat fisika semen Portland berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 15-2049-2004 [8]). Diharapkan dengan semua kandungan-kandungan kimia yang terkandung dalam semen PCC mampu memiliki daya ikat yang baik apabila telah bercampur dengan material-material lain pembentuk beton.

Biro penelitian teknik PT. Semen Tonasa (2012), semen Tipe *Portland Composite Cement* (PCC) merupakan jenis semen varian baru yang mempunyai karakteristik mirip dengan semen OPC pada umumnya, tetapi semen jenis ini mempunyai kualitas yang lebih baik, ramah lingkungan dan mempunyai harga yang lebih ekonomis. Komposisi bahan baku semen PCC adalah klinker, gypsum dan zat tambahan (*additive*).

Tabel 1. Sifat kimia utama semen Portland (SNI 15-2049-2004 [8])

No.	Uraian	Jenis semen Portland (satuan dalam %)				
		I	II	III	I	V
1	SiO ₂ , minimum	-	20,00	-	-	-
2	Al ₂ O ₃ , maksimum	-	6,0	-	-	-
3	Fe ₂ O ₃ , maksimum	-	6,0	-	6,5	-
4	MgO, maksimum SO ₃ , maksimum	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
5	Jika C ₃ A ≤ 80	3,0	3,0	3,5	2,3	2,3
	Jika C ₃ A ≥ 80	3,5	-	4,5	-	-
7	Hilang pijar, maksimum	5,0	3,0	3,0	2,5	3,0
8	Bagian tak larut, maksimum	3,0	1,5	1,5	1,5	1,5
9	C ₃ S, maksimum	-	-	-	35	-
10	C ₂ S, maksimum	-	-	-	40	-
11	C ₃ A, maksimum	-	8,0	15	7	5
12	C ₄ AF + 2 C ₃ A atau C ₄ AF + C ₂ F, maksimum	-	-	-	-	-

Tabel 2. Sifat kimia tambahan semen Portland (SNI 15-2049-2004 [6])

No.	Uraian	Jenis semen Portland (satuan dalam %)				
		I	II	III	I	V
1	C ₃ A, maksimum	-	-	8	-	-
2	C ₃ A, minimum	-	-	5	-	-
3	(C ₃ S + 2 C ₃ A), maksimum	-	58	-	-	-
4	Alkali : (Na ₂ O + 0,658 K ₂ O, maksimum	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60

3. MATERIAL DAN METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di lokasi pembangunan bendungan Karalloe, Kecamatan Tompobulu dan Biringbulu, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan, Laboratorium Riset Eco Material Jurusan Sipil, Fakultas Teknik Gowa Universitas Hasanuddin dan Laboratorium Terapan dan Pengembangan Sains, Ruang XRD dan XRF, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin. Penelitian ini rencana dilaksanakan selama 6 bulan dimulai dari bulan Agustus 2018 sampai Februari 2019.

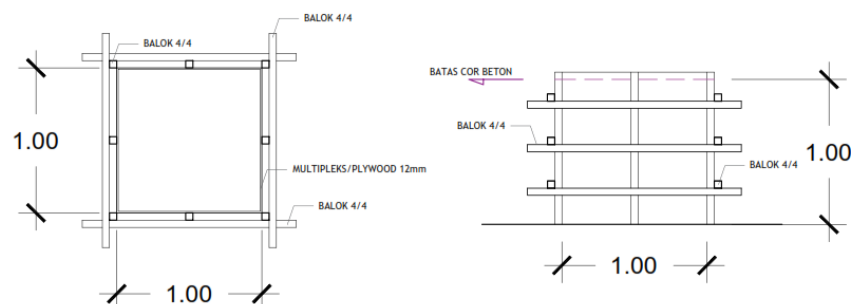
Rancangan Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen di laboratorium dan pengukuran serta pengamatan suhu beton massa dilakukan di lapangan yaitu di lokasi pembangunan bendungan Karalloe, Kecamatan Tompobulu dan Biringbulu Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan. Penelitian ini menggunakan sampel uji beton massa dengan karakteristik kuat tekan beton yang berbeda dan pengukuran suhu beton menggunakan *thermocouple* yang ditempatkan di dalam beton dengan posisi yang berbeda. Untuk pengujian material beton dengan melakukan pengujian di laboratorium untuk sifat fisik yaitu kuat tekan beton dan kimia bahan beton yang digunakan. Sedangkan untuk analisa penyebaran suhu dilakukan analisis perhitungan menggunakan metode ACI. Hasil analisis terutama besarnya perbedaan suhu beton di tengah (*core*) dan suhu di atas/bawah beton massa akan di bandingkan dengan statemen dari ACI tentang perbedaan suhu yang menyebabkan keretakan beton massa. Aturan-aturan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu mengacu pada:

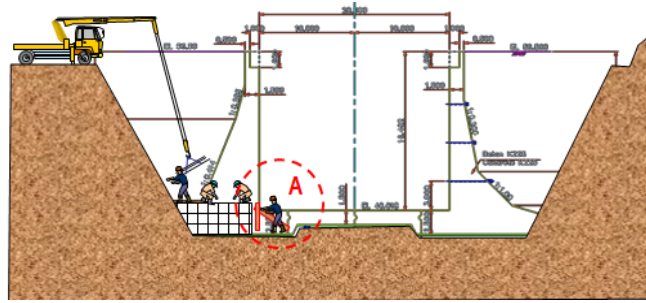
1. ACI 207.1R-05 tentang *guide to mass concrete reported by ACI committee 207*.
2. ACI 207.2R-07 tentang *report on thermal and volume change effects on cracking of mass concrete by reported by ACI committee 207*.
3. ACI 318-05 tentang *building code requirements for structural concrete* dan ACI 318R-05 tentang *commentary by reported by ACI committee 318*.

Tahapan-tahapan dalam penelitian ini yaitu:

1. **Tahap I** : Pengujian sifat fisik dan kimia material pasir, agregat kasar dan agregat halus. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik fisik (berat jenis, penyerapan air, abrasi dengan menggunakan mesin *Los Angeles* dan lain-lain) dan karakteristik kimia (pengujian XRF dan XRD) terhadap material-material yang digunakan untuk memproduksi beton massa (*mass concrete*). Agregat yang diuji karakteristik fisik maupun karakteristik kimia merupakan agregat kasar dan agregat halus yang diambil dari pemecah batu yang ada di lokasi pembangunan bendungan Karalloe, Kecamatan Tompobulu dan Biringbulu Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan.
2. **Tahap II** : Pembuatan *mix design* atau rancangan campuran beton dengan mutu beton yaitu 15 MPa, 20 MPa, 25 MPa dan 30 MPa.
3. **Tahap III** : Pembuatan media (bekisting) untuk pengecoran beton massa dengan ukuran 1 m × 1 m × 1 m yang diperlihatkan pada Gambar 5. Selain itu, secara bersamaan dilakukan persiapan untuk pengecoran pada *spillway* di lokasi pembangunan bendungan Karalloe, Kecamatan Tompobulu dan Biringbulu Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan yang diperlihatkan pada Gambar 6.

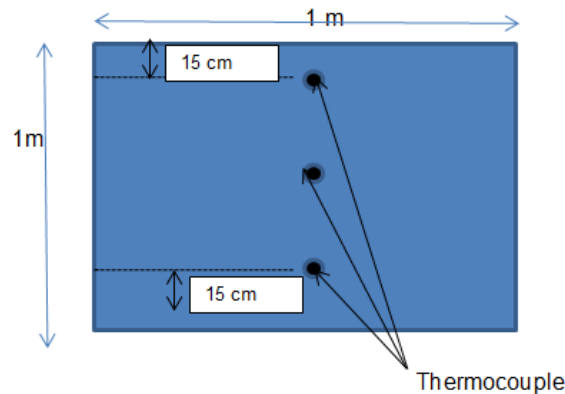


Gambar 5. Media (bekisting) pengecoran beton massa

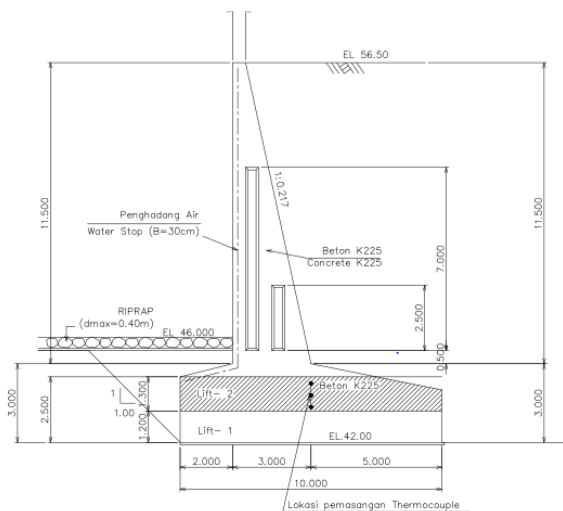


Gambar 6. Persiapan pengecoran pada *spillway* bendungan

4. **Tahap IV** : Pemasangan alat ukur suhu (*thermocouple*) sebanyak 3 buah yang ditempatkan di tengah (untuk benda uji *core drill*), 15 cm dari dasar dan 15 cm dari atas benda uji beton massa yang diperlihatkan pada Gambar 11. Secara bersamaan dipasang pula *thermocouple* pada *spillway* yang akan di cor (Gambar 7). Adapun pemasangan *thermocouple* tersebut tidak boleh bersinggungan dengan tulangan dan diikat dengan tali yang bukan penghantar panas.



Gambar 7. Sketsa pemasangan *thermocouple* benda uji beton massa



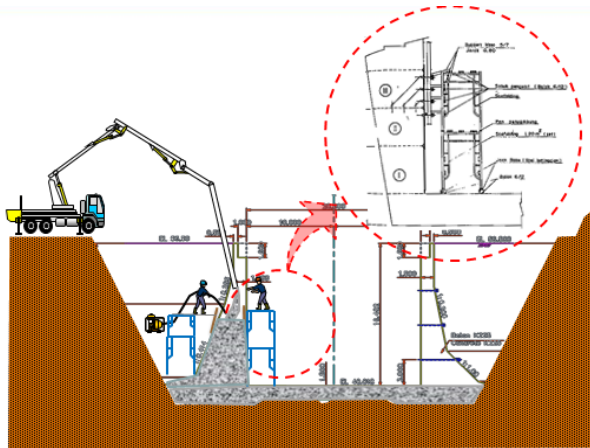
Gambar 8. Pemasangan *thermocouple* uji pada *spillway* bendungan

5. **Tahap V** : Pengecoran benda uji beton massa dengan ukuran $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 1\text{ m}$ yang diperlihatkan pada Gambar 9. Secara bersamaan dilakukan pengecoran juga pada *spill way* bendungan. Seluruh pengecoran dilakukan dengan sistem *batching plant* yang ada di lokasi pembangunan bendungan Karalloe, Kecamatan Tompobulu dan Biringbulu Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan yang

diperlihatkan pada Gambar 10.



Gambar 9. Pengecoran benda uji beton massa



Gambar 10. Pengecoran pada *spillway* bendungan

6. **Tahap VI** : Pengamatan benda uji beton massa dan pada *spillway* bendungan. Adapun pengamatan benda uji dilakukan dengan dua bagian yaitu:
- a. Pengamatan temperatur yang dilakukan di *batching plant* meliputi:
 - 1. Temperatur udara
 - 2. Temperatur air untuk adukan
 - 3. Temperatur agregat yang digunakan (batu pecah dan pasir)
 - 4. Temperatur beton segar

- b. Monitoring dan data instrumen pengamatan

Kebutuhan untuk monitoring proses pengecoran beton massa menggunakan instrumen penelitian berupa *thermocouple* digital dengan kapasitas 200°C dan ketelitian 0,1°C memperoleh data primer yang disusun berdasarkan parameter-parameter analisis yang dibutuhkan dan relevan sesuai dengan maksud dan tujuan dari penelitian ini. *Thermocouple* yang digunakan merupakan *thermocouple* kabel (nikel dan tembaga) untuk ditanam dan dipakai untuk mengukur beton baru. Gambar 11 memperlihatkan *thermocouple* yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 11. Thermocouple untuk mengukur suhu

Thermocouple memiliki fungsi ganda yaitu dapat memonitor perbedaan suhu yang terjadi dan dapat pula digunakan untuk mengukur perbedaan suhu. Sistem pengecekan didasarkan pada aturan ACI 116R dengan petunjuk yaitu:

1. Setiap 2 jam sekali di cek/diambil data suhunya untuk 24 jam pertama (hari ke 1).
 2. Setiap 3 jam sekali di cek/diambil data suhunya untuk 24 jam kedua (hari kedua dan ketiga).
 3. Selanjutnya sampai hari ke empat sampai hari ketujuh tiap 24 jam diambil selama 4 kali setiap pagi pukul 09.00, siang 12.00, sore 17.00 dan malam 20.00 selama 7 hari.
7. **Tahap VII** : Pengambilan dan pengujian benda uji inti (*core drill*). Pengambilan benda uji inti diperlihatkan pada Gambar 12. Metode *core drill* adalah suatu metoda pengambilan benda uji beton massa. Benda uji yang diambil (bentuk silinder) selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk dilakukan pengujian seperti kuat tekan beton. Pengambilan benda uji beton massa dengan *core drill* (pengeboran inti) dan pengujian benda uji di laboratorium untuk pengambilan contoh dilakukan dengan alat bor yang mata bornya berupa “pipa” dari intan, sehingga diperoleh contoh benda uji beton massa berupa silinder (SNI 03-2492-2002 (Metode Pengambilan dan Pengujian Beton Inti)). Selanjutnya pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik mekanik benda uji beton massa yang mengacu pada SNI 1974:2011.



Gambar 12. Pengambilan benda uji inti beton massa

8. **Tahap VIII** : Analisa data dan pembahasan. Analisa data dilakukan berdasarkan aturan-aturan yang digunakan dalam penelitian ini dan jurnal-jurnal ilmiah baik jurnal nasional maupun jurnal internasional tentang perubahan dan perbedaan suhu yang terjadi dalam beton massa.
9. **Tahap IX** : Kesimpulan. Penarikan kesimpulan dilakukan dengan berdasarkan hasil-hasil penelitian yang telah didapatkan serta pembahasan yang telah dibuat sehingga dapat menjawab tujuan dari penelitian ini.

4. EKSPEKTASI HASIL PENELITIAN

Berdasarkan dari kerangka pikir yang telah disampaikan diatas, maka pembuatan sampel beton massa membutuhkan beberapa tipe beton dengan karakteristik yang berbeda dalam rangka mengetahui tingkat efektifitas terapan disamping untuk menjawab perumusan masalah yang diajukan. Terdapat beberapa hipotesis yang akan diuji dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Semakin banyak penggunaan semen dalam campuran beton massa, maka semakin tinggi juga perbedaan suhu beton antara inti (*core*) beton massa dan suhu di sekelilingnya.
2. Keretakan yang terjadi pada beton massa dipengaruhi oleh proses pembuatan beton mulai saat persiapan material beton seperti suhu air, suhu agregat dan juga suhu semen sebelum digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adrian and M. Lawrence., 2013. Specific ion effects of certain excess soluble salts on the growth and development of glasshouse tomatoes grown in nutrient culture. J. Hort. Sci. 42: 243-252.
- American Concrete Institute (ACI) 207, Manual of Concrete Practice.
- American Concrete Institute (ACI) 209R-92, 1997, Prediction Temperature Affect in Concrete Structure.
- Antiohos S., Maganari K., & Tsimas S. (2005). Evaluation of blends of high and low calcium fly ashes for use as supplementary cementing materials, Cement dan Concrete Composites: 349-356.
- Badan Standardisasi Nasional. (2004). Standar Nasional Indonesia (SNI) 15-7064-2004 Semen Portland Komposit, Jakarta: Dewan Standardisasi Nasional.
- Tjaronge M. W. (2012). Teknologi Bahan Lanjut – Semen dan Beton Berongga, CV. Telaga Zamzam, Makassar.
- SNI 15-2049-2004. *Semen Portland*, Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- SNI 15-7064-2004. *Semen Portland Komposit*, Badan Standardisasi Nasional (BSN).

