

TUGAS AKHIR

**KUAT TARIK BELAH DAN PERUBAHAN SUHU BETON
MASSA YANG MENGGUNAKAN SEMEN PORTLAND
KOMPOSIT**

***INDIRECT TENSILE STRENGTH AND TEMPERATURE
CHANGES OF MASS CONCRETE USING PORTLAND
COMPOSITE CEMENT***

MUHAMMAD FADHLY BURHANUDDIN

D111 16 534



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2020**



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL**

Jl. Poros Malino km. 6 Bontomarannu, 92172, Kab. Gowa, Sulawesi Selatan
☒ <http://civil.unhas.ac.id> ☒ civil@eng.unhas.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar.

Judul Tugas Akhir

**KUAT TARIK BELAH DAN PERUBAHAN SUHU BETON MASSA YANG
MENGUNAKAN SEMEN PORTLAND KOMPOSIT**

Disusun oleh

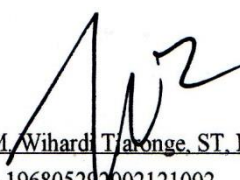
MUHAMMAD FADHLY BURHANUDDIN

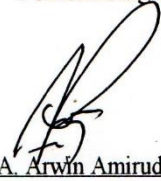
D111 16 534

Telah diperiksa dan disetujui oleh dosen pembimbing

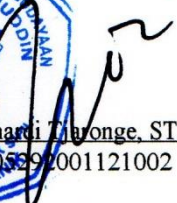
Pembimbing I

Pembimbing II


Prof. Dr. H. M. Wihardi Taronge, ST, M.Eng
NIP: 196805292002121002


Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST, MT
NIP: 197912262005011001

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Sipil


Prof. Dr. H. M. Wihardi Taronge, ST, M.Eng
NIP: 196805292002121002



PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Muhammad Fadhly Burhanuddin, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Kuat Tarik Belah dan Perubahan Suhu Beton Massa Yang Menggunakan Semen Portland Komposit**", adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Gowa, 30 November 2020

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Fadhly Burhanuddin

NIM: D111 16 534

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**KUAT TARIK BELAH DAN PERUBAHAN SUHU BETON MASSA YANG MENGGUNAKAN SEMEN PORTLAND KOMPOSIT**” yang merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa banyak kendala yang dihadapi dalam penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dari berbagai pihak, maka tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. **Bapak Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. **Bapak Prof. Dr. H. M Wihardi Tjaronge ST., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
3. **Bapak Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST., MT.**, selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan, dan selaku dosen pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan kepada kami.
4. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

5. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda **Burhanuddin Taebe** dan ibunda **Indrawati** atas doa, kasih sayangnya, dan segala dukungan selama ini, baik spritual maupun material, serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.
2. Kakak tercinta **Fauziah Arbayuni Burhanuddin** dan **Awad Akbar Taebe**, serta adik tercinta **Wahyuddin Burhanuddin** dan **Ainun Najibah** yang selalu memberikan semangat dalam penyelesaiannya tugas akhir ini.
3. **Bapak Dr.Ir.Anshar, Sp.1** Selaku rekan dalam penelitian saya dan senantiasa memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
4. **Kak Miswar ST. MT, Kak Cimo ST. MT, Halima S.T, Ria S.T,** dan **Tarmizi S.T** selaku rekan-rekan di **Laboratorium Riset Eco Material**, yang senantiasa memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
5. Saudara-saudari **PATRON 2017** yang senantiasa memberikan warna yang sangat begitu indah, dukungan yang tiada henti, semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu mengharapkan kepada pembaca kiranya dapat memberi sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas akhir ini.

Akhirnya semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan berkat dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

ABSTRAK

Perkembangan pembangunan infrastruktur khususnya bendungan di Indonesia saat ini cukup tinggi. Beton massa merupakan beton pada struktur masif seperti bendung dengan volume yang sangat besar dilakukan pada saat suhu panas terjadi.

Tujuan dari penelitian ini yaitu Menganalisis perilaku suhu beton massa yang menggunakan semen Portland komposit pada box yang berukuran 1,2 m x 1,2 m x 1,2 m, dan menganalisis pengaruh suhu terhadap nilai kuat tarik pada benda uji inti beton massa yang menggunakan semen Portland komposit.

Pembuatan dan pengamatan suhu beton massa pada box berukuran 1,2 m x 1,2 m x 1,2 m di lakukan di pembangunan bendungan Karalloe, Kecamatan Tompobulu dan Biringbulu, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan. Pengujian kuat tarik belah di Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa. Sampel di core drill pada umur 3, 7, dan 28 hari dan di uji tarik belah memperoleh nilai tegangan dan regangan.

Suhu tertinggi mencapai $61,5^{\circ}\text{C}$ dimana masih berada dibawah suhu maksimum yang diizinkan 70°C Perbedaan atau gradien suhu antara lapisan adalah sekitar $3,2^{\circ}\text{C}$ serta nilai tersebut kurang dari perbedaan suhu maksimum yang diizinkan yaitu 20°C . Tegangan puncak yang dihasilkan akibat beban tarik pada umur 3, 7 dan 28 hari adalah masing-masing sebesar 2,08 MPa, 2,98 MPa dan 4,50 MPa. Peningkatan nilai tegangan umur 3 hari ke 7 dan 28 hari adalah masing-masing sebesar 43,26% dan 116,34%. Selain itu, nilai elastisitas tarik yang dihasilkan benda uji inti pada umur 3, 7 dan 28 hari adalah masing-masing sebesar 799,42 MPa, 1104,89 MPa dan 1571,42 MPa. Peningkatan nilai elastisitas tarik pada umur 3 ke 7 dan 28 hari adalah masing-masing sebesar 38,21% dan 96,57%

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH Error! Bookmark not defined.	
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Tujuan Penelitian	6
D. Manfaat Penelitian	6
E. Batasan Masalah	6
F. Sistematikan Penulisan	7
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	9
A. Teori Beton.....	9
B. Teori Dasar Beton Massa (Mass Concrete).....	11
C. Material Penyusun Beton Massa.....	14
C.1. Semen Portland Komposit (PCC).....	14
C.2. Agregat.....	32
C.3. Air.....	35
C.4. Bahan Tambahan.....	35
D. Kekuatan Beton.....	37
D.1. Pengujian Slump.....	37
D.2. Kuat Tarik Belah.....	37

BAB 3. METODE PENELITIAN.....	39
A. Lokasi Penelitian	39
B. Jenis dan Sumber Penelitian.....	39
C. Bagan Alir Penelitian.....	40
D. Rancangan Penelitian.....	42
E. Tahapan-Tahapan Penelitian.....	43
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	50
A. Karakteristik Material.....	50
A.1. Agregat Kasar.....	50
A.2. Agregat Halus.....	51
A.3. Semen PCC (Portland Composite Cement).....	52
A.4. Admixture.....	54
B. Gradasi Penggabungan Agregat.....	54
C. Rancangan Campuran Beton Massa (Mix Design Mass Concrete).....	56
D. Beton Massa Dalam Kondisi Segar (Fresh Mass Concrete).....	57
D.1. Slump (K-225).....	58
D.2. Suhu Awal.....	59
E. Perilaku Termal Pada Umur Awal Beton Massa Benda Uji Box Ukuran 1,2 m x 1,2 m x 1,2 m.....	59
F. Tampak Fisik Benda Uji Inti Core Drill Box ukuran 1,2 m x 1,2 m x 1,2 m.....	63
G. Kuat Tarik Belah Beton Massa Benda Uji Core Drill Box ukuran 1,2 m x 1,2 m x 1,2 m.....	65
H. Rekapitulasi Karakteristik Fisik Akibat Beban Tarik.....	70

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	72
A. Kesimpulan.....	72
B. Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA.....	73
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Contoh beton massa yang mengalami retak thermal.....	12
Gambar 2. Perbedaan suhu pada beton massa.....	13
Gambar 3. Perbedaan temperatur beton massa.....	13
Gambar 4. Grafik temperatur pada beton massa.....	14
Gambar 5. Produk hidrasi pasta	24
Gambar 6. Proses hidrasi semen.....	26
Gambar 7. Lokasi penelitian	39
Gambar 8. Diagram alir penelitian	41
Gambar 9. Media (bekisting) pengecoran beton massa.....	44
Gambar 10. Sketsa pemasangan <i>thermocouple</i> benda uji beton massa.	44
Gambar 11. Pengecoran beton massa pada box.....	45
Gambar 12. <i>Thermocouple</i> untuk mengukur suhu.....	46
Gambar 13. Pengambilan suhu dalam box menggunakan <i>thermocouple</i>	47
Gambar 14. Pengambilan benda uji pada box beton	48
Gambar 15. Tahapan penelitian.....	49
Gambar 16. Gradasi penggabungan agregat halus dan agregat kasar (K-225).....	56
Gambar 17. Hasil pengujian slump mutu beton K-225	58
Gambar 18. Hasil pengujian suhu awal beton massa K-225.....	59
Gambar 19. Suhu ambient selama pengukuran beton massa berukuran 1,2 m × 1,2 m × 1,2 m.....	61
Gambar 20. Bentuk visual benda uji inti core drill box ukuran 1,2 m × 1,2 m × 1,2 m.....	64
Gambar 21. (a).Hubungan tegangan - regangan vertikal (b). Hubungan tegangan - regangan horizontal core drill umur 3 hari hasil pengujian kuat tarik belah	66

Gambar 22. (a).Hubungan tegangan - regangan vertikal (b). Hubungan tegangan - regangan horizontal core drill umur 7 hari hasil pengujian kuat tarik belah	67
Gambar 23. (a).Hubungan tegangan - regangan vertikal (b). Hubungan tegangan - regangan horizontal core drill umur 28 hari hasil pengujian kuat tarik belah	69

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Sifat kimia utama semen portland.....	16
Tabel 2. Sifat kimia tambahan semen portland.....	16
Tabel 3. Sifat fisika semen portland.....	17
Tabel 4. Senyawa utama semen portland.....	17
Tabel 5. Sifat fisika semen portland komposit.....	19
Tabel 6. Hidrasi alumina.....	23
Tabel 7. Panas hidrasi oleh komponen semen.....	32
Tabel 8. Hasil pemeriksaan karakteristik agregat kasar (10-20 mm).....	50
Tabel 9. Hasil pemeriksaan karakteristik agregat kasar (20-40 mm).....	50
Tabel 10. Hasil pemeriksaan karakteristik agregat halus (Sungai kelara)	51
Tabel 11. Hasil pemeriksaan karakteristik agregat halus (Sungai saddang)	52
Tabel 12. Karakteristik fisik semen PCC.....	53
Tabel 13. Karakteristik kimia semen PCC.....	53
Tabel 14. Gradasi penggabungan agregat halus.....	55
Tabel 15. Gradasi penggabungan agregat kasar.....	55
Tabel 16. Gradasi penggabungan agregat (K-225).....	55
Tabel 17. Rancangan campuran K-225 box ukuran 1,2 m x 1,2 m x 1,2 m	57
Tabel 18. Rangkuman data-data penting dari pengukuran beton massa berukuran 1,2 m x 1,2 m x 1,2 m.....	63

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Konstruksi yang besar seperti bendungan, bendung dan *pile cap* jembatan dibuat dengan beton dalam jumlah yang besar atau beton massa (*mass concrete*). Perkembangan pembangunan infrastruktur khususnya bendungan di Indonesia saat ini cukup tinggi. Beton massa merupakan beton pada struktur masif seperti bendung dengan volume yang sangat besar dilakukan pada saat suhu panas terjadi.

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.

Semen merupakan bahan pengikat yang penting untuk pembuatan beton, yang saat ini merupakan bahan konstruksi yang paling banyak digunakan di seluruh dunia. Untuk produksi semen Portland jenis 1, 2, 3, 4 dan 5, bahan-bahan seperti batu kapur dan tanah liat perlu ditambang, dicampur dengan proporsi tertentu, dihaluskan dan dipanaskan pada suhu tinggi dalam tanur putar.

Dalam beberapa dekade terakhir, di Indonesia, berdasarkan pada pertimbangan konservasi alam, pengurangan limbah seperti abu terbang, penurunan emisi CO₂ dan faktor-faktor lain yang terkait dengan pembangunan infrastruktur berkelanjutan, telah ada kecenderungan yang kuat ke arah pengembangan penambahan alternatif untuk pembuatan semen campuran ramah lingkungan seperti semen komposit Portland (*Portland Composite Cement*). Pada awalnya semen Portland komposit dibuat berdasarkan aturan tahun 2005 (SNI 2005) yang selanjutnya diperbaharui dengan SNI 2012.

Volume beton dalam jumlah besar memiliki potensi untuk mengalami perbedaan temperature yang menyebabkan retak. Masalah crack akibat panas (*thermal cracking*) pertama kali diketahui terjadi di dam dimana temperatur meningkat secara signifikan dari panas hidrasi dan selanjutnya retak dari susut (*shrinkage*) terjadi selama pendinginan, dan retak termal pada umur awal terus menerus menjadi perhatian para insinyur dan peneliti. Hidrasi beton merupakan proses eksothermik yang memproduksi panas dalam jumlah besar selama curing, khususnya terjadi dalam beberapa hari atau minggu pertama setelah pengecoran. Panas tersebut menyebabkan perbedaan temperature di dalam beton, dari temperature tinggi di tengah massa beton ke temperature rendah di sekitar permukaan beton dimana panas dengan mudah tersebar ke suhu ambient permukaan. Jika perbedaan temperatur yang terlalu tinggi, menghasilkan tegangan termal melampaui tegangan tarik beton dan menimbulkan

retakan, khusus pada umur awal dimana beton sedang mengembangkan kekuatannya sepenuhnya.

Sudah menjadi pengetahuan umum bahwa hidrasi beton merupakan reaksi eksotermik dan menimbulkan pembentukan panas yang signifikan pada beton massa (*mass concrete*). Beton menjadi konduktor yang buruk yang dapat menahan panas untuk waktu yang lama setelah pengecoran. Tergantung pada ukuran strukturnya, proses hidrasi dapat memakan waktu hingga beberapa tahun pada struktur massif seperti bendungan untuk mencapai distribusi temperatur yang stabil dalam kesetimbangan dengan kondisi lingkungan sekitarnya. Perubahan volumetrik yang berhubungan dengan proses berulang dari pendinginan dan pengeringan susut beton mengakibatkan regangan volumetrik pada beton karena pengekatan internal dari beton yang mengeras dan pengekatan eksternal lainnya. Retak dapat terjadi jika nilai regangan ini melebihi kapasitas regangan tarik beton. Suatu analisa tegangan- regangan termal perlu mempertimbangkan sejumlah variabel termasuk beberapa faktor yang tergantung pada waktu. Faktor-faktor tersebut meliputi pembangkitan panas karena hidrasi beton, suhu awal beton ketika dicor, jadwal penuangan beton dan lapisannya, pemanasan struktur karena radiasi matahari, kehilangan panas melalui konveksi dan penguapan air di permukaan, sifat-sifat beton yang bergantung pada waktu (rangkai, penyusutan, modulus elastisitas, dan kekuatan tarik dan tekan) dan regangan dari beton karena beban termal dan gravitasi (ACI 217).

Di Indonesia, banyak struktur beton massif dibangun dan diantaranya adalah bendungan. Dikarenakan semen Portland komposit yang paling banyak beredar dan mudah diperoleh di pasaran lokal maka banyak pembangunan bendungan atau struktur beton massif lainnya menggunakan semen Portland Komposit sebagai bahan pengikat utama. Semen Portland komposit adalah salah satu jenis semen campuran yang mengandung material pozzolan berupa abu terbang yang baru dikembangkan tahun 2005, sehingga pengetahuan tentang penerapan semen Portland Komposit sebagai bahan pengikat pada konstruksi beton massa masih sangat sedikit. Oleh karena itu sangat penting untuk menyusun suatu penelitian yang menginvestigasi penggunaan semen Portland komposit pada beton massa dan melakukan karakterisasi sifat fisik ketika beton dalam kondisi segar maupun ketika telah mengeras.

semen Portland Jenis 1, semen Portland Komposit telah banyak digunakan termasuk untuk pembangunan beton massa. Namun demikian, masih sangat kurang laporan teknik yang membahas penggunaan semen Portland Komposit pada beton massa di Indonesia. Dalam penelitian ini, Memasang instalasi *thermocouple* di dalam box yang berukuran 1,2 x 1,2 x 1,2 m di Bendungan Karalloe, yang dibangun di Kabupaten Gowa Propinsi Sulawesi Selatan. Penelitian ini bertujuan menganalisa penggunaan semen Portland Komposit pada pembangunan beton massa. Penelitian yang dilaporkan dalam tugas akhir ini menganalisa hubungan

suhu pada saat awal pengecoran dengan perubahan suhu yang terjadi di dalam beton massa.

Penelitian ini yang bertujuan untuk menyusun hubungan antara semen Portland Komposit sebagai bahan pengikat dengan karakter fisik beton massa. Penelitian ini fokus pada penggunaan semen Portland Komposit pada pembuatan beton massa, dimana dilakukan pengujian slump dan suhu awal ketika beton segar dan selanjutnya mengukur perubahan suhu beton massa yang berukuran 1,2 x 1,2 x 1,2 m untuk mendapatkan gradien termal serta mengevaluasi kuat tarik pada beton yang telah mengeras dengan menggunakan benda uji beton inti yang diambil dari beton massa berukuran 1,2 x 1,2 x 1,2 m pada umur yaitu 3, 7 dan 28 hari.

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, maka dilakukan penelitian dengan judul **“KUAT TARIK BELAH DAN PERUBAHAN SUHU BETON MASSA YANG MENGGUNAKAN SEMEN PORTLAND KOMPOSIT”**.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang terkait penggunaan semen PCC untuk beton massa, maka dapat dirumuskan beberapa masalah yaitu :

1. Bagaimana perilaku suhu beton massa pada box berukuran 1,2 m x 1,2 m x 1,2 m ?
2. Bagaimana pengaruh suhu terhadap nilai kuat tarik belah pada benda uji inti beton massa ?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis perilaku suhu beton massa pada box berukuran 1,2 m x 1,2 m x 1,2 m.
2. Menganalisis pengaruh suhu terhadap nilai kuat tarik belah pada benda uji inti beton massa.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan pada penelitian ini adalah :

1. Akan mendapatkan spesifikasi teknis untuk beton massa dengan menggunakan semen PCC yang dapat diterapkan pada struktur bangunan.

E. Batasan Masalah

Untuk mencapai maksud dan tujuan dari penulisan ini serta menguraikan pokok bahasan diatas ditetapkan batasan-batasan dalam penelitian ini adalah :

1. Semen yang digunakan dalam penelitian adalah semen tipe PCC.
2. Penelitian digunakan pada pengecoran beton massa pada box berukuran 1,2 m x 1,2 m x 1,2 m di bendungan karalloe terletak di Kabupaten Gowa.
3. Penelitian digunakan mutu beton K-225 yang merupakan mutu beton pada spill way bendungan karalloe.

4. Analisa hubungan antara panas hidrasi dengan kuat tarik pada beton massa.
5. Pengujian dilakukan di Laboratorium yang sesuai dengan standar resmi dan akan didapatkan hasil pengujian-pengujian yang diharapkan.
6. Pengujian strength test hanya diambil dari permukaan dasar.

F. Sistematika Penulisan

Agar lebih terarah penulisan tugas akhir , sistematika penulisan yang akan dilakukan sesuai tahapan-tahapan yang dipersyaratkan dapat diurutkan yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini, Pokok-Pokok bahasan dalam BAB ini adalah latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori-teori penting yang memiliki keterkaitan dengan topik permasalahan dan dijadikan sebagai landasan atau acuan penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini, dijelaskan metode yang digunakan dalam penelitian ini, langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini yang dituangkan dalam bentuk bagan alir penelitian, lokasi dan waktu penelitian, data penelitian berupa jenis dan sumber data

serta analisis yang digunakan dalam mengolah data yang didapatkan dari lapangan maupun dari laboratorium.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini, disusun hasil-hasil pengujian diantaranya adalah hasil pemeriksaan karakteristik fisik dan kimia agregat, karakteristik fisik dan kimia semen PCC yang digunakan, karakteristik beton massa yang digunakan dalam pengecoran, hasil pembacaan suhu yang diperoleh dari thermocouple yang dipasang pada beton massa. Hasil uji kuat tarik pada beton massa di laboratorium dari sampel *core drill* pada box berukuran 1,2 m x 1,2 m x 1,2 m.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan bab yang menyimpulkan hasil dari analisis penelitian dan memberikan saran-saran dan rekomendasi penelitian.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Teori Beton

Beton (*concrete*) merupakan campuran semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*) (SNI 2847:2013).

Pada dasarnya, beton terdiri dari agregat, semen hidrolis, air, dan boleh mengandung bahan bersifat semen lainnya dan atau bahan tambahan kimia lainnya. Beton dapat mengandung sejumlah rongga udara yang terperangkap atau dapat juga rongga udara yang sengaja dimasukkan melalui penambahan bahan tambahan. Bahan tambahan kimia sering digunakan untuk mempercepat, memperlambat, memperbaiki sifat kemudahan pengerjaan (*workability*), mengurangi air pencampur, menambah kekuatan, atau mengubah sifat-sifat lain dari beton yang dihasilkan.

Beton segar adalah campuran beton setelah selesai diaduk hingga beberapa saat karakteristik belum berubah. Beton keras adalah adukan beton yang terdiri dari campuran semen Portland atau sejenisnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang telah mengeras (SNI 03-4810-1998).

Beton normal adalah beton yang mempunyai berat satuan 2200 - 2500 kg/m³ dan dibuat menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah (SNI 03:2834:2002). Adapun kelebihan dan kekurangan beton antara lain sebagai berikut :

Kelebihan Beton :

1. Beton mampu menahan gaya tekan dengan baik, serta mempunyai sifat tahan terhadap korosi dan pembusukan oleh kondisi lingkungan.
2. Beton segar dapat dengan mudah dicetak sesuai dengan keinginan. Cetakan dapat pula dipakai berulang kali sehingga lebih ekonomis.
3. Beton segar dapat disemprotkan pada permukaan beton lama yang retak maupun dapat diisikan kedalam retakan beton dalam proses perbaikan.
4. Beton segar dapat dipompakan sehingga memungkinkan untuk dituang pada tempat-tempat yang posisinya sulit.
5. Beton tahan aus dan tahan bakar, sehingga perawatannya lebih murah.

Kekurangan Beton :

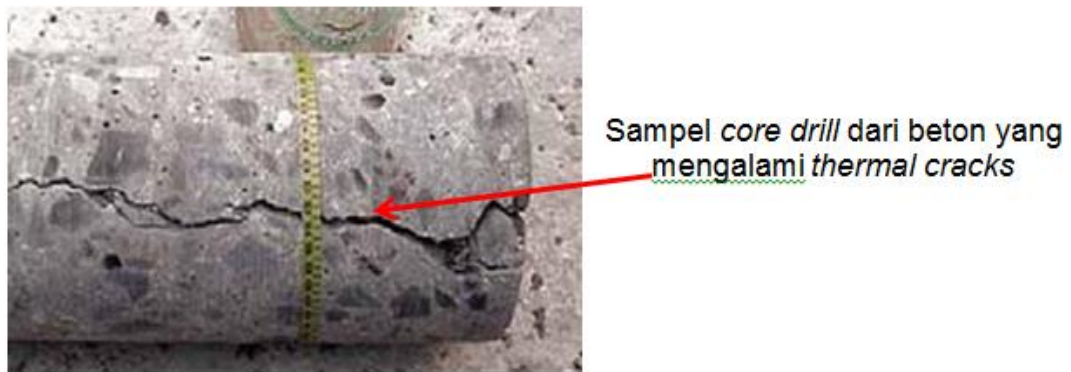
1. Beton dianggap tidak mampu menahan gaya tarik, sehingga mudah retak. Oleh karena itu perlu di beri baja tulangan sebagai penahan gaya tarik.
2. Beton keras menyusut dan mengembang bila terjadi perubahan suhu, sehingga perlu dibuat dilatasi (expansion joint) untuk mencegah terjadinya retakan akibat terjadinya perubahan suhu.
3. Untuk mendapatkan beton kedap air secara sempurna, harus dilakukan dengan pengerjaan yang teliti.
4. Beton bersifat getas (tidak daktil) sehingga harus dihitung dan diteliti secara seksama agar setelah dikompositkan dengan baja tulangan menjadi bersifat daktil, terutama pada struktur tahan gempa.

B. 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 (ACI Committee 207, 1996). 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 $40^{\circ}\text{C}/\text{jam}$ (ACI. 224. 1. R93. 7) dan adanya perbedaan temperatur beton inti dan beton dibawahnya tidak lebih dari 20°C (ACI, Jurnal. Vol. 94 No. 2, 1997).



Gambar 1. Contoh beton massa yang mengalami retak *thermal*

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.

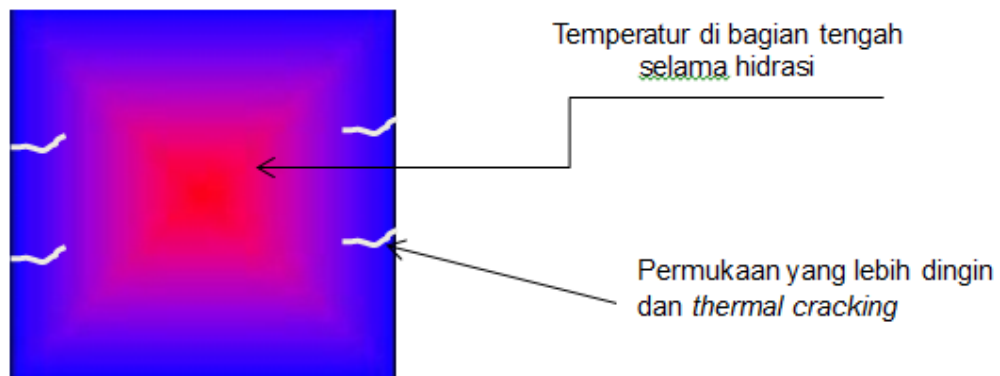
Mekanisme timbulnya *thermal cracking*, dimulai dari proses hidrasi semen yang menghasilkan meningkatnya temperatur dibagian tengah/inti beton massa. Jika bagian luar/permukaan beton massa mengalami pendinginan lebih cepat dari bagian tengah/inti, berikutnya akan terjadi *thermal expansion/contraction*, 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 :

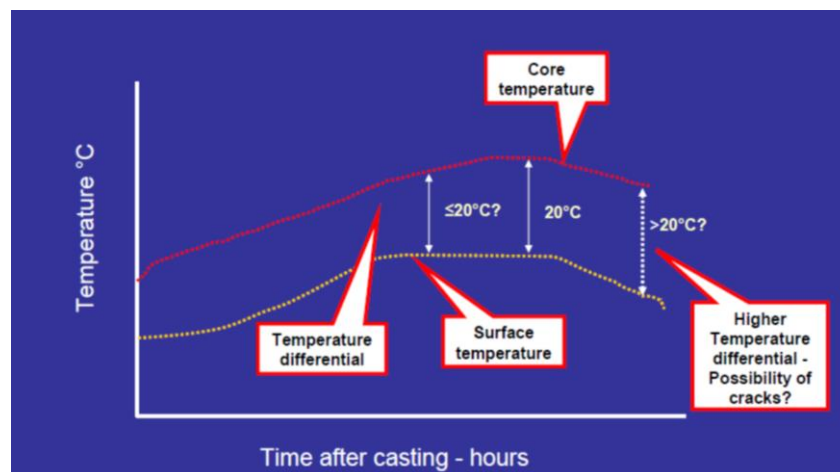
1. Semen : Komposisi kimia, kehalusan dan jumlahnya

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

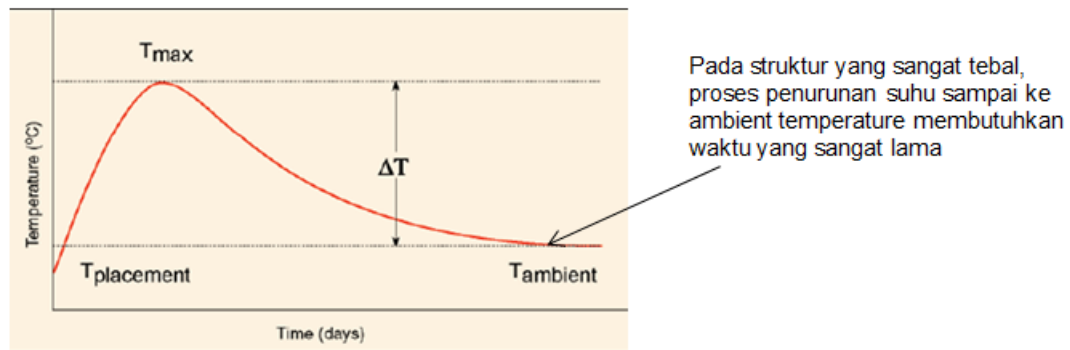
Umumnya peningkatan temperatur pada beton massa (*mass concrete*) dapat terjadi pada hari ke 1 sampai dengan hari ke 3 setelah pengecoran dilakukan. Gambar 4 memperlihatkan grafik temperatur pada beton massa.



Gambar 2. Perbedaan suhu pada beton massa



Gambar 3. Perbedaan temperatur beton massa



Gambar 4. Grafik temperatur pada beton massa

C. Material Penyusun Beton Massa

C.1 Semen Portland Komposit (PCC)

Semen PCC atau *Portland Composite Cement* atau Semen Portland komposite, adalah semen Portland yang masuk kedalam kategori *blended cement* atau semen campur. Semen ini dibuat atau didesign karena dibutuhkannya 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 maka defenisi Semen Portland Composite 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, 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, 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) dengan salah satu persyaratan yaitu waktu pengikatan dengan alat vicat terlihat pada Tabel 3. 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.

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

No.	Uraian	Jenis semen Portland (satuan dalam %)				
		I	II	III	IV	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	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
	SO ₃ , maksimum					
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)

No.	Uraian	Jenis semen Portland (satuan dalam %)				
		I	II	III	IV	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
---	--	------	------	------	------	------

Tabel 3. Sifat fisika semen Portland (SNI 15-2049-2004)

No.	Uraian	Satuan	Persyaratan
1	Kehalusan Sisa di atas ayakan 45 µm	%	Maks. 24
2	Kekekalan bentuk dengan autoclave : 1. Pemuaian 2. Penyusutan	% %	Maks. 0,8 Maks. 0,2
3	Waktu pengikatan dengan alat vikat : 1. Pengikatan awal 2. Pengikatan akhir	Menit Menit	Min. 45 Min. 375
4	Kuat tekan : 1. Umur 3 hari 2. Umur 7 hari	MPa (kg/cm ²) MPa (kg/cm ²)	Min. 10 (100) Min. 15 (150)
5	Pengikatan semu penetrasi akhir	%	Min. 50

Persentase berat dari C₃S, C₂S, C₃A dan C₄AF dalam semen Portland dapat dihitung dengan rumus yang awalnya dikembangkan oleh Bogue yang diadopsi dari ASTM C150 (Zongjin Li, 2011) dengan melihat persamaan 1, 2, 3 dan 4.

Tabel 4. Senyawa utama semen portland (Neville & Brooks, 2010)

Nama Senyawa	Komposisi/Singkatan	Nama Mineral
Tricalcium silicate	3CaO. SiO ₂ /C ₃ S	Alite
Dicalcium silicate	2CaO. SiO ₂ /C ₂ S	Belite

Tricalcium aluminate	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3/\text{C}_3\text{A}$	Aluminate
Tetracalcium aluminoferrite	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3/\text{C}_4\text{AF}$	Ferrite

$$\text{C}_3\text{S}(\%) = 4,071\text{C} - 7,600\text{S} - 6,718\text{A} - 1,450\text{F} - 2,852\hat{\text{s}} \quad (1)$$

$$\text{C}_2\text{S}(\%) = 2,867\text{S} - 0,754\text{C}_3\text{S} \quad (2)$$

$$\text{C}_3\text{A}(\%) = 2,650\text{A} - 1,692\text{F} \quad (3)$$

$$\text{C}_4\text{AF}(\%) = 3,043\text{F} \quad (4)$$

Dengan C = CaO (*lime/calcium oxide*), S = SiO₂ (*silica*), A = Al₂O₃ (*alumina*) dan F = Fe₂O₃ (*ferric oxide*), $\hat{\text{s}}$ = SO₃ (*sulfur trioxide*).

Menurut SNI 15-7064-2004, semen portland komposit terbuat dari bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak (klinker) semen portland dan gips 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*), pozolan, senyawa silikat, batu kapur dengan kadar total bahan anorganik 6% - 35% dari massa semen portland komposit. Adapun sifat fisika semen portland komposit berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 15-7064-2004) seperti pada Tabel 5.

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*).

Bahan aditif yang digunakan yaitu batu kapur (*lime stone*), abu terbang (*fly ash*) dan Trass. PCC menggunakan tambahan zat aditif *fly ash* dan *trass* dimana terdapat senyawa SiO_2 yang dapat meningkatkan kuat tekan. Dalam pencampuran atau pembuatan semen PCC ditambahkan juga *lime stone* yang berfungsi meningkatkan kuat tekan pada kuat tekan mortar semen PCC. Hal ini terjadi karena *lime stone* mempunyai bentuk fisik yang halus, sehingga dengan nilai kehalusan tersebut, *lime stone* dapat menutup rongga-rongga yang terdapat dalam semen sehingga bisa meningkatkan kuat tekan mortar yang dibentuk dari semen PCC.

Tabel 5. Sifat fisika semen Portland komposit (SNI 15-7064-2004)

No.	Uraian	Satuan	Persyaratan
1	Kehalusan dengan alat blaine	M ² /kg	Min. 280
2	Kekekalan bentuk dengan autoclave :		
	1. Pemuaian	%	Maks. 0,80
	2. Penyusutan	%	Maks. 0,20
3	Waktu pengikatan dengan alat vikat :		
	1. Pengikatan awal	Menit	Min. 45
	2. Pengikatan akhir	Menit	Min. 375
4	Kuat tekan :		
	1. Umur 3 hari	kg/cm ²	Min. 125
	2. Umur 7 hari	kg/cm ²	Min. 200

	3. Umur 28 hari	kg/cm ²	Min. 250
5	Pengikatan semu 1. penetrasi akhir	%	Min. 50
6	Kandungan udara dalam mortar	% volume	Maks. 12

Hidrasi semen adalah reaksi antara partikel semen dan air, termasuk proses kimia dan fisika. Sifat-sifat beton segar, seperti ikatan (*setting*) dan pengerasan, adalah hasil langsung dari hidrasi. Sifat-sifat beton keras juga dipengaruhi oleh proses hidrasi. Oleh karena itu, untuk memahami sifat semen dan perilaku beton, beberapa pengetahuan tentang kimia hidrasi diperlukan.

Hidrasi semen Portland melibatkan unsur-unsur semen yaitu reaksi kalsium silikat anhidrat dan aluminat dengan air untuk membentuk fase terhidrasi. Hidrasi semen sangat kompleks sehingga reaksi dari masing-masing unsur semen dalam bentuk silikat (C₃S dan C₂S) dan aluminat (C₃A dan C₄AF) dianalisa masing-masing secara tunggal.

Kedua silikat C₃S dan C₂S bereaksi dengan air untuk menghasilkan *calcium silicate hydrate* amorf yang dikenal sebagai gel CSH (gel *tobermorite*) yang merupakan 'perekat' utama yang mengikat partikel pasir dan agregat bersama-sama dalam beton. C₃S jauh lebih reaktif dari C₂S dan pada kondisi suhu standar, sekitar 20°C, sekitar separuh dari C₃S dalam semen akan terhidrasi dalam 3 hari dan 80% dalam 28 hari. Sebaliknya, hidrasi C₂S biasanya tidak berlangsung normal hingga

14 hari. Kelebihan Ca diendapkan sebagai kristal *calcium hydroxide* $\text{Ca}(\text{OH})_2$ atau *portlandite* (CH). Hidrasi C_2S juga menghasilkan beberapa formasi CH.

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang terbebaskan oleh hidrolisis kalsium silikat membentuk pelat-pelat tipis heksagonal, dengan jarak puluhan mikrometer antara pelat, tetapi kemudian bergabung menjadi deposit besar. Reaksi hidrasi dapat dilihat pada persamaan 5 dan 6. Dengan menggunakan persamaan stoikiometri dapat juga disederhanakan seperti pada persamaan 7 dan 8 (Neville, A.M. and Brooks, J.J. 2010; Zongjin Li, 2011).

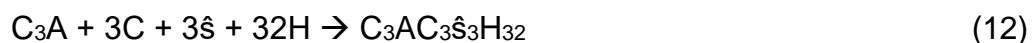
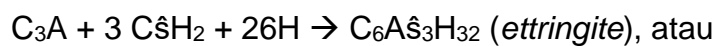


Komposisi aluminat fase dalam klinker dan dalam hidrasi semen sangat dipengaruhi oleh kuantitas yang besar dari reaksi silikat dan juga oleh adanya basa. Dengan tidak adanya larutan kalsium sulfat, C_3A bereaksi dengan cepat untuk membentuk fase C_2AH_8 dan C_4AH_{19} , yang kemudian mengkonversi ke C_3AH_6 . Lihat pada persamaan 9, 10 dan 11.



Reaksi ini adalah cepat dan sangat eksotermis (*flash set*) dan tidak dapat dikendalikan secara kinetik. Untuk mengendalikan hidrasi C_3A agar tidak terjadi *flash set*, maka pada saat pembuatan klinker ditambahkan gypsum.

Gypsum yang telah ditumbuk halus ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) atau dalam bentuk *hemihydrate* ($CaSO_4 \cdot 0.5H_2O$) dicampur dengan C_3A sebelum pencampuran dengan air maka reaksi awal dapat dikendalikan oleh *ettringite* ($C_6A\hat{S}_3H_{32}$), suatu lapisan pelindung yang terbentuk pada permukaan kristal C_3A , reaksi seperti pada persamaan 12.



dengan \hat{s} adalah SO_3 dan H menunjukkan H_2O .

Ettringite biasa juga disebut Aft-fase. Ketika sulfat yang tersedia telah habis, *ettringite* bereaksi dengan C_3A untuk membentuk fase dengan kandungan SO_3 rendah dikenal sebagai monosulfate. Reaksi dapat diringkas seperti pada persamaan 13.



Dan berasama dengan CH dari hidrasi C_3S dan C_2S terjadi reaksi seperti pada persamaan 14.

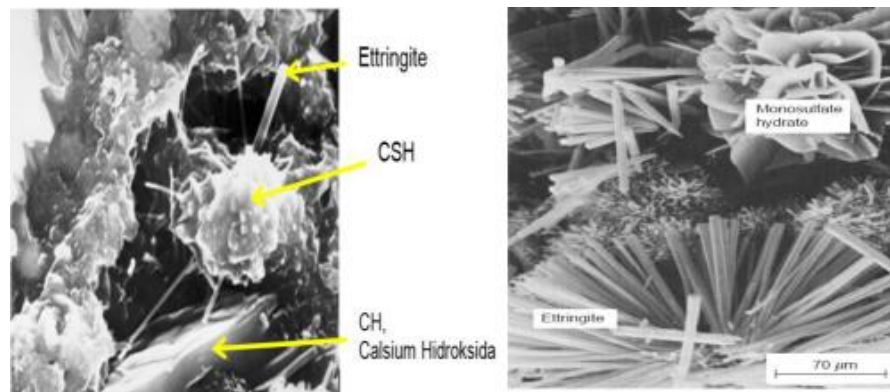


Proses hidrasi C_4AF (atau larutan padat C_2A-C_2F) hampir sama dengan hidrasi C_3A namun berlangsung lebih lambat. Besi masuk ke dalam larutan padat pada struktur kristal *ettringite* dan monosulfate

menggantikan aluminium. Komposisi variabel *ettringite* dan monosulfate yang dibentuk oleh campuran C_3A dan C_4AF adalah disebut masing-masing sebagai AFt (*alumno-ferit hidrat trisulfate*) dan AFm (*alumno-ferit hidrat monosulfate*), fase tersebut dapat dilihat pada Gambar 5. Proses reaksi hidrasi dari C_3A dan C_4AF dimana hasil reaksi yang dihasilkan bervariasi tergantung dari tingkat reaksi dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hidrasi alumina (Tjaronge, M.W, 2012)

Mineral	Ada Kalsium	Larutan Sulfat	Tingkat Reaksi	Hasil Reaksi
C_3A	Tidak		Sangat cepat dan melepaskan panas	Hidrasi C_2AH_8 dan C_4AH_{19} dimana sebagian menjadi C_3AH_6
C_3A	Ya		Pada awalnya cepat	Ettringite, dimana sebagian beraksi membentuk monosulfat $3C_4A\hat{S}H_{12}$
C_4AF	Tidak		Bervariasi (tergantung pada perbandingan Al/Fe)	Hidrasi dari $C_2(A,F)H_8$ dan $C_4(A,F)_8$ dimana sebagian berubah menjadi $C_3(A,F)H_6$ (hydrogarnet)
C_4AF	Ya		Bervariasi tapi secara umum lambat	Besi menggantikan ettringite (AFt) dan sebagian besi menggantikan monosulfat (AFm)



Gambar 5. Produk hidrasi pasta (Chompreda, 2010; Mehta, 2005)

C.1.1 Standard Acuan Semen PCC

Standar acuan yang digunakan semen Portland composite bersumber dari EN-197-1, European Standard CEM II *Portland Composite Cement*. Menurut EN 197-1 *Portland Composite Cement* CEM II terbagi 2 yaitu :

a) CEM II/A-M, komposisi semen ini terdiri dari, 80 – 90 % klinker/terak, 6 – 20 % bahan anorganik (*blast furnace, silica fume, pozzolan, fly ash, burn shale lime stone*), 0 – 5 % bahan tambahan minor (gypsum).

b) CEM II/B-M, komposisi semen ini terdiri dari, 65 – 79 % klinker/terak, 21 – 35 % bahan anorganik (*blast furnace, silica fume, pozzolan, fly ash, burn shale lime stone*), 0 – 5 % bahan tambahan minor (gypsum).

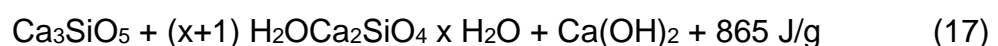
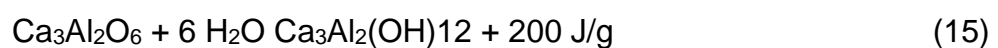
Sedangkan kalau mengacu ke standard ASTM maka standard yang digunakan adalah ASTM C 595, *Specification for blended cement*. Menurut standard ini maka *blended cement* terbagi :

- 1) Tipe IS = *Portland Blast Furnace Slag Cement*
- 2) Tipe IP = *Portland Pozzolan Cement*
- 3) Tipe P = *Portland Pozzolan Cement for use when higher strength at early age not required*

1. Reaksi Hidrasi Semen Portland

Reaksi yang terjadi di dalam semen portland adalah reaksi kimia antara senyawa potensial dengan air, senyawa-senyawa kalsium silikat, kalsium aluminat dan kalsium ferit hidrat yang terjadi berupa struktur larutan padat yang spesifik dan akan mengeras. Reaksi selanjutnya adalah interaksi antar senyawa hidrat tersebut, masing-masing saling mengikat membentuk struktur baru yang kokoh, kaku dan kuat yang biasa disebut pasta, mortar atau beton.

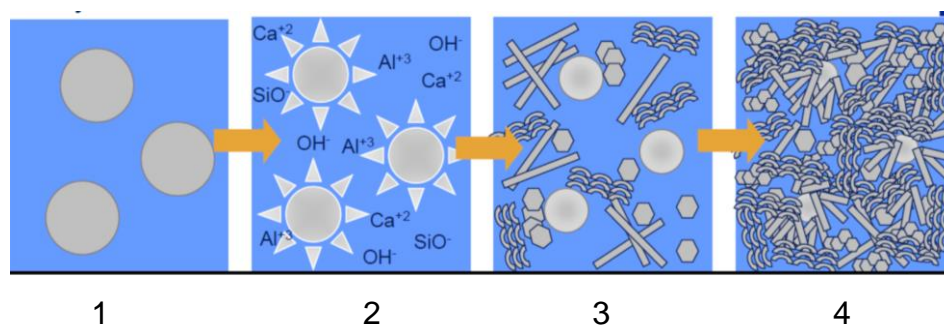
Hidrasi semen adalah proses reaksi antara semen dengan air, proses hidrasi pada semen sangat penting karena dari proses ini akan menentukan kekuatan semen pada akhirnya. Reaksi dari proses hidrasi ini sangat kompleks, tetapi secara umum dapat dituliskan pada persamaan 15, 16 dan 17 (VanVlack, 1985) :



Jika air ditambahkan ke dalam semen, maka akan terjadi beberapa proses yaitu :

1. Pembubaran butiran semen dan tumbuh konsentrasi ion dalam air.
2. Pembentukan senyawa dalam larutan.
3. Setelah mencapai konsentrasi saturasi, senyawa mengendap sebagai bentuk padatan dan merupakan produk hidrasi.
4. Pada stadium lanjut, produk terbentuk pada atau sangat dekat dengan permukaan.

Proses yang dimaksud ini merupakan proses hidrasi semen yang diperlihatkan pada Gambar 6 dimana terdiri dari 4 fase perubahan dan akan membentuk reaksi-reaksi yang baru akibat hidrasi yang terbentuk pada proses pengikatan yang terjadi.



Gambar 6. Proses hidrasi semen

Beberapa hal yang mempengaruhi proses hidrasi adalah :

a. Reaktifitas dan Komposisi Mineral Utama

Reaksi hidrasi yang terjadi sangat ditentukan oleh reaktifitas masing-masing senyawa utama. Senyawa C_3A adalah yang paling reaktif, senyawa ini bereaksi dengan cepat, kemudian disusul oleh senyawa-senyawa C_3S dan C_2S . Jadi reaksi hidrasi semen portland akan berjalan dengan cepat sesuai dengan reaktifnya senyawa

utama. Untuk mengatur kecepatan reaksi sesuai yang diinginkan perlu ditambahkan bahan tambahan, senyawa gypsum ditambahkan sebagai pengendali reaktifitas senyawa C_3A .

b. Kehalusan

Kecepatan reaksi hidrasi semen portland akan bertambah besar dengan semakin halusnya ukuran partikel. Sebaliknya, jika ukuran partikel semakin kasar, reaksi hidrasi akan berjalan semakin lambat. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut, jika ukuran partikel semakin halus, berarti luas permukaan total semakin besar. Bertambah luasnya permukaan menyebabkan kemungkinan terjadinya kontak antara air dengan permukaan butiran akan menjadi besar. Akibatnya kemungkinan terjadinya reaksi antara air dengan butiran juga menjadi lebih besar atau dengan perkataan lain, kecepatan reaksi bertambah besar.

c. Perbandingan Air Dengan Semen Portland

Air dan semen Portland merupakan reaktan dalam reaksi hidrasi, perbandingan konsentrasi antara kedua reaktan tersebut dan produk yang dihasilkan akan mempengaruhi kesetimbangan reaksi, kesetimbangan reaksi merupakan salah satu parameter dari kecepatan reaksi.

d. Waktu

Dengan bertambahnya waktu, kecepatan reaksi masing-masing senyawa potensial akan berkurang sebab komposisi senyawa mulai habis bereaksi.

e. Temperatur

Kecepatan reaksi akan bertambah dengan kenaikan temperatur. Demikian juga reaksi yang terjadi di dalam semen portland akan bertambah cepat karena naiknya temperatur. Hal ini disebabkan karena reaksinya bersifat eksoterm yaitu dengan melepas sejumlah panas. Jadi tanpa tambahan panas dari luar pun reaksi ini akan bertambah cepat dengan kenaikan temperatur akibat panas yang dilepaskan selama reaksi hidrasi.

f. Mekanisme Reaksi

Mekanisme reaksi hidrasi senyawa utama semen Portland yang dapat terbentuk diantaranya senyawa kalsium silikat, senyawa kalsium aluminat, senyawa kalsium aluminoferrit dan senyawa kalsium sulfat hemihidrat :

1. Senyawa Kalsium Silikat (C_3S dan C_2S)

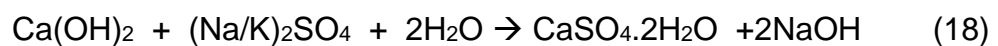
Reaksi antara senyawa C_3S dan C_2S dengan air menghasilkan kalsium silikat hidrat, CSH, dan kalsium hidroksida, $Ca(OH)_2$. Perbedaan reaksi antara kedua senyawa tersebut dalam hal kecepatan dan panas reaksinya, kecepatan dan panas reaksi C_3S lebih besar dari pada C_2S . Panas reaksi C_3S yang ditimbulkan sekitar 500 J/gram. Panas reaksi C_2S yang ditimbulkan sekitar 350

J/gram. Senyawa-senyawa CSH yang dihasilkan merupakan komponen utama dalam penyumbang kekuatan semen portland, dan biasa disebut dengan tobermorite gel. Senyawa C3S merupakan komponen penentu kekuatan awal semen Portland, pada umur 1 – 28 hari, hal ini disebabkan reaksi hidrasinya yang berlangsung cepat dan kadarnya yang tinggi. Sedangkan C₂S merupakan komponen penentu kekuatan akhir semen portland, peranannya baru terlihat 28 hari setelah pengikatan.

2. Senyawa Kalsium Aluminat (C₃A)

Reaksi antara senyawa C₃A dan air berlangsung sangat cepat dan menghasilkan panas sekitar 1350 J/gram. Reaksi yang terjadi terdiri dari beberapa tahap tergantung pada lingkungannya. Senyawa C₃A memainkan peranan yang sangat penting dalam pengembangan kekuatan awal, 1 sampai dengan 3 hari, hal ini disebabkan karena panas hidrasinya yang cukup tinggi sehingga dapat mempercepat reaksi hidrasi secara keseluruhan. Oleh karena senyawa hasil hidrasinya mempunyai daya rekat yang relatif rendah, sumbangan kekuatan yang diberikan senyawa C₃A relatif kecil. Kadar senyawa C₃A dalam semen portland mempengaruhi sifat fisik semen portland, dalam hal ini pemuaian dan ketahanan terhadap sulfat. Semakin tinggi kadar senyawa C₃A, semakin tinggi pemuaian yang terjadi dan semakin tidak tahan terhadap serangan sulfat. Pemuaian yang terjadi disebabkan banyak terbentuknya senyawa ettringite,

sedangkan senyawa ettringite merupakan senyawa yang mempunyai volume yang sangat besar. Ketahanan terhadap serangan sulfat dapat diterangkan sebagai berikut, alkali sulfat bereaksi dengan kalsium hidroksida bebas membentuk senyawa gypsum yang diperlihatkan pada persamaan 18.



Senyawa gypsum yang terbentuk akan bereaksi dengan senyawa C_3A membentuk senyawa ettringite, senyawa ettringite merupakan senyawa yang mempunyai volume yang sangat besar sehingga menyebabkan pemuaian dan dapat menimbulkan keretakan pada beton.

3. Senyawa Kalsium Aluminoferrit (C_4AF)

Reaksi hidrasi senyawa C_4AF berlangsung cepat dan menghasilkan panas sekitar 160 J/gram. Reaksi yang terjadi terdiri dari beberapa tahap tergantung pada lingkungannya.

Senyawa kalsium oksida bebas (CaO -bebas)



Senyawa magnesium oksida bebas (MgO)



Senyawa Mg(OH)_2 cenderung membentuk senyawa hidrat, senyawa hidrat yang dihasilkan mempunyai volume yang relatif besar sehingga menyebabkan pemuaian. Pemuaian yang terjadi menyebabkan adanya pengaruh pada kekuatan beton yang

dihasilkan sehingga senyawa ini perlu dipikirkan persentasenya dalam semen.

4. Senyawa Kalsium Sulfat Hemihidrat

Senyawa kalsium sulfat dihidrat (gypsum) relatif tidak stabil terhadap temperature yang terjadi. Di dalam semen Portland, senyawa kalsium sulfat mempunyai kandungan air hidrat antara 2 sampai dengan 0,5, hal ini disebabkan proses yang terjadi di “*cement mill*”. Senyawa kalsium sulfat yang mengandung air hidrat kurang dari 2 dan sampai dengan 0,5 disebut senyawa kalsium sulfat hemihidrat. Panas hidrasi (*heat hydration*) yang terjadi pada beberapa waktu dengan satuan kal/g dapat dilihat pada Tabel 7.

Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai. Sebagai akibatnya beton yang dihasilkan akan kurang kekuatannya atau dengan kata lain adanya pengaruh pada kekuatan yang dihasilkan pada beton dan tidak tercapainya kekuatan beton sesuai dengan kekuatan rencana dari rancangan campuran (Nawy, 2010; Neville & Brooks, 1981).

Tabel 7. Panas hidrasi oleh komponen semen

Komponen	Panas hidrasi yang terjadi berdasarkan waktu (kal/g)		
	3 hari	90 hari	13 tahun
C ₃ S	58	104	122
C ₂ S	12	42	59

C ₃ A	212	311	324
C ₄ AF	69	98	102

C.2.Agregat

Menurut SNI 2847:2019, agregat adalah bahan berbutir, seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan slag tanur (*blast-furnance slag*) yang digunakan dengan media perekat untuk menghasilkan beton atau mortar semen hidrolis.

Agregat merupakan bahan penyusun beton yang menempati 70-75% dari total volume beton sehingga kualitas agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas beton. Meskipun dulu agregat dianggap sebagai material pasif, berperan sebagai bahan pengisi saja, kini disadari adanya kontribusi positif agregat pada sifat beton, seperti stabilitas volume, ketahanan abrasi, dan ketahanan umum (*durability*) diakui. Bahkan beberapa sifat fisik beton secara langsung tergantung pada sifat agregat seperti kepadatan, panas jenis, dan modulus elastisitas.

C.2.1.Agregat halus

Menurut SNI 03-2847-2002 agregat halus adalah butiran halus yang memiliki kehalusan 2mm - 5mm. Agregat halus adalah agregat dengan besar butir maksimum 4,75 mm. Agregat halus yang baik harus bebas dari bahan organik, lempung atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton ataupun batako. Pasir merupakan bahan pengisi yang digunakan dengan semen untuk

membuat adukan. Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm; (SNI 03-2834-1993).

Agregat halus merupakan pengisi yang berupa pasir. Ukurannya bervariasi antara ukuran No.4 dan No.100 saringan standar Amerika. Agregat halus yang baik harus bebas dari bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan No.100 atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton. Variasi ukuran dalam suatu campuran harus mempunyai gradasi yang baik, yang sesuai dengan standar analisis saringan dari ASTM (*American Society of Testing and Materials*). Pada penelitian ini, jenis agregat halus yang digunakan agregat halus (pasir silika dari Kabupaten Pinrang) sebagai bahan campuran beton Massa.

Adapun persyaratan agregat halus secara umum menurut SNI 03-6821-2002 adalah sebagai berikut:

- a) Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras.
- b) Butir-butir halus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Sifat kekal agregat halus dapat di uji dengan larutan jenuh garam. Jika dipakai natrium sulfat maksimum bagian yang hancur adalah 10% berat. Sedangkan jika dipakai magnesium sulfat.

c) Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (terhadap berat kering), jika kadar lumpur melampaui 5% maka pasir harus di cuci.

C.2.2. Agregat Kasar

Menurut SNI 03-2834-2000, agregat kasar merupakan adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm.

Adapun jenis agregat kasar menurut Nawy (1998:14) adalah:

- Batu pecah alami: Bahan ini didapat cadas atau batu pecah alami yang digali. Batu pecah ini dapat berasal dari gunung api, jenis sedimen, atau jenis metamorf. Meskipun dapat menghasilkan kekuatan yang tinggi terhadap beton, batu pecah kurang memberikan kemudahan pengerjaan dan pengecoran di bandingkan dengan agregat kasar lainnya.
- Kerikil alami: Kerikil didapat dari proses alami, yaitu dari pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir. Kerikil memberikan kekuatan yang lebih rendah dari pada batu pecah, tetapi memberikan kemudahan pengerjaan yang lebih tinggi.
- Agregat kasar buatan: Terutama berupa slag atau shale yang biasa digunakan untuk beton berbobot ringan. Biasanya merupakan hasil dari proses lain seperti dari blast-furnance dan lain-lain.

- Agregat untuk pelindung nuklir dan berbobot berat: Dengan adanya tuntutan yang spesifik pada zaman atom sekarang ini, juga untuk pelindung dari radiasi nuklir sebagai akibat dari semakin banyaknya pembangkit atom dan stasiun tenaga nuklir, maka perlu ada beton yang dapat melindungi dari sinar x, sinar gamma, dan neutron. Pada beton demikian syarat ekonomis maupun syarat kemudahan pengerjaan tidak begitu menentukan. Agregat kasar yang diklasifikasikan di sini misalnya baja pecah, barit, magnetit dan limonit.

C.3. Air

Air dibutuhkan semen dalam proses kimia untuk bisa berubah menjadi pasta. Berdasarkan komposisi mineral semen, jumlah air yang dibutuhkan untuk hidrasi secara teoritis berkisar 35 – 37 % dari berat semen. Dalam ASTM tidak ada ketentuan syarat air.

C.4. Bahan Tambahan

Menurut SNI 03-2495-1991, bahan tambahan adalah suatu bahan berupa bubuk atau cairan, yang dibubuhkan kedalam campuran beton selama pengadukan dalam jumlah tertentu untuk merubah beberapa sifatnya. Pada penelitian ini digunakan bahan Sikament NN, Sikament NN adalah superplasticizer cairan aksi ganda yang sangat efektif untuk produksi beton yang mengalir bebas atau sebagai agen pereduksi air yang substansial untuk

mempromosikan kekuatan awal dan akhir yang tinggi. Bebas klorida. Sesuai dengan A.S.T.M. C 494-92 Tipe F.

Sikament NN digunakan sebagai super plasticizer dalam produksi beton bebas mengalir untuk digunakan dalam:

- Lembaran dan fondasi.
- Dinding, kolom, dan dermaga.
- Komponen ramping dengan tulangan padat.
- Permukaan bertekstur selesai.

Itu juga digunakan sebagai agen pereduksi air yang mengarah ke beton kekuatan awal tinggi untuk digunakan dalam:

- Elemen beton pra-cetak.
- Beton pra-stres.
- Jembatan dan struktur penopang.
- Area beton tempat bekisting harus dilepas dengan cepat atau beban awal akan diterapkan.

Karakteristik dan Keuntungan :

➤ Sebagai Superplasticizer :

- Kemampuan kerja sangat meningkat.
- Meningkatkan kemungkinan penempatan komponen ramping dengan penguat dikemas.
- Mengurangi jumlah getaran yang dibutuhkan.
- Set normal tanpa keterbelakangan.
- Secara signifikan mengurangi risiko segregasi.

Sebagai Peredam Air:

- Pengurangan air hingga 20% akan menghasilkan peningkatan 40% dalam 28 hari kekuatan tekan.
- Kekuatan tinggi setelah 12 jam.

D.Kekuatan Beton.

D.1 Pengujian Slump

Slump adalah penurunan ketinggian pada pusat permukaan atas beton yang diukur segera setelah cetakan uji slump diangkat. Pengujian slump merupakan suatu teknik untuk memantau homogenitas dan workability adukan beton segar dengan suatu kekentalan tertentu yang dinyatakan dengan satu nilai slump . Dalam kondisi laboratorium, dengan material beton yang terkendali secara ketat, nilai slump umumnya meningkat sebanding dengan nilai kadar air campuran beton, dengan demikian berbanding terbalik dengan kekuatan beton. Tetapi dalam pelaksanaan di lapangan harus hati-hati, karena banyak faktor yang berpengaruh terhadap perubahan adukan beton pada pencapaian nilai slump yang ditentukan, sehingga hasil slump yang diperoleh di lapangan tidak sesuai dengan kekuatan beton yang diharapkan. (SNI 1972-2008).

D.2 Kuat Tarik Belah

Kekuatan tarik relatif rendah untuk beton normal berkisar antara 9%-15% dari kuat tekan. Pengujian kuat tarik beton dilakukan melalui pengujian split silinder. Nilai pendekatan yang diperoleh dari

hasil pengujian berulang kali mencapai kekuatan 0,50-0,60 kali $\sqrt{f_c'}$, sehingga untuk beton normal digunakan nilai 0,57 $\sqrt{f_c'}$. Pengujian tersebut menggunakan benda uji silinder beton berdiameter 150 mm dan panjang 300 mm, diletakkan pada arah memanjang di atas alat penguji kemudian beban tekan diberikan merata arah tegak dari atas pada seluruh panjang silinder. Apabila kuat tarik terlampaui, benda uji terbelah menjadi dua bagian dari ujung ke ujung. Tegangan tarik yang timbul sewaktu benda uji terbelah disebut sebagai *split cylinder strength*.

Menurut SNI 03-2491-2014 besarnya tegangan tarik beton (tegangan rekah beton) dapat di hitung dengan rumus :

$$f_r = \frac{2P}{\pi LD}$$

Dimana,

f_r = Kuat tarik belah (N/mm²)

P = Beban pada waktu belah (N)

L = Panjang Benda uji (mm)

Alasan utama dari kuat tarik yang kecil bahwa pada kenyataannya beton dipenuhi retak-retak halus yang tidak dipengaruhi bila beton menerima beban tekan karena beban tekan menyebabkan retak menutup sehingga memungkinkan terjadinya penyaluran tekan, berbeda jika beton menerima beban tarik. Pengujian kuat tarik belah digunakan untuk mengevaluasi ketahanan geser dari komponen struktur yang terbuat dari beton (SNI 03-2491-2014).