

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton

Berdasarkan SNI 03-2847-2002, beton didefinisikan sebagai campuran antara semen *portland* atau semen hidrolik yang lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan campuran tambahan dengan perbandingan tertentu, sehingga membentuk suatu massa padat. Klasifikasi dari beton menurut kekuatannya dibagi menjadi dua jenis, yaitu beton normal yang memiliki kekuatan 20-40 MPa dan beton mutu tinggi yang kekuatannya melebihi 40 MPa. Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana (f'_c) pada usia 28 hari. Sifat-sifat beton pada umumnya dipengaruhi oleh kualitas bahan, cara pengerjaan dan cara perawatannya.

Menurut Mulyono (2004), penggunaan beton dalam dunia konstruksi mempunyai beberapa kelebihan dan kelemahan seperti berikut ini.

A. Kelebihan

1. Dapat dengan mudah dibentuk sesuai kebutuhan konstruksi
2. Mampu memikul beban yang berat, karena memiliki kuat tekan yang tinggi
3. Tahan terhadap temperatur tinggi
4. Biaya pemeliharaan yang kecil

B. Kekurangan

1. Bentuk yang dibuat sulit untuk diubah

2. Kuat tarik rendah
3. Sangat getas
4. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi
5. Berat
6. Daya pantul suara yang besar

2.2. Bahan Penyusun Beton

2.2.1. Semen

Semen *Portland* adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis dengan gips sebagai bahan tambahan. Unsur utama yang terkandung dalam semen dapat digolongkan ke dalam empat bagian yaitu: trikalsium silikat (C_3S) atau $3CaO.SiO_2$, dikalsium silikat (C_2S) atau $2CaO.SiO_2$, trikalsium aluminat (C_3A) atau $3CaO.Al_2O_3$ dan tetrakalsium aluminoforit (C_4AF) atau $4CaO. Al_2O_3. Fe_2O_3$, selain itu pada semen juga terdapat unsur-unsur lainnya dalam jumlah kecil, misalnya: CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , SO_3 , dan Soda atau potasium ($Na_2O + K_2O$) merupakan komponen minor dari unsur-unsur penyusun semen yang harus diperhatikan, karena keduanya merupakan alkali yang dapat bereaksi dengan silika aktif dalam agregat sehingga menimbulkan disintegrasi pada beton dan mempengaruhi kekuatan beton (Tjokrodinuljo, 1996).

Unsur C_3S dan C_2S merupakan bagian terbesar (70% - 80%) dan paling dominan dalam memberikan sifat semen, bila semen terkena air maka C_3S akan segera berhidrasi dan menghasilkan panas. Selain itu juga berpengaruh besar

terhadap pengerasan semen, terutama sebelum mencapai umur 14 hari. Sebaliknya, unsur C_2S bereaksi dengan air lebih lambat sehingga hanya berpengaruh setelah beton berumur 7 hari, dan memberikan kekuatan akhir, unsur C_2S ini juga membuat semen tahan terhadap serangan kimia (chemical attack) dan juga mengurangi besar susutan pengeringan. Unsur ketiga, C_3A , bereaksi dengan sangat cepat dan memberikan kekuatan sesudah 24 jam. Unsur ini bereaksi secara eksotermik dan sangat berpengaruh terhadap panas hidrasi tertinggi, baik pada pengerasan awal maupun pada pengerasan akhir. Kadar C_3A tidak boleh terlalu banyak (maksimal 5%) karena apabila unsur ini bereaksi dengan sulfat maka akan mengakibatkan pengembangan beton keras dan berpotensi menimbulkan retak-retak pada beton. Unsur keempat, C_4AF , kurang begitu besar pengaruhnya terhadap proses pengerasan semen (Tjokrodimuljo, 1996).

Perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah persentase 4 komponen utama semen dapat menghasilkan beberapa jenis semen sesuai dengan tujuan pemakaiannya. SNI 03-2914-1992 tentang Spesifikasi Beton Bertulang Kedap Air menyebutkan 5 jenis semen seperti diuraikan di bawah ini.

1. Jenis I, yaitu semen *Portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus.
2. Jenis II, yaitu semen *Portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Jenis III, yaitu semen *Portland* yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi setelah pengikatan terjadi.

4. Jenis IV, yaitu semen *Portland* yang dalam penggunaannya menuntut panas hidrasi yang rendah.
5. Jenis V, yaitu semen *Portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat yang sangat baik.

Selain kelima jenis semen yang telah disebutkan di atas, adapun jenis semen lain yang biasanya digunakan untuk beberapa pekerjaan tertentu, seperti di bawah ini.

1. Semen Portland Pozolan (PPC)

Semen Portland pozolan adalah suatu bahan pengikat hidrolis yang dibuat dengan menggiling bersama terak semen Portland dan bahan yang mempunyai sifat pozolan. Semen jenis ini memiliki ketahanan yang baik dan digunakan untuk bangunan laut, pengairan, dan beton massa.

2. Semen Masonry dan Mixed Cement

Semen yang diproduksi dari pencampuran terak semen Portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik yang bersifat inert. Kuat tekan dari semen jenis ini rendah atau maksimal 20 Mpa saja. Semen jenis ini sering digunakan sebagai bahan plesteran dan pekerjaan konstruksi ringan.

Proses hidrasi yang terjadi pada semen *Portland* dapat dinyatakan dalam persamaan 2-1 sebagai berikut:



Hasil utama dari proses hidrasi semen adalah $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ (*tobermorite*) yang berbentuk gel dan panas hidrasi selama reaksi berlangsung. Hasil yang lain berupa kapur bebas $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang merupakan sisa dari reaksi antara C_3S dan C_2S dengan

air, kapur bebas ini dalam jangka panjang cenderung melemahkan beton karena dapat bereaksi dengan zat asam maupun sulfat yang ada di lingkungan sekitar sehingga menimbulkan proses korosi pada beton.

2.2.2. Air

Air merupakan bahan penyusun beton yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen, yang juga berfungsi sebagai pelumas antara butiran-butiran agregat agar dapat dikerjakan dan dipadatkan. Proses hidrasi dalam beton segar membutuhkan air kurang lebih 30% dari berat semen yang digunakan, tetapi dalam kenyataan jika nilai faktor air semen kurang dari 35% beton segar menjadi tidak dapat dikerjakan dengan sempurna sehingga setelah mengeras beton yang dihasilkan menjadi keropos dan memiliki kekuatan yang rendah. Kelebihan air dari proses hidrasi diperlukan untuk syarat-syarat kekentalan (*consistency*) agar dapat dicapai suatu kelecakan (*workability*) yang baik. Kelebihan air ini selanjutnya akan menguap atau tertinggal di dalam beton sehingga menimbulkan pori-pori (*capillary poreous*) di dalam beton yang sudah mengeras.

Menurut SNI S-04-1989-F, Air sebagai bahan campur beton untuk bangunan sebaiknya memenuhi syarat sebagai berikut ini:

- a. air harus bersih,
- b. tidak mengandung lumpur, minyak, dan benda melayang lainnya, yang dapat dilihat secara visual. Benda-benda tersuspensi ini tidak boleh dari 2 gram per liter,
- c. tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter,
- d. tidak mengandung *khlorida* (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter. Khusus untuk beton pra-tegang kandungan *khlorida* tidak boleh dari 0,05 gram per liter,

- e. tidak mengandung senyawa sulfat (sebagai SO_3) lebih dari 1 gram/liter.

2.2.3. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat kurang lebih menempati sebanyak 70% dari volume mortar atau beton. Pemilihan agregat merupakan bagian yang sangat penting karena karakteristik agregat akan sangat mempengaruhi sifat-sifat mortar atau beton (Tjokrodimuljo, 1996).

Faktor lain yang perlu diperhatikan adalah gradasi atau distribusi ukuran butir agregat, karena bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang seragam akan menghasilkan volume pori yang besar tetapi bila ukuran butir-butirnya bervariasi maka volume pori menjadi kecil. Hal ini disebabkan butir yang lebih kecil akan mengisi pori di antara butiran yang lebih besar. Agregat sebagai bahan penyusun beton diinginkan mempunyai kemampatan yang tinggi, sehingga volume pori dan bahan pengikat yang dibutuhkan lebih sedikit.

Menurut Tjokrodimuljo (1996) ukuran agregat dalam prakteknya secara umum digolongkan ke dalam 3 kelompok yaitu:

1. batu, jika ukuran butiran lebih dari 40 mm,
2. kerikil, jika ukuran butiran antara 5 mm sampai 40 mm,
3. pasir, jika ukuran butiran antara 0,15 mm sampai 5 mm.

Butiran yang lebih kecil dari 0,15 mm dinamakan *silt* atau lanau

A. Agregat Kasar

Adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan

mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm (SNI 2847-2013). Agregat kasar ini harus bersih dari bahan-bahan organik dan harus mempunyai ikatan yang baik.

Syarat mutu agregat kasar menurut ASTM C 33-02a (2002) adalah seperti tercantum di bawah ini:

- a. tidak boleh reaktif terhadap alkali jika dipakai untuk beton basah dengan lembab atau berhubungan dengan bahan yang reaktif terhadap alkali semen, dimana penggunaan semen yang mengandung natrium oksida tidak lebih dari 0,6 %,
- b. susunan gradasi harus memenuhi syarat,
- c. kadar bahan atau partikel yang berpengaruh buruk pada beton,
- d. sifat fisika (kekerasan butiran diuji dengan mesin *Los Angeles Abration*).

B. Agregat Halus

Agregat halus dalam beton adalah pasir alam sebagai salah satu agregat yang lolos dari ayakan no.4 (lebih kecil dari 3/16 inchi) dimana besar butirannya berkisar antara 0,15 sampai 5 mm. Pasir dibedakan menjadi 3, yaitu:

- a. pasir galian yang diperoleh dari permukaan tanah,
- b. pasir sungai yang diambil dari sungai,
- c. pasir laut yang diperoleh dari pantai.

Ukuran agregat mempunyai pengaruh yang penting terhadap jumlah semen dan air yang diperlukan untuk membuat satu-satuan beton.

2.2.4. Bahan Tambah

Bahan tambah yaitu bahan selain unsur pokok pada beton (air, semen dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton, baik sebelum, segera atau selama pengadukan beton dengan tujuan mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras. Fungsi-fungsi bahan tambah antara lain: mempercepat pengerasan, menambah kelecakan (*workability*) beton segar, menambah kuat tekan beton, meningkatkan daktilitas atau mengurangi sifat getas beton, mengurangi retak-retak pengerasan dan sebagainya. Bahan tambah diberikan dalam jumlah yang relatif sedikit dengan pengawasan yang ketat agar tidak berlebihan yang berakibat memperburuk sifat beton (Tjokodimuljo, 1996). Bahan tambah menurut maksud penggunaannya dibagi menjadi dua golongan yaitu *admixtures* dan *additives*.

Admixtures ialah semua bahan penyusun beton selain air, semen hidrolis dan agregat yang ditambahkan sebelum, segera atau selama proses pencampuran adukan di dalam *batching*, untuk merubah sifat beton baik dalam keadaan segar atau setelah mengeras. Definisi *additive* lebih mengarah pada semua bahan yang ditambahkan dan digiling bersamaan pada saat proses produksi semen.

Menurut Tjokrodimuljo (1996), bahan tambah dapat dibedakan menjadi 3 golongan seperti tercantum di bawah ini.

1. *Chemical Admixtures* merupakan bahan tambah bersifat kimiawi yang dicampurkan pada adukan beton dengan maksud agar diperoleh sifat-sifat yang berbeda pada beton dalam keadaan segar maupun setelah mengeras, misalnya sifat pengerjaannya yang lebih mudah dan waktu pengikatan yang

lebih lambat atau lebih cepat. *Superplasticizer* merupakan salah satu jenis *chemical admixture* yang sering ditambahkan pada beton segar. Pada dasarnya penambahan *superplasticizer* dimaksudkan untuk meningkatkan kelecakan, mengurangi jumlah air yang diperlukan dalam pencampuran (faktor air semen), mengurangi *slump loss*, mencegah timbulnya *bleeding* dan segregasi, menambah kadar udara (*air content*) serta memperlambat waktu pengikatan (*setting time*).

Adapun macam-macam bahan tambah kimia menurut ASTM C 494-82 (1982) adalah seperti dibawah ini.

a. Tipe A (*Water Reducing Admixtures*)

Water reducing admixtures adalah bahan tambah yang mengurangi air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu.

b. Tipe B (*Retarding Admixture*)

Retarding admixture adalah bahan tambah yang berfungsi untuk menghambat waktu pengikatan beton. Misalnya karena kondisi cuaca panas dimana tingkat kehilangan sifat pengerjaan beton sangat tinggi.

c. Tipe C (*Accelerating Admixture*)

Accelerating admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton.

d. Tipe D (*Water Reducing and Retarding Admixture*)

Water reducing and retarding admixture adalah bahan tambah yang berfungsi ganda, yaitu mengurangi jumlah air yang diperlukan

campuran beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal.

e. Tipe E (*Water Reducing and Accelerating Admixtures*)

Water reducing and accelerating admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi ganda, yaitu mengurangi jumlah air untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan mempercepat pengikatan awal.

f. Tipe F (*Water Reducing High Range Admixtures*)

Water reducing high range admixtures adalah bahan tambah berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih. Pengurangan kadar air dalam bahan ini lebih tinggi, bertujuan agar kekuatan beton yang dihasilkan lebih tinggi dengan air yang sedikit tetapi tingkat kemudahan pengerjaannya lebih tinggi. Jenis bahan tambah ini adalah *superplasticizer*, dosis yang disarankan adalah sekitar 1-2% dari berat semen. Dosis yang berlebihan akan menyebabkan menurunnya kuat tekan beton.

g. Tipe G (*Water Reducing High Range Retarding Admixtures*)

Water reducing high range retarding admixtures adalah bahan tambah berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang digunakan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih dan juga untuk menghambat pengikatan beton. Jenis bahan tambah ini merupakan gabungan *superplasticizer* dengan penunda waktu pengikatan.

2. Pozolan (*pozzolan*) merupakan bahan tambah yang berasal dari alam atau buatan yang sebagian besar terdiri dari unsur-unsur silikat dan aluminat yang reaktif. Pozolan sendiri tidak mempunyai sifat semen, tetapi dalam keadaan halus bereaksi dengan kapur bebas atau kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) dan air menjadi suatu massa padat yang tidak larut dalam air. Pozolan dapat ditambahkan pada campuran adukan beton atau mortar (sampai batas tertentu dapat menggantikan semen), untuk memperbaiki kelecakan (*workability*), membuat beton menjadi lebih kedap air (mengurangi permeabilitas) dan menambah ketahanan beton atau mortar terhadap serangan bahan kimia yang bersifat agresif dan juga serangan sulfat . Penambahan pozolan juga dapat meningkatkan kuat tekan beton karena adanya reaksi pengikatan kapur bebas (Ca(OH)_2) oleh silikat atau aluminat menjadi *tobermorite* ($3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Pozolan yang saat ini telah banyak diteliti dan digunakan antara lain *silica fume* (SF), *fly ash* (FA), *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBS), tras alam dan abu sekam padi (*Rice Husk Ash*).

2.3. Fly Ash

Fly ash adalah residu halus yang dihasilkan dari pembakaran atau pembubukan batubara dan diangkutasikan oleh aliran udara panas. Berdasarkan SNI 2460:2014 *fly ash* diklasifikasikan di dalam 3 kelas seperti berikut ini.

1. Kelas N : Pozolan alam atau hasil pembakaran, pozolan alam yang

dapat digolongkan didalam jenis ini seperti tanah *diatomoic*, *opaline cherts* dan *shales*, *tuff* dan abu vulkanik atau *pumicite*, dimana bisa diproses melalui pembakaran atau tidak. Selain itu juga berbagai material hasil pembakaran yang mempunyai sifat pozolan yang baik.

2. Kelas F: *Fly ash* yang mengandung CaO kurang dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau *sub-bitumen* batubara.
3. Kelas C : *Fly ash* yang mengandung CaO di atas 10% yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau *sub-bitumen* batubara.

Menurut Budi (2017) beberapa sifat atau karakter dari *fly ash* yang memberikan kelebihan bagi campuran beton, seperti yang diuraikan dibawah ini.

1. *Spherical Shape* (bentuk partikel yang hampir bulat sempurna), yang menghasilkan *ball bearing effect* untuk “melumasi” adukan pasta dan mortar semen sehingga mempunyai kemampuan alir (*flowability*) dan *workability* yang lebih baik.
2. Ukuran partikel yang sangat halus, yang membuat *fly ash* mampu mengisi celah kecil dalam komposisi adukan beton, sehingga meningkatkan kepadatan beton sehingga lebih *impermeable* (kedap air), lebih tahan terhadap abrasi dan memperkecil susut beton.
3. Dalam kadar tertentu dan lingkungan yang mendukung (kelembapan cukup dan suhu normal), kandungan senyawa silika akan mengikat senyawa sisa hasil hidrasi semen (kalsium hidroksida) yang tidak mempunyai kemampuan mengikat, menjadi senyawa baru yang mempunyai sifat

mengikat sehingga dalam taraf tertentu akan meningkatkan kekuatan beton yang dihasilkan.

4. Dalam kadar tertentu, membantu meningkatkan ketahanan terhadap sulfat dan garam alkali.
5. Mengurangi reaktifitas silika-alkali.
6. Mengurangi potensi *bleeding* dan *segregasi*.
7. Memperpanjang waktu *setting* sehingga memberikan waktu lebih banyak untuk pengerjaan beton segar.
8. Mengurangi panas hidrasi, sehingga diharapkan mengurangi kemungkinan terjadinya retak selama proses *setting* dan *hardening* beton.
9. Membuat biaya produksi beton menjadi lebih murah, karena secara ekonomis *fly ash* lebih murah dari semen.

Penggunaan *fly ash* dilakukan dengan cara mengganti semen yang telah dihitung sesuai dengan perhitungan *mix design* kemudian dicampur ke dalam *mixer concrete*. *Fly ash* juga dapat digabungkan dengan bahan tambah lain untuk mendapatkan kekuatan tekan yang maksimum.

2.4. Perawatan (Curing) Dengan Air Laut

Bangunan air adalah bangunan yang digunakan untuk memanfaatkan dan mengendalikan air di sungai maupun laut. Bentuk dan ukuran bangunan tergantung kebutuhan, kapasitas maksimum sungai, serta dana pembangunan dan sifat hidrolik lingkungan. Kebanyakan konstruksi bangunan air bersifat lebih masif dan tidak memerlukan segi keindahan dibanding dengan bangunan-bangunan gedung, dan

juga perencanaan bangunannya secara detail tidak terlalu halus. Untuk bangunan yang terdapat pada daerah sekitar laut dilakukan perawatan (*curing*) dengan air laut, dimana perawatan beton itu sendiri adalah menjaga agar permukaan beton segar selalu lembab, sejak dipadatkan sampai proses hidrasi cukup sempurna.

2.4.1. Air Laut

Menurut Wedhanto (2017) kadar garam pada air laut (salinitas), diukur dari jumlah material yang terlarut dalam tiap kilogram air laut atau setara dengan part per thousand (1/1000). Salinitas menggambarkan jumlah material yang terlarut dalam air laut, umumnya berkisar antara 3,4- 3,5%. Tabel 2.1 merupakan perkiraan salinitas beberapa laut terkenal di dunia. Kemampuan air untuk melarutkan garam cenderung beragam dan tergantung di mana laut itu berada, namun perbandingan komponen utama yang terkandung didalamnya relatif konstan. Komponen utama itu dihitung untuk mengetahui kelemahan dan kemungkinan runtuhnya bangunan di daerah yang terpengaruh air laut.

Tabel 2.1 Perkiraan salinitas di beberapa Laut.
(Sumber: Islam dkk, 2010)

| Nama Laut | Konsentrasi Garam (%) |
|-------------------------|-----------------------|
| Laut Mediteran | 3,8 |
| Laut Baltik | 0,7 |
| Laut Utara dan Atlantik | 3,5 |
| Laut Hitam | 1,8 |
| Laut mati | 5,3 |
| Laut India | 3,55 |

Menurut Budi (2017) air laut mengandung 3,5% zat garam, gas-gas terlarut, bahan-bahan organik dan partikel tak terlarut. Zat garam utama yang terdapat dalam

air laut adalah klorida sebanyak 55%, natrium 31%, sulfat 8%, magnesium 4%, kalsium 1%, potassium 1% dan sisanya terdiri dari bikarbonat, bromide, asam borak, strontium dan florida kurang dari 1%.

Menurut Emmanuel, dkk (2014) pengaruh kimia air laut terhadap beton terutama disebabkan oleh serangan Magnesium Sulfat ($MgSO_4$), yang diperburuk dengan adanya kandungan clorida didalamnya, reaksinya akan menghambat perkembangan beton. Biasanya digolongkan sebagai bagian dari serangan sulfat oleh air laut yang mengakibatkan beton tampak menjadi keputih-putihan, selain itu beton akan mengembang yang sebelumnya didahului oleh terjadinya *spalling* (patah) dan retak. Akhirnya pada bagian beton yang terserang oleh sulfat akan menjadi lunak membentuk lapisan seperti lumpur.

Saat pertama kali mengalami serangan sulfat, kekuatan tekan beton akan naik, lalu secara berangsur-angsur mengalami kehilangan kekuatan, dan akhirnya beton mengembang. Serangan ini dipandang sebagai akibat dari kehadiran Potassium (KS) dan Magnesium Sulfat (MgS) pada air laut yang dapat menyebabkan timbulnya serangan sulfat pada beton. Serangan dimulai semenjak beton siap bereaksi dengan kalsium hidroksida yang ada pada semen.

2.5 Beberapa Penelitian Terkait

Penelitian yang dilakukan oleh Syamsuddin, dkk (2011) pada beton normal dengan masa *curing* dengan air laut selama 1 hari, 2 hari, dan 3 hari yang dibandingkan dengan beton normal dengan perlakuan *curing* menggunakan air tawar dan variasi nilai faktor air semen 0,45; 0,50; dan 0,55 memberikan pengaruh

terhadap kuat tekan beton, dimana kuat tekan beton yang menggunakan air tawar sebagai perlakuan *curing* lebih tinggi dibanding perlakuan *curing* dengan air laut. Sedangkan untuk durasi *curing* dengan air laut selama 1 hari, 2 hari, dan 3 hari terdapat perbedaan kuat tekan beton yang relatif kecil. Terjadi sedikit penurunan dari 1 ke 3 hari untuk faktor air semen 0,45 dan 0,50, dan terjadi sedikit kenaikan dari 1 ke 3 hari untuk faktor air semen 0,55. Semakin lama masa *curing* dan semakin besar faktor air semen maka semakin besar pula absorpsi yang terjadi. Kuat tekan maksimum ada pada fas 0,45.

Hunggurami, dkk (2014) melakukan penelitian tentang pengaruh masa perawatan (*curing*) menggunakan air laut terhadap kuat tekan dan absorpsi beton. Pada pengujian kuat tekan beton pada umur 7 hari beton yang mengalami *curing* air laut menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dari pada beton yang mengalami *curing* dengan air tawar, sedangkan untuk beton umur 14 hari dan 28 hari yang mengalami perawatan dengan air tawar menghasilkan kuat tekan rata-rata yang lebih tinggi daripada kuat tekan yang dihasilkan beton yang mengalami perawatan dengan air laut. Pada beton umur 28 hari menunjukkan semakin tinggi mutu beton maka perbedaan kuat tekan antara beton yang mengalami *curing* dengan air tawar semakin kecil dengan beton yang mengalami *curing* dengan air laut. Nilai absorpsi air laut dari beton yang mengalami *curing* dengan air laut memiliki nilai yang lebih tinggi dari pada beton yang mengalami *curing* dengan air tawar.

Penelitian yang dilakukan oleh Budi (2017) pada beton normal yang menggunakan 3 merk semen dan penambahan *fly ash* 10% dengan perlakuan *curing* menggunakan air laut selama 7 hari, 14 hari, dan 28 hari memperoleh kuat tekan

tertinggi pada beton dengan merk semen Tiga Roda dan masa perendaman 28 hari yaitu sebesar 22,63 MPa.

Wibawa (2010), melakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan *fly ash* variasi 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% terhadap kuat tekan beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar kadar *fly ash* yang ditambahkan, maka kuat tekan yang dihasilkan semakin meningkat, dimana kuat tekan maksimum pada variasi penambahan 20% *fly ash* mencapai 35,60 MPa, sedangkan kuat tekan terendah terjadi pada beton tanpa tambahan *fly ash* (0%) yaitu 26,71 MPa. Hal itu disebabkan hasil proses hidrasi semen banyak menghasilkan hasil sampingan yaitu Ca(OH)_2 yang relatif lemah menghasilkan ruang keropos pada beton yang mengandung retak mikro (*micro crack*), sehingga akan mengurangi kepadatan dan kekuatan beton. Dengan adanya abu terbang didalam beton, maka kristal Ca(OH)_2 akan bereaksi dengan unsur silikat dan aluminat yang terkandung dalam *fly ash* dan menghasilkan *tobermorite*. *Tobermorite* tersebut berfungsi untuk mengisi pori-pori yang terdapat dalam beton sehingga meningkatkan kerapatan dan kuat tekan yang dihasilkan.

Penelitian yang dilakukan oleh Wedhanto (2017) memberikan informasi mengenai komposisi kimia air laut, pengaruh kimia air laut yang digunakan untuk *curing* terhadap kekuatan beton, dimana pada saat beton baru dicor sampai umur 28 hari dengan 3 Tipe Semen menunjukkan kekuatan tekan yang meningkat dengan cepat pada masa awal perendaman. Kuat tekan beton akan menurun apabila semakin lama perendaman dilakukan, pada penelitian tersebut tipe semen yang paling tahan terhadap air laut adalah semen tipe I.