

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Beton

Beton adalah suatu campuran semen, agregat halus, dan agregat kasar yang ditambahkan air secukupnya sebagai bahan bantu untuk membentuk reaksi kimia sehingga terjadi pengerasan. Ada banyak keunggulan yang dimiliki oleh beton, diantaranya adalah ketersediaan material dasar sehingga biayanya relatif murah. Selain itu, beton juga mudah untuk digunakan dan dikerjakan untuk berbagai jenis konstruksi, serta mudah beradaptasi dengan lingkungan di sekitarnya. Daya tahan dari beton juga tinggi sehingga memperkecil kebutuhan pemeliharaan (Istimawan Dipohusodo, 1994).

Dalam aplikasinya, lemahnya kemampuan beton terhadap tarik akan ditangani dengan memberikan tulangan baja atau sejenis/metal agar kemampuan kekuatan tarinya bertambah dan berperilaku sebagai material komposit. Jika tulangan baja/metal pada beton bertulang tidak dilindungi pada keadaan normal sesuai persyaratan, maka beton bertulang cenderung akan kehilangan/berkurang kekuatannya. Pada kondisi lingkungan yang ekstrim (misalnya air laut, kimia, dll), kemungkinan terjadinya korosi pada baja/metal tulangan lebih besar karena sifat air laut yang mengandung garam dan sulfat (Dicky R. Munaf, 2003).

2.2 Air

Air di alam dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti dari sungai, laut sumur artesis maupun sumur terbuka, namun tidak semua air yang ada di permukaan bumi dapat digunakan untuk pembuatan beton yang dapat menghasilkan beton yang baik.

Dalam pekerjaan beton, air mempunyai beberapa fungsi yaitu:

1. Sebagai pembersih agregat dari kotoran yang melekat.
2. Merupakan media untuk pencampur.
3. Mengecor memadatkan serta memelihara beton.

Air yang dapat digunakan untuk pembuatan beton harus air yang tidak mengandung zat yang dapat menghalangi proses pengikatan antara semen dan agregat. Kandungan zat yang dapat memberikan pengaruh yang kurang baik terhadap kualitas beton antara

lain: lempung, clay, asam, alkali, dan beberapa jenis garam yang lainnya. Serta air limbah dan zat organik.

Air sangat diperlukan pada proses pembuatan beton, karena air berfungsi untuk memicu proses kimiawi semen. Selain itu, air juga berfungsi untuk membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pengerjaan beton (*workability*). Air yang digunakan untuk campuran beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, zat organik atau bahan lainnya yang dapat menurunkan kualitas beton itu sendiri bahkan dapat merubah sifat asli beton. Salah satu indikasi jika air dapat dipakai untuk pekerjaan beton adalah dapat diminum (Istimawan Dipohusodo, 1994).

2.2.1 Unsur-Unsur Merugikan Yang Terdapat Dalam Air

1. Kandungan Benda Padat

Pada air didalamnya terdapat zat padat terlarut bila jumlahnya kurang dari 6% berat air dan pada umumnya cukup aman digunakan untuk pembuatan beton. Sedangkan pada air sumur didalamnya mengandung jumlah padatan 5%, hal ini disebabkan karena air yang berasal dari alam belum tercemar sehingga konsentrasinya lebih kecil. Untuk air laut berbeda karena pada air laut mengandung garam sehingga dapat dikatakan bahwa air yang diperoleh dari alam yang belum tercemar dapat digunakan sebagai air pencampur.

2. Ion-ion yang ditemukan

Air yang berasal dari alam didalamnya belum tercemar oleh limbah industri, awalnya mengandung ion positif(kation) dan ion negatif(anion) yang berasal dari larutan anorganik. Misalnya: golongan kation yaitu kalsium(Ca^{2+}), Magnesium(Mg^{2+}), Natrium(Na^+), dll., sedangkan golongan anion yaitu Sulfat(SO_4^-), Klorida(Cl^-), Nitrat(NO_3^-), dll.

2.2.2 Pengaruh Air Pada Kekuatan Beton

Penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa penggunaan air khususnya yang mengandung unsur klorida tinggi seperti pada air laut, jika dibandingkan dengan menggunakan air pada PDAM tidak menunjukkan adanya penurunan kuat tekan beton pada berbagai umur beton.

2.3 Air Laut

Menurut Amri, S(2005 : 47), kekuatan dan keawetan beton pada pencampuran air laut tidak berpengaruh karena pada air laut kandungan konsentrasi larutan garam 3,5%, namun menyebabkan timbulnya noda-noda pada beton, penggaramannya dan berkurangnya kekedapan terhadap air. Garam air laut mengandung 78% sodium klorida(NaCl), 15% klorida(Cl⁻) dan magnesium sulfat(MgSO₄), sedangkan kandungan karbonat cukup rendah sekitar 75 ppm, dan apabila beton digunakan sebagai beton bertulang, air laut dapat menyebabkan proses korosi pada tulangnya.

Garam yang terkandung didalam air laut dapat memberikan tiga pengaruh, yaitu:

- a. Kandungan unsur sodium klorida mempercepat waktu pengikatan dan pengerasan seperti halnya pengaruh kalsium klorida(CaCl₂) dalam kadar yang sama.
- b. Garam muncul kepermukaan beton sebagai lapisan tipis berwarna keputih-putihan ketika beton mengeras.
- c. Sodium klorida mengakibatkan korosi pada tulangan, apabila beton tidak memiliki kualitas dan selimut beton yang mencukupi, karena air laut dapat menyebabkan korosi pada tulangan.

Air laut memiliki kandungan garam yang tinggi yang dapat menggerogoti kekuatan dan keawetan beton. Hal ini disebabkan klorida(Cl⁻) yang terdapat pada air laut yang merupakan garam yang bersifat agresif terhadap bahan lain, termasuk beton. Kerusakan dapat terjadi pada beton akibat reaksi antara air laut yang agresif yang terpenetrasi kedalam beton dengan senyawa-senyawa didalam beton yang mengakibatkan beton kehilangan sebagian massa, kehilangan kekuatan dan kekakuannya serta mempercepat proses pelapukan (Mehta, 1991).

Garam-garam sodium yang terkandung dalam air laut dapat menghasilkan substansi yang bila berkombinasi dengan agregat alkali yang reaktif, sama seperti kombinasi dengan semen alkali. Oleh karena itu, air laut tidak boleh digunakan untuk mortar yang diketahui mempunyai potensi agregat alkali reaktif, bahkan bila kadar alkalinya rendah (Nugraha dalam Agung W. dan Fauzan F., 2009).

Sebagian dari garam-garam ini akan bereaksi secara kimiawi dengan semen dan mengubah atau memperlambat proses pengikatan semen, jenis-jenis lainnya dapat mengurangi kekuatan mortar. Selain reaksi kimia, kristalisasi garam dalam rongga

mortar dapat mengakibatkan kehancuran akibat tekanan kristalisasi tadi. Karena kristalisasi terjadi pada titik penguapan air, bentuk serangan terjadi di dalam mortar diatas permukaan air. Garam naik di dalam mortar dengan aksi kapiler, jadi serangan terjadi hanya jika air dapat terserap dalam mortar. Pengurangan kekuatan ini dapat dikurangi dengan mengurangi faktor air semen (Nugraha dalam Agung W. dan Fauzan F., 2009).

2.4 Semen

Semen yang biasa dipakai untuk beton adalah semen Portland(PC), berupa semen hidrolik yang berfungsi sebagai bahan perekat bahan penyusun beton. Semen Portland yang dipakai harus memenuhi syarat SII 0013-81 dan Peraturan Umum Bahan Bangunan Indonesia 1982 (Istimawan Dipohusodo, 1994).

Tipe PC menurut SNI 15-2049-2004 Semen Portland adalah sebagai berikut:

- Tipe I
Semen Portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- Tipe II
Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalori hidrasi sedang.
- Tipe III
Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- Tipe IV
Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalori hidrasi rendah
- Tipe V
Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Dalam Konstruksi, tipe semen yang sering digunakan adalah semen portland tipe I dimana dalam penggunaannya, tidak memerlukan syarat-syarat tertentu seperti ketahanan terhadap lingkungan yang bersifat asam agresif dan yang mengandung sulfat.

2.5 Agregat Halus

Agregat halus dapat berupa pasir alam sebagai desintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu (*stone crusher*). Syarat-syarat pasir yang dapat dipakai sebagai campuran beton yaitu:

1. Terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras.
2. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5%.
3. Tidak boleh mengandung bahan-bahan organis.
4. Terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya.
5. Pasir laut tidak boleh dijadikan bahan bangunan kecuali bila telah diadakan penelitian dan petunjuk dari ahli bangunan.

Secara umum harga agregat lebih murah dari semen sehingga penggunaannya selalu diusahakan dengan prosentase yang tertinggi tanpa harus mengurangi mutu beton. Penggunaan dengan prosentase tertentu tersebut tentunya tetap memperhatikan sifat dari agregat karena sifat bukan hanya mempengaruhi sifat beton akan tetapi juga daya tahan (*durability*), stabilitas volume dan juga kuat tekannya sehingga walaupun harganya murah takarannya tetap harus diperhatikan untuk mengontrol mutu beton.

Agregat alami yang digunakan untuk agregat campuran beton dapat digolongkan menjadi 3 macam yaitu:

1. Pasir galian

Pasir golongan ini diperoleh langsung dari permukaan tanah atau dengan cara menggali terlebih dahulu. Pasir ini biasanya tajam, bersudut, berpori dan bebas dari kandungan garam, tetapi biasanya harus dibersihkan dari kotoran tanah dengan cara mencucinya.

2. Pasir sungai

Pasir ini diperoleh langsung dari dasar sungai, umumnya berbutir halus, bulat-bulat akibat proses gesekan. Daya lekat antar butir – butir agak kurang karena butir yang bulat. Karena besar butir-butirnya kecil, maka baik dipakai untuk memplester tembok, juga dapat dipakai untuk keperluan yang lain.

3. Pasir laut

Pasir laut ini adalah pasir yang diambil dari pantai. Butir-butirnya halus dan bulat karena gesekan. Pasir ini merupakan pasir yang paling jelek karena banyak mengandung garam-garaman. Garam-garaman ini menyerap kandungan air dari

udara dan ini mengakibatkan pasir selalu agak basah dan juga menyebabkan pengembangan bila sudah menjadi bangunan.

2.6 Agregat Kasar

Agregat kasar beton dapat berupa kerikil hasil disintegrasi alami dari batu-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu. Pada umumnya yang dimaksud dengan agregat kasar adalah agregat dengan besar butiran 5 mm. Jenis agregat ini permukaannya kasar dan banyak memerlukan air untuk penggunaan dalam beton serta kegunaannya cukup bagus. Syarat-syarat agregat kasar antara lain:

1. Agregat kasar harus terdiri dari butir yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang tidak mengandung butir-butir pipih hanya dapat digunakan bila jumlah butir pipih tersebut tidak lebih dari 20% dari jumlah keseluruhan agregat. Butir-butir agregat harus tahan terhadap cuaca.
2. Agregat kasar tidak mengandung lumpur lebih dari 1% ditentukan terhadap berat kering. Yang diartikan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui saringan no. 200(saringan ASTM) atau saringan 0,063 mm. Bila kadar lumpur melebihi 1% maka agregat kasar harus dicuci dulu sebelum digunakan.
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat reaktif alkali yang dapat memecahkan beton jika zat tersebut bereaksi dengan alkali Na_2O dan K_2O dalam semen portland
4. Kekerasan butiran agregat kasar dapat diperiksa dengan menggunakan mesin Los Angeles dimana tidak lolos 50% saringan no. 12(ASTM).
5. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan harus bergradasi baik.

Butiran-butiran agregat runcing dan sangat kasar. Butiran yang pipih dan memanjang membutuhkan lebih banyak semen untuk menghasilkan beton yang mudah dikerjakan. Hal-hal tersebut diatas penting, bukan saja untuk agregat kasar tetapi juga untuk agregat halus. Biasanya agregat alam bentuknya bundar akan tetapi agregat yang diperoleh dari pemecahan batu yang sangat bersudut, pipih, sangat tipis dan sangat panjang sebaiknya tidak perlu digunakan.

2.7 Bottom Ash

Bottom Ash adalah bahan buangan dari proses pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga listrik yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari pada *Fly Ash*, sehingga *Bottom Ash* akan jatuh pada dasar tungku pembakaran(*boiler*) dan terkumpul pada penampung debu(*ash hopper*) lalu dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprot dengan air untuk kemudian dibuang atau dipakai sebagai bahan tambahan pada perkerasan jalan.

Bottom Ash dikategorikan menjadi *Dry Bottom Ash* dan *Wet Bottom Ash/Boiler Slag* berdasarkan jenis tungkunya yaitu *Dry Bottom Boiler* yang menghasilkan *Dry Bottom Ash* dan *Slap-Tag Boiler* serta *Cyclone Boiler* yang menghasilkan *Wet Bottom Ash(Boiler Slag)*. Sifat dari *Bottom Ash* sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh jenis batu bara dan sistem pembakarannya. Beberapa sifat fisis, kimia, dan mekanis yang penting dari *Bottom Ash* adalah sebagai berikut:

2.7.1 Sifat Fisik

Sifat fisik *Bottom Ash* berdasarkan bentuk, warna, tampilan, ukuran, *specific gravity*, *dry unit weight* dan penyerapan dari wet dan dry *Bottom Ash* dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Sifat Fisik *Bottom Ash*

Sifat Fisik <i>Bottom Ash</i>	Wet	Dry
Bentuk	Angular / bersiku	Berbutir kecil / granular
Warna	Hitam	Abu-abu gelap
Tampilan	Keras, mengkilap	Seperti pasir halus, sangat berpori
Ukuran (% lolos ayakan)	No.4 (90-100%)	1.5 s/d 3/4 in (100%)
	No.10 (40-60%)	No.4 (50-90%)
	No.40 (10%)	No.10 (10-60%)
	No.200 (5%)	No.40 (0-10%)
Specific gravity	2,3 – 2,9	2,1 – 2,7
Dry Unit Weight	960 – 1440 kg/m ³	720 – 1600 kg/m ³
Penyerapan	0,3 – 1,1%	0,8 – 2,0%

Sumber: Coal Bottom Ash/Boiler Slag-Material Description, 2000 [1]

2.7.2 Sifat Kimia

Komposisi kimia dari *Bottom Ash* sebagian besar tersusun dari unsur-unsur Si, Al, Fe, Ca, serta Mg, S, Na dan unsur kimia yang lain.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Moulton, didapat bahwa kandungan garam dan pH yang rendah dari *Bottom Ash* dapat menimbulkan sifat korosi pada struktur baja yang bersentuhan dengan campuran yang mengandung *Bottom Ash*.

Selain itu rendahnya nilai pH yang ditunjukkan oleh tingginya kandungan sulfat yang terlarut menunjukkan adanya kandungan pyrite(*iron sulfide*) yang besar.

2.8 Ion Klorida

Ion klorida yang berada dalam beton, dapat berasal dari bahan-bahan pembentuk beton ketika proses pembuatannya(misal dari agregat, air yang dipakai mencampur, atau zat additive) atau dari lingkungan luar beton, seperti air laut, Mekanisme masuknya ion klorida kedalam beton dapat berlangsung dengan berbagai cara seperti difusi, penghisapan kapiler, permeasi dan kondensasi/evaporasi/kristalisasi. Selain itu, yang dapat mendominasi masuknya ion klorida kedalam beton tergantung dari lingkungan beton berada. Misalnya pada lingkungan laut, beton dapat berda didaerah terendam, pasang surut, daerah pecahnya gelombang atau di udara terbuka.

Mekanisme masuknya ion klorida kedalam beton dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Permeasi

Didefinisikan sebagai proses mengalirnya aliran tiap unit volume per unit luas permukaan tiap satuan waktu pada temperatur yang tetap. Permeasi terjadi akibat tekanan hidrolik dan menyebabkan ion klorida yang terlarut pada air laut akan ikut ke dalam beton. Dalam kaitannya dengan permeasi, koefisien permeabilitas beton menjadi karakteristik penting, karena menunjukkan tingkat kenudahan suatu cairan dapat merembes melalui material tersebut (Wayan Armaja, 2001).

2. Penghisapan Kapiler

Didefinisikan sebagai mekanisme masuknya suatu cairan ke dalam material berpori akibat tegangan permukaan yang terjadi didalam lubang-lubang kapiler. Proses masuknya cairan dalam mekanisme ini dipengaruhi oleh karakteristik cairan seperti viskositas, densitas dan tegangan permukaan (Wayan Armaja, 2001).

3. Difusi

Didefinisikan sebagai perpindahan massa dengan gerakan acak dari molekul atau ion kedalam pori-pori larutan yang menghasilkan jaringan aliran dari daerah konsentrasi tinggi ke konsenentrasi rendah (Wayan Armaja, 2001).

Dari ketiga jenis mekanisme tersebut penetrasi tersebut, difusi meruapakan mekanisme paling dominan dalam penetrasi klorida kedalam beton, terutama pada

daerah *submerged*(terendam air). Dimana pada daerah tersebut, pori-pori pada beton terisi penuh oleh air.

2.8.1 Pengaruh Ion Klorida Pada Beton

Tidak ada ketentuan syarat air dari ASTM, namun pada BS 3148, ada dua metode untuk menilai kelayakan air untuk beton. Metode tersebut akan membandingkan waktu pengikatan dan kuat tekan dari benda uji yang dibuat dengan semen dan air yang dipertanyakan dengan air suling. Air dianggap memenuhi syarat jika waktu pengikatannya tidak lebih dari 30 menit atau kekuatannya tidak berkurang dari 20 % dibandingkan air suling (Nugraha, 2007 : 63)

Penggunaan air didaerah pantai untuk campuran beton akan memberikan beberapa pengaruh pada beton seperti *setting time* dan kuat tekan beton dalam jangka waktu tertentu. Senyawa klorida merupakan salah satu senyawa yang memiliki konsentrasi besar yang biasanya terkandung dalam air di daerah pantai (Neville, 1981 : 349).

Air laut mengandung sekitar 3,5% garam yang terdiri dari 78% Sodium Chlorida(NaCl) dan 15% lainnya terdiri dari Magnesium Chlorida ($MgCl_2$) dan Magnesium sulfat($MgSO_4$) Sn menghasilkan kekuatan awal yang tinggi tapi dalam jangka panjang, kekuatan akhirnya menurun (Neville, 1981 : 349).

Menurut Amri, S(2005 : 47), Secara umum garam yang terkandung di dalam air laut dapat memberikan tiga pengaruh, yaitu:

1. Kandungan unsur sodium klorida mempercepat waktu pengikatan dan pengerasan seperti halnya pengaruh kalsium klorida dalam kadar yang sama.
2. Garam muncul ke permukaan beton sebagai lapisan tipis berwarna keputih-putihan ketika beton mengeras.
3. Sodium klorida mengakibatkan korosi pada tulangan, apabila beton tidak mempunyai kualitas dan selimut beton yang mencukupi, karena air laut dapat memberikan pengaruh korosi pada tulangan.

Garam-garam sodium yang terkandung dalam air laut dapat menghasilkan substansi yang bila berkombinasi dengan agregat alkali reaktif, sama seperti dengan kombinasi dengan semen alkali. Karena air laut tidak boleh dipakai untuk beton yang diketahui mempunyai potensi agregat alkali reaktif, bahkan bila kadar

alkalinya rendah (Nugraha, 2007:65). Sebagian dari garam-garam ini akan bereaksi secara kimiawi dengan semen dan mengubah atau memperlambat proses pengikatan semen, dan jenis-jenis lainnya dapat mengurangi kekuatan beton. Selain reaksi kimia, kristalisasi garam dalam rongga beton dapat mengakibatkan kehancuran akibat tekanan kristalisasi tadi. Karena kristalisasi terjadi pada titik penguapan air, bentuk serangan terjadi di dalam beton di atas permukaan air. Garam naik didalam beton dengan aksi kapiler, jadi serangan terjadi hanya jika air dapat terserap dalam beton.

Karena itu walaupun kekuatan awalnya lebih tinggi dari beton biasa. Setelah 28 hari kuat tekannya akan lebih rendah. Pengurangan kekuatan ini dapat dikurangi dengan mengurangi faktor air semen.

2.8.2 Penetrasi Air Laut pada Beton

Larutan yang mengandung klorida dapat masuk ke dalam beton dipengaruhi oleh banyak faktor. Klorida bisa berada pada beton segar. Jika material beton terkontaminasi oleh klorida. Klorida juga terkandung dalam air laut dengan variasi sesuai dengan kelakuan lingkungan yang membuat proses penetrasi dan mempunyai mekanisme transport yang bervariasi pula. Perbedaan mekanisme ini dapat dilihat dari tempat beton itu berada. Beton yang berada pada tempat yang berhubungan dengan air laut akan berbeda dengan beton yang terendam atau beton pada daerah pasang surut. Selain itu daerah pantai dipertimbangkan mempunyai konsentrasi klorida di atmosfer yang nantinya akan dicurahkan oleh hujan sehingga mengenai permukaan beton (Singih Hariyanto, 2004).

2.9 Perawatan Beton(*Curing*)

Reaksi kimia antara semen dan air membutuhkan waktu. Fungsi semen sebagai perekat mulai berkembang pada saat umur beton masih muda, karena itu untuk ekerjaan beton baik konvensional maupun precast perlu dilakukan perawatan beton (Sasono, 2008).

Tujuan perawatan beton yaitu:

1. Mencegah kehilangan *moisture* pada beton.
2. Mempertahankan suhu yang baik selama durasi tertentu (diatas suhu beku dan di bawah 50 derajat celcius).

Jenis-jenis perawatan beton antara lain:

1. *Steam Curing*

Menguntungkan bila menginginkan kekuatan awal. Panas tambahan dibutuhkan untuk menyelesaikan hidrasi.

2. Penyemprotan/*Fogging*

Metode yang baik untuk kondisi dengan suhu di atas suhu beku dan humiditas rendah. Kekurangannya yaitu biaya dan dapat menyebabkan erosi pada permukaan beton yang baru mengeras.

3. Penggenangan/Perendaman

Ideal untuk mencegah hilangnya *moisture*. Mempertahankan suhu yang seragam. Kekurangannya yaitu membutuhkan tenaga kerja yang banyak, perlu pengawasan, dan tidak praktis untuk proyek yang besar.

4. Lembaran Plastik(sesuai ASTM C171)

Lapisan *polythylene* dengan ketebalan 4 ml.kelebihannya yaitu ringan, efektif sebagai penghalang hilangnya *moisture*, dan mudah diterapkan. Kekurangannya yaitu dapat menyebabkan *discoloration* permukaan, lebih terlihat bila lapisan plastik bergelombang dan diperlukan penambahan air secara periodik.

5. Penutup Basah(sesuai ASTM C171)

Menggunakan bahan yang dapat mempertahankan *moisture* seperti burlap(karung goni) yang dibasahi. Kelebihannya yaitu tidak terjadi *discoloration* dan tahan terhadap api. Kekurangannya yaitu memerlukan penambahan air secara periodik dan diperlukan lapisan plastik penutup burlap untuk mengurangi kebutuhan penambahan air.

6. *Curing Compound*(sesuai ASTM C171)

Membentuk lapisan tipis pada permukaan untuk menghalangi penguapan. Efisiensinya dites dengan ASTM C156.

2.10 Pola dan Lebar Retak

2.10.1 Retak pada Beton

Bila beton baru mengering dengan cepat maka permukaannya akan mengalami tegangan tarik yang lebih besar dari kekuatan tariknya. Hal ini akan menyebabkan retak. Beton bertulang sebenarnya adalah sebuah struktur yang tidak bisa menghindari retak, karena beton mempunyai kekuatan tarik yang kecil. Mengingat bahwa regangan tarik selalu terjadi pada waktu menerima beban maka tegangan tersebut diteruskan pada penulangan.

Berikutnya akan disebutkan berbagai keretakan beton secara umum beserta pencegahannya.

Tabel 2.2 Jenis Retak beserta Penyebab dan Pencegahannya

Jenis retak	Waktu terjadi	Penyebab Utama	Pencegahan
Penurunan plastis	Beberapa jam pertama setelah set pertama	Gerakan vertical, <i>bleeding</i> , kehilangan kelembaban	Perbaiki mix design, kurangi retardation, perbaiki <i>curing</i>
Retak susut plastis	Beberapa jam pertama	Gerakan plastis, kehilangan kelembaban	Perbaiki <i>curing</i> , terutama menggunakan <i>wind breaker</i>
Retak susut pengeringan	Beberapa hari-bulan	Kehilangan kelembaban	Perbaiki <i>curing</i> , <i>mix design</i> , FAS yang rendah, <i>inducer</i> retak
Retak rambut halus (<i>crzing</i>)	Beberapa hari-bulan	Susut permukaan minor dari <i>laitance</i>	Perbaiki <i>curing</i> dan jaringan <i>overwork</i>
Retak termal	Hari-bulan untuk gerakan awal, bulan-tahun untuk gerakan musiman	Muai jangka panjang dan kontraksi panas hidrasi	Kurangi temperature puncak, tambahkan gerakan jangka panjang dalam desain
Retak tarik, susut karbonasi	Bulan-tahun	CO ² dari udara	Pemadatan beton
Retak korosi tulangan	Bulan-tahun	Karat pada tulangan, khususnya pada beton porous dan lingkungan maritim	Penutup beton yang cukup, selimut beton, pemadatan beton

Tabel 2.2 Lanjutan

Jenis retak	Waktu terjadi	Penyebab Utama	Pencegahan
Korosi tulangan karena kadar ion klorida	Bulan-tahun	Karat pada tulangan, khususnya pada beton porous dan lingkungan maritim	Penutup beton yang cukup, selimut beton, pemadatan beton, penambahan agregat secara kimiawi
Pop out dan retak mapping	Bulan-tahun	Pengembangan agregat karena kelembaban, reaksi alkali agregat	Menggunakan agregat non ekspansif

(Sumber: Istimawan Dipohusodo, 1994)

2.10.2 Lentur pada Balok Beton

Lentur pada balok beton timbul karena adanya regangan yang disebabkan oleh beban luar. Jika beban yang bekerja pada balok semakin meningkat maka tegangan dan regangan akan bertambah sebanding dengan kemampuan bahan berubah bentuk dan modulus elastisitas bahan sehingga melampaui kapasitasnya yang mengakibatkan timbulnya atau bertambahnya retak lentur pada balok. Bila beban semakin terus meningkat, akan terjadi keruntuhan balok beton (Nawy, E.G 1998).

Dengan menggunakan prinsip kesetimbangan statika dapat ditentukan besar momen dan geser yang terjadi pada setiap penampang balok yang bekerja menahan beban. Perhatian lebih lanjut tentunya menentukan kemampuan balok tersebut untuk menahan beban dengan cara memperhitungkan tegangan-tegangan yang timbul di dalamnya (Istimawan Dipohusodo, 1994). Keruntuhan lentur sendiri dapat terjadi dalam tiga cara yang berbeda, yaitu:

1. Keruntuhan Tarik

Terjadi bila jumlah tulangan baja relatif lebih sedikit sehingga tulangan tersebut akan leleh terlebih dahulu sebelum betonnya pecah, yaitu apabila regangan baja lebih besar dari regangan beton. Semua balok yang direncanakan sesuai peraturan diharapkan berperilaku seperti itu.

2. Keruntuhan Tekan

Karena jumlah tulangan baja relatif banyak, maka keruntuhan dimulai dari beton. Sedangkan tulangan bajanya masih elastis, yaitu apabila regangan baja

lebih kecil dari regangan beton. Kondisi ini merupakan suatu kondisi yang berbahaya karena penggunaan bangunan tidak melihat adanya deformasi yang besar yang dapat dijadikan pertanda bilamana struktur tersebut mau runtuh sehingga tidak ada kesempatan untuk menghindarinya terlebih dahulu.

3. Keruntuhan balance

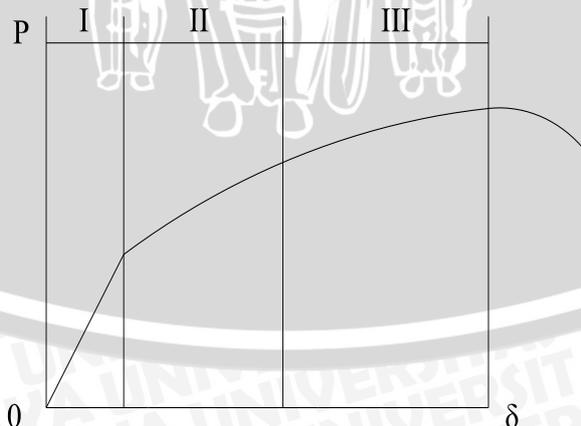
Jika baja dan beton tepat mencapai kuat betasnya, yaitu apabila regangan baja sama besar dengan regangan beton. Jumlah penulangan yang menyebabkan keruntuhan balance dapat dijadikan acuan untuk menentukan apakah tulangan relatif sedikit atau tidak, sehingga sifat keruntuhan daktail atau sebaliknya.

2.10.3 Keruntuhan Akibat Geser

Pada pembebanan balok diketahui bahwa transfer beban ke tumpuan melampaui mekanisme momen lentur dan gaya geser yang terjadi secara bersamaan. Keruntuhan ini (akibat tegangan biaksial) bersifat getas dan terjadi tiba-tiba. Berbeda dengan keruntuhan lentur yang bersifat daktail, didahului dengan timbulnya lendutan besar yang dapat digunakan sebagai “pertanda”. Oleh karena itu, dalam perencanaan struktur, semua elemen harus didesain sedemikian agar kekuatan gesernya lebih besar dari yang diperlukan sehingga dapat dijamin bahwa keruntuhan lentur akan terjadi lebih dulu.

2.10.4 Perilaku Keruntuhan Balok

Perilaku balok yang dibebani hingga runtuh dinyatakan dengan kurva hubungan antara beban dengan lendutan.



Gambar 2.1 Grafik hubungan beban (p) dengan lendutan (δ) balok beton bertulang (Nawy, E.G 1998).

Berikutnya akan dijelaskan taraf retak tiap daerahnya. Penjelasannya adalah sebagai berikut:

- Taraf Prareta(Daerah I)

Segmen prareta dari kurva beban-lendutan pada dasarnya berupa garis lurus yang memperlihatkan perilaku elastis penuh. Tegangan tarik maksimum pada balok dalam daerah ini lebih kecil daripada kekuatan tariknya akibat lentur, atau sebut saja lebih kecil dari modulus rupture f_r beton. Kekakuan lentur EI balok dapat diestimasi dengan menggunakan modulus Young E_c dari beton, dan momen inersia penampang beton bertulang tak retak. Perilaku beban-lendutan sangat bergantung pada hubungan tegangan- regangan beton. (Nawy, E.G 1998)

- Taraf Beban Pascareta(Daerah II)

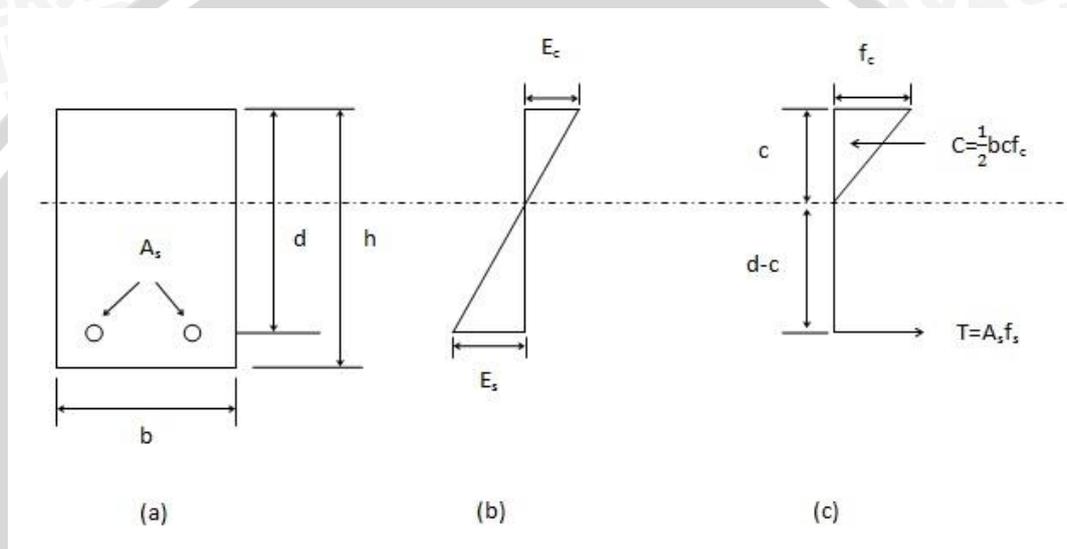
Daerah prareta diakhiri dengan mulainya retak pertama dan mulai bergerak menuju daerah II pada diagram beban-lendutan seperti pada **Gambar 2.1**. Hampir semua balok terletak pada daerah ini pada saat beban kerja. Suatu balok dapat mengalami berbagai taraf keretakan di sepanjang bentangnya sesuai dengan taraf tegangan dan defleksi pada masing-masing bagiannya. Dengan demikian untuk suatu balok diatas tumpuan sederhana, retak akan semakin lebar dan semakin dalam pada lapangan, sedangkan pada bagian tumpuan hanya terjadi retak minor yang tidak terlalu lebar.

Apabila sudah terjadi retak lentur, kontribusi kekuatan tarik beton sudah dapat dikatakan tidak ada lagi. Ini berarti pula kekuatan lentur penampangnya telah berkurang sehingga kura beban-lendutan di daerah ini akan semakin landai dibandingkan dengan taraf prareta. Semakin besar retaknya makan akan semakin berkurang kekakuannya sehingga akan mencapai suatu harga yang berupa batas bawah sehubungan dengan momen inersia penampang retak. Pada saat mencapai keadaan limit beban retak kerja, kontribusi beton tarik terhadap kekauan dapat diabaikan. Momen inersia penampang retak I_{cr} dapat dihitung dari prinsip-prinsip dasar mekanika.

- Taraf Retak Pasca-Serviceability dan Keadaan Limit(Daerah III)

Diagram beban-lendutan pada **Gambar 2.1** pada daerah III jauh lebih datar dibandingkan daerah sebelumnya. Ini diakibatkan oleh hilangnya kekakuan penampang karena retak yang cukup banyak dan lebar di sepanjang bentang.

Jika bebannya terus-menerus bertambah, maka regangan ϵ_s pada tulangan pada sisi yang tertarik akan terus bertambah melebihi regangan lelehnya ϵ_y , tanpa adanya regangan tambahan. Balok yang tulangan tariknya telah leleh dikatakan telah runtuh secara struktural. balok ini terus-menerus mengalami defleksi tanpa adanya tambahan beban, dan retaknya semakin terbuka sehingga garis netralnya terus mendekati serat tepi yang tertekan. Pada akhirnya terjadi keruntuhan tekan sekunder yang dapat mengakibatkan kehancuran total pada beton daerah maksimm dan segera diikuti dengan terjadinya *rupture* (Nawy, E.G 1998).



Gambar 2.2 Distribusi tegangan dan regangan pada penampang beton bertulang yang retak dan transformasinya: (a) penampang melintang; (b) regangan; (c) tegangan elastis dan gaya (Nawy, E.G 1998).

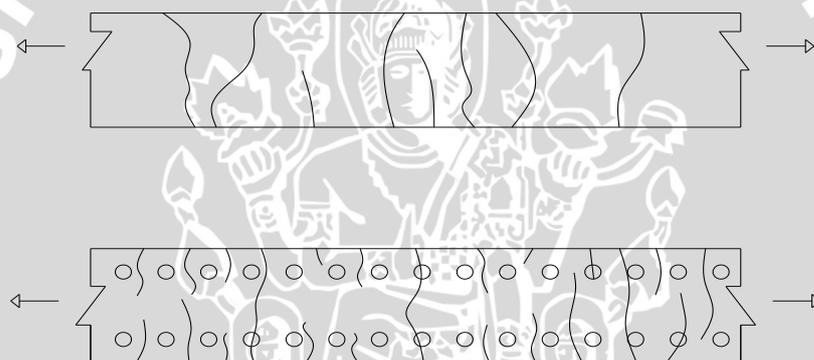
2.10.5 Perilaku Retak Beton

Pada struktur bangunan, dewasa ini banyak digunakan bahan-bahan kuat tinggi, termasuk penggunaan bahan beton dan baja tulangan. Apabila komponen struktur terlentur penulangannya menggunakan baja kuat tinggi, agar mencapai tegangan tinggi diperlukan kemampuan regangan yang lebih besar pula baik bagi baja maupun beton. Bagian struktur beton pada daerah yang mengalami tarik umumnya memperlihatkan suatu fenomena retak pada permukaannya. Retak-retak ini tidak merugikan kecuali bila lebar retaknya menjadi melebihi batas, dalam hal ini keawetan beton terganggu karena kondisi tulangnya menjadi terbuka terhadap korosi.

Retak pada beton merupakan kontribusi dan awal dari kesan yang lebih parah lagi yaitu berlangsungnya proses korosi tulangan baja, rusaknya permukaan beton dan dampak kerusakan jangka panjang lainnya. Oleh karena itu pengetahuan perilaku retak dan pengendalian lebar retak merupakan hal penting dalam memperhitungkan kemampuan layan komponen struktur pembebanan jangka panjang (Nawy, E.G 1998).

2.10.6 Pola Retak

Tegangan yang disebabkan oleh beban, momen dan geser menyebabkan bermacam model kenampakan pola retak pada beton. Beton yang mengalami gaya tarik akan mengalami retak sepanjang penampang melintang dengan jarak retak bervariasi antara 0,75 sampai 2 kali ketebalan beton (J.K. Width and J.G. MacGregor, 2012).



Gambar 2.3 Retak beton akibat gaya tarik

(Sumber: J.K. Width and J.G. MacGregor, 2012)

Suatu beton yang mempunyai ketebalan yang besar dengan perkuatan tulangan di setiap permukaannya akan mempunyai lebar retak permukaan yang kecil pada lapisan yang terdapat perkuatan. Pertemuan retak masing-masing sisi terjadi ditengah-tengah. Retak ini dapat disebut juga sebagai retak lentur. Diawali dengan retak rambut, retak lentur merupakan retak yang tegak lurus dengan tulangan.

Dapat kita lihat pada kedua gambar diatas, retak maksimum yang terjadi adalah pada bentang tengah balok. Retakan pada daerah tersebut selain menyambung juga merupakan retak dengan celah yang terbesar.

Beton bertulang yang mengalami momen akan mengalami retak seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.4 Retak beton akibat momen

(Sumber: J.K. Width and J.G. MacGregor, 2012)

Dalam hal ini terjadi retak vertikal yang arahnya menuju pada titik beban. Pada balok yang tinggi (3-4 ft) jarak retak relatif lebih dekat dengan sebagian retak akan bergabung. Lebar retak di bagian tengah lebih besar daripada yang terjadi pada bagian lainnya. Retak-retak yang terjadi pada $\frac{1}{3}$ tinggi balok adalah retak lentur.

Retak yang disebabkan oleh geser mempunyai karakteristik kenampakan yang miring.



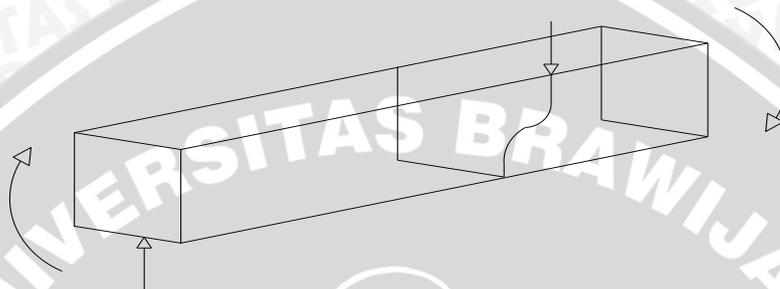
Gambar 2.5 Retak beton akibat geser

(Sumber: J.K. Width and J.G. MacGregor, 2012)

Retak-retak ini setinggi garis netral beton dan kadang-kadang juga sampai pada daerah tekan. Seharusnya retak geser merupakan retak horizontal yang terjadi pada balok. Berada di daerah tumpuan retak ini juga merupakan retak yang tegak lurus dengan sengkang.

Sedangkan yang ditunjukkan oleh gambar merupakan retak lentur-geser. Bermula dari serat tarik balok, retak ini diawali dengan retak lentur yang dilanjutkan oleh retak diagonal menuju ke titik pembebanan.

Retak akibat torsi murni akan mengelilingi beton. Pada beton normal yang juga mengalami momen dan geser keretakan cenderung kelihatan pada permukaan dimana terjadi tegangan geser yang menyebabkan penambahan torsi.



Gambar 2.6 Retak beton akibat torsi

(Sumber: J.K. Width and J.G. MacGregor, 2012)

2.10.7 Lebar Retak

Karena beban terus ditingkatkan melampaui modulus keruntuhan balok, retak mulai terjadi di bagian bawah balok. Momen pada saat retak ini mulai terbentuk yaitu ketika tegangan tarik dibagian bawah balok sama dengan modulus keruntuhan disebut momen retak (M_{cr}). Jika beban terus ditingkatkan, retak ini mulai menyebar mendekati sumbu netral. Retak terjadi pada tempat-tempat di sepanjang balok dimana momen aktualnya lebih besar daripada momen retak. Karena beton pada daerah yang mengalami retak tersebut jelas tidak dapat menahan tegangan tarik, maka bajalah yang harus melakukannya. Tahap ini akan terus berlanjut selama tegangan tekan pada serat bagian atas lebih kecil daripada setengah dari kuat tekan beton f'_c dan selama tegangan baja lebih kecil daripada titik lelehnya. Lebar retak merupakan salah satu faktor yang menyebabkan peningkatan laju korosi. Semakin banyak retak yang terjadi akibat pembebanan, semakin mudah air laut masuk ke dalam konstruksi beton. Apabila intrusi yang terjadi telah sampai ke tulangan, akan terjadi reaksi kimia antara air laut dengan baja tulangan yang menyebabkan korosi (Nawy, E.G 1998).

Tabel 2.3 Lebar Retak Maksimum Menurut Kondisi Lingkungan

No.	Kondisi lingkungan	Lebar retak	
		Inch	mm
1.	Udara kering/membran terlindung	0.016	0.41
2.	Udara lembab tanah	0.012	0.3
3.	Senyawa kimia	0.007	0.18
4.	Air laut basah/kering	0.006	0.15
5.	Struktur penahan air (tidak termasuk pipa tak bertekanan)	0.004	0.10

(Sumber: Beton Prategang: Suatu Pendekatan Mendasar. Edward G. Nawy, 2001)

2.10.8 Evaluasi Lebar Retak

Lebar retak yang terjadi pada suatu struktur beton bertulang akan bervariasi dan tidak dapat diperkirakan secara tepat. Sehingga syarat pembatasan yang harus dipenuhi adalah lebar retak yang terjadi tidak boleh melebihi lebar retak maksimum. Harga maksimum lebar retak itu sendiri tergantung pada kondisi lingkungan sekitar beton. Untuk menghitung lebar retak maksimum dan retak yang terjadi pada permukaan tarik suatu gelagar dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$W = 11 \times 10^{-6} \beta \cdot f_s (d_c \cdot A)^{1/3}$$

(SNI 03-284-2002 pasal 12.6 ayat 4)

Dimana:

W = Lebar retak maksimum (inch atau mm)

f_s = Tegangan maksimum pada tulangan untuk taraf beban kerja yang apabila tidak dihitung dapat digunakan 0.6 f_y

β = Perbandingan jarak dan permukaan tarik dari pusat tulangan terhadap sumbu netral

$$\beta = \frac{h-c}{d-c} (h-c) \text{ dengan } \beta = 1,2$$

d_c = Tebal selimut beton sampai pusat tulangan

A = Luas penampang beton yang mengelilingi suatu tulangan

Apabila kuat luluh rencana baja f_y lebih dari 300 Mpa, harus diperhatikan dan dilakukan pemeriksaan secara khusus dalam rangka menjamin bahwa letak atau susunan batang tulangan di daerah tarik telah tersebar secara merata. Untuk balok

maupun plat dengan penulangan satu arah, pemeriksaan penyebaran letak batang tulangan baja dilakukan dengan menghitung bilangan z , sebagai berikut:

$$Z = f_s (d_c \cdot A)^{1/3}$$

SK SNI 03-284-2002 pasal 10.6 ayat 4

Dimana:

Z = Bilangan batas penyebaran penulangan lentur dengan batas maksimum 30 MN/m bagi struktur terlindung dan 25 MN/m untuk struktur terbuka.

2.11 Kedalaman Retak

2.11.1 Gelombang Ultrasonik

Gelombang ultrasonik adalah gelombang bunyi longitudinal dengan frekuensi lebih dari 20 KHz. Gelombang ini tidak dapat didengar oleh manusia karena gelombang tersebut memiliki frekuensi melebihi batas frekuensi tertinggi yang dimiliki manusia. Frekuensi sendiri adalah banyaknya getaran tiap detik.

Ada beberapa hewan yang dapat mendengar gelombang ultrasonik seperti kelelawar. Kelelawar dapat memancarkan gelombang ultrasonik serta mendeteksi pantulannya, hal ini dimanfaatkan kelelawar untuk mendeteksi lokasi mangsa (Tipler, 1991 : 534).

Penggunaan gelombang bunyi khususnya pada gelombang ultrasonik sudah banyak dimanfaatkan untuk kepentingan manusia. Kapal laut biasanya menggunakan gelombang ultrasonik untuk mendeteksi kapal selam dan benda-benda lain dibawah laut. Pada bidang kedokteran, gelombang ultrasonik dapat digunakan dalam pemeriksaan tubuh dan pengobatan manusia. Gelombang ultrasonik dapat digunakan untuk memeriksa janin dan ketidaknormalan pada wanita hamil (Tipler, 1991 : 534).

Semakin berkembangnya teknologi dan penelitian tentang gelombang ultrasonik maka pemanfaatannya juga semakin luas. Penggunaan gelombang ultrasonik dalam bidang teknik sipil saat ini sudah dimanfaatkan dalam pemeriksaan bangunan sebagai metode *Non Destructive Test*. Dengan metode ini pemeriksaan bangunan dapat dilakukan tanpa harus merusak bangunan tersebut.

2.11.2 *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)*

Penelitian tentang gelombang telah diteliti sejak puluhan tahun yang lalu di beberapa Negara. Hasil dari penelitian gelombang ultrasonik sudah banyak dimanfaatkan pada berbagai macam keperluan. Pada tahun 1960an penggunaan gelombang ultrasonik sudah mulai diaplikasikan pada pemeriksaan bangunan sebagai *Non Destructive Test*. Penggunaan gelombang ultrasonik sebagai *Non Destructive Test* dapat memberikan banyak manfaat untuk melakukan pemeriksaan pada beton.

Ultrasonic Pulse Velocity(UPV) merupakan salah satu metode *Non Destructive Test* dengan menggunakan gelombang ultrasonik yang didasari pengukuran waktu tempuh gelombang. Waktu tempuh gelombang dibaca oleh pengukur waktu pada UPV dan ditampilkan dalam bentuk kecepatan gelombang.

Alat uji UPV sangat mudah untuk dioperasikan dan praktis karena mudah untuk dibawa. Alat uji UPV ini memiliki banyak manfaat dalam pengujian beton dan bangunan.



Gambar 2.7 *Ultrasonic Pulse Velocity*(UPV)

(Sumber : www.proceq.com)

2.11.3 *Cara Kerja UPV*

Cara kerja UPV pada dasarnya mengirim getaran gelombang pada beton dan menerima getaran untuk selanjutnya dihitung lama waktu tempuh perambatan getaran gelombang tersebut (V.M Malhotra & N.J Carino, 2004).

Kecepatan gelombang akan ditampilkan oleh alat uji UPV berdasarkan waktu tempuh yang telah dihitung. Secara umum, hubungan kecepatan, waktu dan jarak tempuh adalah sebagai berikut:

$$v = \frac{l}{t}$$

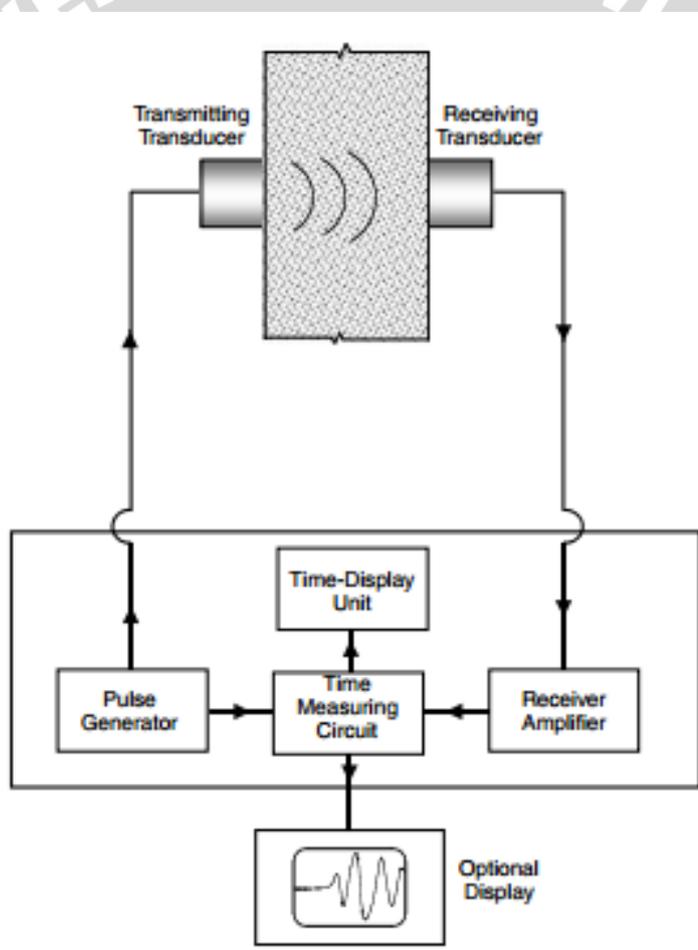
Dengan:

v = kecepatan (m/s)

l = jarak tempuh (m)

t = waktu tempuh (s)

Waktu tempuh gelombang diketahui berdasarkan jarak tempuh antar *transducer* sehingga dapat diketahui kecepatannya. UPV menggunakan *transducer* untuk mengirim gelombang dan menerimanya kembali, Ada dua jenis *transducer* yang digunakan pada UPV yaitu *transmitter* dan *receiver*. Pada gambar berikut dijelaskan proses kerja UPV:



Gambar 2.8 Diagram alir uji UPV

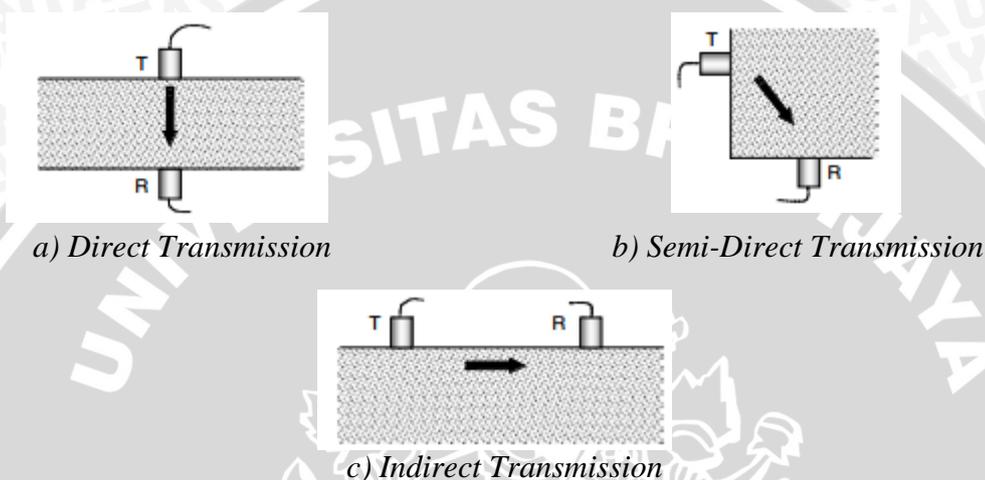
(Sumber : V.M Malhotra dan N.J Carino, 2004)

Menurut V.M Malhotra dan N.J Carino, cara kerja UPV diawali paa rambatan gelombang ultrasonik yang dikirim dan melewati suatu medium. Getaran-getaran gelombang ultrasonik dikirim melalui *transmitter* dan merambat ke dalam beton

untuk selanjutnya diterima oleh *receiver*. *Receiver* menerima gelombang dan waktu tempuh gelombang dihitung sehingga kecepatannya dapat diketahui.

2.11.4 Metode Pengujian UPV

Untuk melakukan pengujian UPV, ada tiga metode yang dapat digunakan. Perbedaan ketiga metode tersebut adalah pada pemasangan *transmitter* dan *receiver* pada permukaan beton. Metode-metode tersebut dapat dilihat pada gambar:



Gambar 2.9 Metode pengujian UPV

(Sumber : V.M Malhotra dan N.J Carino, 2004)

Pada gambar diatas ada berbagai metode penempatan pemasangan *transmitter* dan *receiver* pada permukaan beton. Ketiga metode ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Direct Transmission* adalah metode pengukuran dengan cara *transmitter* dan *receiver* diletakkan secara berhadapan.
- Semi Indirect Transmission* adalah metode pengukuran dengan cara *transmitter* dan *receiver* diletakkan masing-masing pada bidang permukaan yang berbeda, satu pada bidang datar dan yang lain pada bidang tegak lurus.
- Indirect Transmission* adalah metode pengukuran dengan cara *transmitter* dan *receiver* diletakkan pada satu bidang permukaan.

2.11.5 Kegunaan UPV

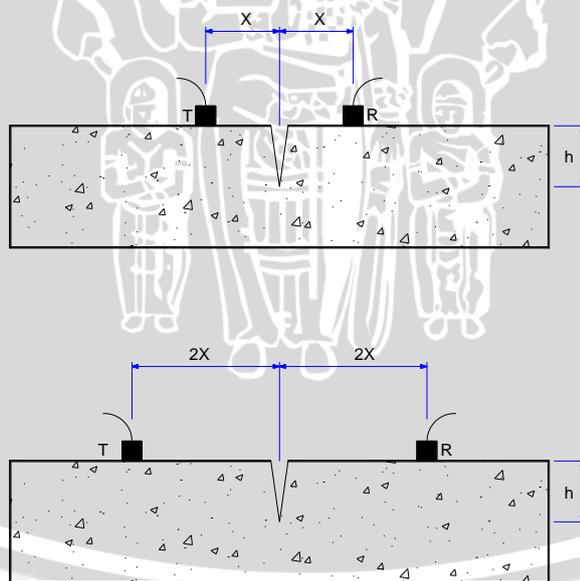
UPV memiliki banyak manfaat untuk menguji kualitas beton tanpa harus merusaknya. Secara umum, kegunaan UPV adalah (V. M Malhotra & N. J Carino, 2004):

1. Mengestimasi kuat tekan beton.
2. Menganalisa *homogeneity* pada beton.
3. Mengukur kedalaman retak.
4. Menganalisa sifat *durability* beton.
5. Mengetahui modulus elastisitas beton.

2.11.6 Mengukur Kedalaman Retak dengan UPV

Pengujian UPV memiliki banyak manfaat untuk melakukan pemeriksaan pada beton. Salah satu pengujian UPV pada beton adalah mengukur kedalaman retak. Pengukuran kedalaman retak menggunakan UPV dilakukan dengan metode *indirect transmission*. Pengukuran keretakan dilakukan dengan cara mengukur waktu tempuh pada permukaan beton yang mengalami keretakan. Dengan mengetahui waktu tempuh gelombang ultrasonik maka dalam retak dapat diketahui.

Pada dasarnya, pengukuran keretakan dapat didekati dengan cara mengetahui waktu dan jarak tempuh gelombang. *Transmitter* dan *receiver* diletakkan secara berseberangan pada permukaan beton dengan jarak tertentu. Pengukuran dilakukan pada bagian beton yang retak. Jarak antara *transmitter* dan *receiver* diatur sedemikian rupa pada permukaan beton (dapat dilihat pada **gambar 2.9**).



Gambar 2.10 Pengukuran Keretakan Dengan Uji UPV

Pada gambar 2.9 kedalaman retak dapat diketahui dari hubungan jarak X terhadap waktu tempuh T_1 dan T_2 . Menurut *British Standard 1881* pendekatan

hubungan jarak *transducer*, waktu tempuh T_1 dan T_2 dapat dilihat pada persamaan empiris yaitu:

$$h = x \sqrt{\frac{4t_1^2 - t_2^2}{t_2^2 - t_1^2}}$$

Dengan:

h = kedalaman retak

x = jarak antara *transmitter* atau *receiver* terhadap garis retak(disarankan 15 cm)

t_1 = waktu tempuh gelombang ultrasonik pada jarak x terhadap garis retak

t_2 = waktu tempuh gelombang ultrasonik pada jarak $2x$ terhadap garis retak

2.12 Perencanaan Campuran Dan Pembuatan Beton

Pada pembuatan beton diperlukan suatu perencanaan campuran atau lebih dikenal dengan nama *mixed design*. Tujuan dari perencanaan campuran beton adalah untuk menentukan proporsi semen, agregat halus, agregat kasar, serta air yang memenuhi persyaratan berikut:

1. Kekuatan desak. Kuat desak yang dicapai pada 28 hari(atau umur yang ditentukan) harus memenuhi persyaratan yang diberikan oleh perencanaan konstruksinya.
2. Workabilitas.
3. Durabilitas.
4. Penyelesaian akhir dari permukaan beton.

2.12.1 Kekuatan Desak

Campuran beton biasanya direncanakan untuk memberikan kuat desak rata-rata 28 hari setelah pencampuran, yang akan memberikan keuntungan dalam karakteristik akan kekuatan minimum persyaratan perencanaannya. Kuat kubus mengikuti suatu distribusi normal, sehingga bila jumlah kubus yang dibuat mencukupi, hanya ada beberapa yang sangat tinggi kekuatannya. Pada konsep “kekuatan minimum” terjadi 1,5% – 2,5% kegagalan atas kekuatan kubus, begitu pula dengan silinder.

2.12.2 Workabilitas

Istilah workabilitas sulit untuk didefinisikan dengan tepat, dan Newman mengusulkan agar didefinisikan sekurang-kurangnya 3 buah, yaitu:

1. Kompaktibilitas, atau kemudahan dimana beton dapat dipadatkan dan rongga-rongga udara diambil.
2. Mobilitas, atau kemudahan dimana beton dapat mengalir didalam cetakkan di sekitar baja.
3. Stabilitas, atau kemampuan beton untuk tetap sebagai massa yang homogen, koheren, dan stabil selama dikerjakan dan digetarkan tanpa terjadi pemisahan butiran (segregasi).

Pada hal ini dapat ditambahkan kemudahan dimana tercapai penyelesaian akhir yang baik, terutama untuk permukaan vertikal yang dicetak dengan acuan dan pelat lantai, dimana dibutuhkan tenaga untuk menambalnya. Apabila betonnya dibuat untuk beberapa tujuan yang berbeda-beda, maka dalam segi penyederhanaan, maka dalam merencanakan campuran beton usahakan yang semudah mungkin untuk dikerjakan.

2.12.3 Durabilitas

Durabilitas atau sifat awet berhubungan dengan kekuatan desak, pada umumnya semakin besar kekuatan makin awet betonnya. Meskipun demikian, sering terjadi kekuatan yang disyaratkan dapat tercapai dengan campuran yang besar faktor air/semennya dari pada yang dapat memberikan durabilitas yang cukup terhadap lingkungan yang dialami beton. Dalam hal ini faktor air/semen yang sebenarnya dan kepadatan beton merupakan faktor yang menentukan, dan kekuatannya mungkin akan lebih besar daripada yang disyaratkan dengan ketat untuk tujuan struktural.

2.12.4 Penyelesaian Akhir dari Permukaan Beton

Kohesi yang kurang baik dapat merupakan salah satu sebab penyelesaian akhir yang kurang baik, apabila beton dicetak pada acuan tegak, seperti goresan pasir dan variasi warna, dapat juga mendatangkan kesulitan dalam menambal bidang horizontal, yang halus dan padat. Agar dapat memenuhi persyaratan ini yaitu dapat membuat beton padat yang perlu untuk perlindungan tulangnya, mutlak diperlukan kandungan butiran halus yang mencukupi. Butiran halus ini terdiri atas pasir maupun pasta semen. Cara-cara perencanaan campuran yang akan diterangkan

kemudian akan menghasilkan beton dengan kohesi yang baik, penyelesaian permukaan yang baik dan terbebas dari keropos dan segregasi.

2.13 Prosedur Perbandingan Campuran

Pedoman untuk komposisi spesi beton yang dapat dipegang antara semen, pasir, kerikil harus berupa perbandingan 1 : 2 : 3. Satuan perbandingan ini dalam volume. Misalkan, berdasarkan semen 50 kg(40 lt) berarti untuk agregat halusnya(pasir) sebanyak 80 lt, sedangkan untuk agregat kasarnya(kerikil) sebanyak 120 lt. Apabila hal ini terencana dengan baik, maka mutu beton yang kita buat akan sesuai dengan mutu beton yang akan kita rencanakan. Agar dapat mencapai perbandingan campuran seperti diatas, maka perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut:

a. Semen

Semen yang digunakan harus mencapai tingkat kehalusan yang baik, semen memenuhi syarat kehalusan apabila:

Tertahan saringan no. 100: 0 %

Tertahan saringan no. 200; maksimum 22%

Semen yang dipakai pada pembuatan beton ini adalah jenis semen portland.

b. Pasir

Pasir sebaiknya dicuci bersih karena banyaknya kandungan bahan organik yang ada pada pasir dapat menyebabkan pasir tidak homogen. Sehingga dalam pencarian Finnes Modulus tidak didapatkan angka mutlak dimana penimbangan pada saat percobaan analisa saringan, berat dari persentase pasir yang tertahan saringan tersebut tidak mencapai 100%.

c. Kerikil

Kerikil yang dipakai harus dicuci terlebih dahulu. selain itu gradasi yang akan digunakan sebaiknya memiliki ukuran yang rata, yaitu sekitar antara 20-30 mm. Namun pada percobaan ini ukuran agregat yang dipakai menggunakan ukuran yang maksimum yaitu ukuran 20 mm.

2.14 Penelitian-Penelitian Terdahulu

2.14.1 Miko Eniarti (1996)

Mengemukakan bahwa serangan air laut disebabkan oleh serangan Magnesium Sulfat($MgSO_4$) dan Magnesium Klorida($MgCl_2$) yang bersifat merugikan beton. Dengan adanya Magnesium Sulfat($MgSO_4$) akan terjadi penguraian dari Kalsium Silikat Hidrat(CSH) sehingga fungsi perekatan beton akan hilang. Bila beton rapat hanya sebagai $Ca(OH)_2$ yang berubah menjadi $CaSO_4$ menggantikan kedudukan ion Ca^+ dalam kapur $Ca(OH)_2$ sehingga makin lama kapur dalam beton berkurang, sehingga ion Mg^+ menyerang CAH dan CSH(bahan perekat dalam beton) sehingga fungsi perekat menjadi hilang, menjadi senyawa-senyawa MAH dan MSH merupakan senyawa yang tidak berfungsi sebagai perekat sehingga beton akan kehilangan ikatan dan kuat tekannya.

2.14.2 Wachid Zaenal (1997)

Hasil penelitian tentang pengaruh umur perendaman beton dalam air laut terhadap nilai kuat tarik belah yang menggunakan semen tipe I dan portland pozolan cement (PPC).

Dari hasil penelitian di atas dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dengan melihat model regresi yang ada, akibat perendaman dengan air laut pada semen tipe I memiliki nilai kuat tarik belah yang lebih tinggi dibanding dengan Portland Pozolan Cement(PPC).
2. Perawatan dengan cara perendaman pada pemakaian semen tipe I mengalami kenaikan tertinggi pada umur perendaman 3 sampai 7 hari sekitar 17,58 %/ hari. Sedangkan pada PPC kenaikan tertinggi terjadi pada umur 7 sampai 14 hari yaitu sekitar 6,25%/ hari.

Perawatan dengan cara perendaman dalam air laut sampai umur 3 hari tidak membarikan pengaruh yang nyata terhadap nilai kuat tarik belahnya. Tetapi antara umur 7 sampai 28 hari, perbedaan itu akan tampak nyata.

2.14.3 Indriani Santoso, et. al. (2003)

Penggunaan bottom ash sebagai material pekerasan jalan adalah salah satu cara untuk mengatasi masalah tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti efek penggunaan bottom ash sebagai pengganti agregat halus terhadap stabilitas,

kelelahan, rongga udara, rongga didalam agregat dan Marshall quotient dari campuran aspal beton.

Penelitian dilakukan dengan menguji efek pemakaian bottom ash sebagai pengganti agregat halus sebesar sepuluh sampai 100%. Dari penelitian ditemukan bahwa persentase terbaik penggantian agregat halus dengan bottom ash adalah sepuluh persen. Penggantian ini memenuhi semua persyaratan yang ditentukan kecuali persyaratan rongga udara. Sebuah bahan additif(chemcrete) digunakan untuk memperbaiki rongga udara. Penggunaan chemcrete dapat meningkatkan nilai stabilitas serta memperbaiki nilai rongga udara pada campuran aspal beton.

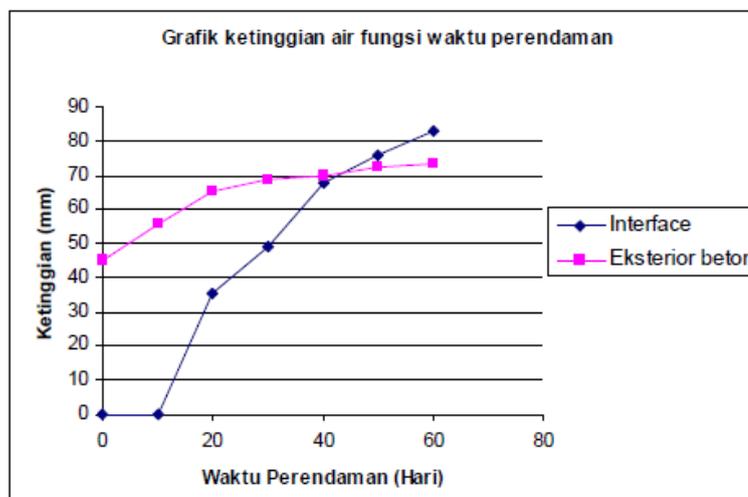
2.14.4 Yulianto, Erfan Yoky (2007)

Pemanfaatan limbah batubara(*bottom ash*) sebagai bata beton ditinjau dari aspek teknik dan lingkungan.Pemanfaatan limbah tersebut diharapkan dapat memberikan manfaat terhadap lingkungan yaitu mengurangi dampak buruk yang timbul akibat timbunan limbah batubara tersebut. Penelitian dilakukan dengan menguji kelayakan bata beton tersebut terhadap standar mutu teknis dan lingkungan. Hasil dari penelitian diketahui bahwa kondisi optimal menurut standar mutu teknis(LPMB-1989) terdapat pada perbandingan komposisi berat semen dan agregat halus sebesar 1 : 5, dengan proporsi limbah batubara(*bottom ash*) sebesar 10% dari berat agregat halus. Dari proporsi perbandingan tersebut didapatkan kuat tekan bata beton sebesar 13,54 MPa dan penyerapan air sebesar 8,86%. Pada bata beton tersebut terdapat unsur logam berat yang melebihi standar baku mutu(PP Nomor 85 tahun 1999), yaitu berupa kadmium(Cd) sebesar 2,438 ppm, kromium(Cr) sebesar 9,003 ppm, tembaga(Cu) sebesar 25,892 ppm, timbal(Pb) sebesar 32,464 ppm dan seng(Zn) sebesar 50,244 ppm.

2.14.5 Bernad M.S. (2009)

Mengemukakan bahwa air memasuki beton dengan cara permeasi dan difusi menuju dua arah yaitu ke arah vertikal dan ke arah radial.Permeasi dan difusi ke arah vertikal membuat air naik dari batas perendaman ke atas sehingga eksterior beton yang tidak terendam akan ikut basah. Hal ini akan tampak dari peningkatan ketinggian air pada eksterior beton fungsi waktu dimana dengan semakin bertambahnya waktu ketinggian air pada eksterior beton akan semakin bertambah sedangkan permeasi dan difusi ke arah radial membuat air masuk dari selimut beton

menuju ke interface baja tulangan dengan beton dimana hal ini terlihat dari perubahan prosentase khlor di dalam beton. Prosentase khlor akan menurun secara gradual dari permukaan hingga ke dalam beton. Pada akhirnya kenaikan air pada interface baja tulangan dengan beton tidak bergantung pada proses permeasi dan difusi air dari selimut beton menuju interface. Air naik lebih cepat di dalam interface baja tulangan dengan beton dibandingkan dengan difusi air dari selimut beton ke dalam interface baja tulangan dengan beton. Serangan korosi pada baja tulangan dimulai dari dasar baja tulangan menuju ke atas. Dasar baja tulangan terkorosi lebih dahulu karena mengalami kontak dengan media korosi lebih cepat. Hal ini yang menyebabkan pengurangan ketebalan baja tulangan di dasar lebih cepat dibandingkan dengan pengurangan ketebalan baja tulangan di titik observasi yang lebih tinggi. Fenomena kapilaritas pada interface baja tulangan dengan beton dapat dimodelkan dalam suatu persamaan polinomial tingkat tiga yaitu $y = -0,0007x^3 + 0,0541x^2 + 0,7604x + 3,1081$.



2.14.6 Audrian Ramanta Herdy (2012)

Variasi campuran spesi berpengaruh nyata terhadap nilai kuat tarik belah mortar. variasi campuran semen dan pasir(spesi) mampu menurunkan nilai rata-rata kuat tarik belah mortar hingga 37,867 %. Mortar dengan spesi 1:3 dengan lama perendaman 7 hari memiliki nilai rata-rata kuat tarik belah paling tinggi yaitu 3,014 MPa dan mortar dengan spesi 1:6 dengan lama perendaman 28 hari memiliki nilai rata-rata kuat tarik belah paling rendah yaitu 1,034 MPa.

Variasi campuran spesi berpengaruh nyata terhadap nilai kedalaman intrusi arah radial maupun transversal pada mortar. Semakin banyak jumlah pasir pada mortar semakin tinggi nilai kedalaman intrusinya. Mortar dengan spesi 1:3 dengan lama perendaman 7 hari memiliki nilai kedalaman intrusi paling rendah yaitu pada arah transversal 0,217 mm dan arah radial 0,189 mm. Mortar dengan spesi 1:6 dengan lama perendaman 7 hari memiliki nilai kedalaman intrusi paling tinggi yaitu pada arah transversal 2,389 mm dan arah radial 3,450 mm.

Berdasarkan uji statistik hipotesis diterima sehingga variasi lama perendaman tidak berpengaruh terhadap nilai kuat tarik belah mortar. Variasi lama perendaman mampu menurunkan nilai rata-rata kuat tarik belah mortar hingga 16,434 %

Variasi lama perendaman berpengaruh nyata terhadap nilai kedalaman intrusi pada mortar. Semakin lama perendaman air laut semakin tinggi nilai kedalaman intrusinya baik pada arah transversal maupun radial. Mortar dengan spesi 1:6 pada lama perendaman 28 hari memiliki nilai kedalaman intrusi paling tinggi baik pada arah transversal yaitu 2,389 mm dan arah radial yaitu 3,450 mm.

2.14.7 Dimas Setyo Yuliandoko (2012)

Pemanfaatan bottom ash sebagai pengganti semen berpengaruh terhadap kuat lentur dan permeabilitas dari genteng beton. Hal ini dibuktikan dengan tidak menurunnya nilai kuat lentur rata-rata pada prosentase 0% - 30% dan setelah itu baru mengalami penurunan yang signifikan. Berdasarkan uji analisis varian (anova) satu arah juga disimpulkan bahwa bottom ash berpengaruh terhadap kuat lentur yang dihasilkan genteng beton. Sementara berdasarkan perhitungan anova dengan dua bagian, 0% - 30% dan 30% - 50% diperoleh kesimpulan bahwa bagian pertama tidak ada peningkatan yang signifikan, sebaliknya pada bagian kedua terjadi penurunan yang signifikan. Sehingga dapat dikatakan bottom ash berpengaruh terhadap penurunan kuat lentur yang dihasilkan.

2.14.8 Kris Naedi (2012)

Adanya pengaruh yang nyata dari pemanfaatan bottom ash sebagai pengganti semen terhadap kuat tekan pada paving block. Hal ini ditunjukkan dengan penurunan kuat tekan seiring dengan bertambahnya bottom ash yang digunakan, karena sifat semen yang mampu mengikat dan mengeras di dalam air tidak dapat

digantikan seluruhnya oleh bottom ash dan karena penggunaan air dalam jumlah yang sama dalam semua variasi.

Ada nya pengaruh yang nyata dari pemanfaatan bottom ash sebagai pengganti semen terhadap penyerapan air paving block. Hal ini ditunjukkan dengan adanya kenaikan presentase penyerapan air seiring dengan bertambahnya bottom ash yang digunakan, karena semakin banyak pori – pori yang terdapat pada paving block.

Untuk pemanfaatan bottom ash sebagai pengganti semen dalam pembuatan paving block, dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- a. Untuk penggunaan 25%, 30%, 35% dan 40% termasuk antara mutu A dan mutu B baik dari segi penyerapan air maupun kuat tekan. Dari segi keempat variasi tersebut, variasi 30% bottom ash merupakan prosentase yang paling maksimum bila digunakan dalam campuran paving block antara mutu A dan mutu B karena kuat tekannya menunjukkan nilai tertinggi.
- b. Untuk penggunaan 45% termasuk antara mutu B dan mutu C baik dari segi penyerapan air maupun kuat tekan.

Untuk penggunaan 50%, 55% dan 60% termasuk antara mutu C dan mutu D baik dari segi penyerapan air maupun kuat tekan. Dari ketiga variasi tersebut, variasi 50% bottom ash merupakan prosentase yang paling maksimum bila digunakan dalam campuran paving block antara mutu C dan mutu D karena kuat tekannya menunjukkan nilai tertinggi.

2.14.9 Septiawan Arifin H. (2012)

Prosentase bottom ash digunakan sebagai pengganti semen adalah 5 – 60% dari total berat kebutuhan semen dengan interval 5% sehingga terdapat 12 variasi dengan 1 variasi sebagai kontrol yaitu benda uji dengan kadar bottom ash sebesar 0%. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan cara memberikan beban searah bidang permukaan tekan sesuai dengan arah beban pada kenyataan di lapangan. Pengujian tekan dilakukan menggunakan pelat besi. Pengujian tekan dilakukan kurang dari satu menit dan tidak boleh lebih dari dua menit. Sedangkan untuk pengujian penyerapan, dilakukan dengan cara merendam benda uji kedalam bak uji selama 24jam kemudian di oven sampai berat benda uji stabil dan tidak berubah sampai tiga kali pengujian.

Dari hasil dan uji statistik dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan bottom ash pada benda uji tidak berpengaruh terhadap kuat tekan dari batako. Justru penambahan bottom ash membuat kuat tekan batako menjadi turun.

2.15 Hipotesis

Dari berbagai kajian teori dan permasalahan yang telah diuraikan diatas maka pada penelitian kali ini dapat disajikan hipotesis sebagai berikut:

1. Terdapat pengaruh pola retak pada balok terhadap variasi campuran *Bottom Ash* pada semen dengan prosentase 10%, 20% dan 25% yang direndam air laut dalam durasi waktu 7, 14 dan 28 hari.
2. Terdapat pengaruh lebar retak pada balok terhadap variasi campuran *Bottom Ash* pada semen dengan prosentase 10%, 20% dan 25% yang direndam air laut dalam durasi waktu 7, 14 dan 28 hari.
3. Terdapat pengaruh kedalaman retak pada balok terhadap variasi campuran *Bottom Ash* pada semen dengan prosentase 10%, 20% dan 25% yang direndam air laut dalam durasi waktu 7, 14 dan 28 hari.

