

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton

Berdasarkan SK SNI-03-2847-2002, pengertian beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat.

Beton merupakan suatu bahan komposit (campuran) dari beberapa material yang bahan utamanya adalah campuran dari semen, agregat halus, agregat kasar, air dan atau tanpa bahan aditif /tambah lain dengan perbandingan tertentu. Karena beton merupakan komposit, maka kualitas beton sangat tergantung dari kualitas masing masing material pembentuk (Kardiyono Tjokrodimulyo,2007).

Campuran antara semen dan air akan membentuk pasta semen yang berfungsi sebagai bahan ikat. Sedangkan pasir dan kerikil merupakan bahan agregat yang berfungsi sebagai bahan pengisi dan sekaligus sebagai bahan yang diikat oleh pasta semen. Ikatan antara pasta semen dan agregat ini akan menjadi satu kesatuan yang kompak dan akhirnya seiring berjalannya waktu akan menjadi keras dan padat yang disebut beton (Ali Asroni, 2010).

Nilai kuat tekan beton sendiri relatif tinggi dibanding dengan kuat tariknya, dan merupakan bahan getas. Nilai kuat tariknya berkisar antara 9% - 15% dari kuat tekannya, pada penggunaan sebagai komponen struktural bangunan, umumnya beton diperkuat dengan tulangan baja sebagai bahan yang dapat bekerja sama dan mampu membantu kelemahannya, terutama pada bagian yang bekerja menahan Tarik (Dipohusodo, 1994)

Perbandingan campuran antara semen, agregat dan air dapat mempengaruhi besar kekuatan dari beton. Faktor air semen (FAS) merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan beton. Semakin besar nilai FAS maka semakin rendah kuat tekan beton yang dihasilkan. Sebaliknya semakin kecil nilai FAS maka semakin tinggi kuat tekan beton yang dihasilkan (Ali Asroni, 2010). Beton merupakan bahan komposit sehingga kualitas beton sangat tergantung dari kualitas masing masing material pembentuk. (Kardiyono Tjokrodimulyo,2007)

2.2. Beton Porous

Beton porous memiliki banyak nama yang berbeda diantaranya adalah beton tanpa agregat halus (*zero-fines concrete*), beton yang dapat ditembus (*pervious concrete*), dan beton berpori (*porous concrete*)

Beton porous adalah jenis beton khusus dengan porositas tinggi yang diaplikasikan sebagai plat beton yang memungkinkan air hujan dan air dari sumber-sumber lain untuk dapat melewatinya, sehingga mengurangi limpasan permukaan dan meningkatkan muka air tanah. Porositas tinggi tercapai karena rongga yang saling berhubungan. Biasanya beton porous menggunakan sedikit atau tanpa agregat halus dan memiliki cukup pasta semen untuk melapisi permukaan agregat kasar dan untuk menjaga interkoneksi pori. Beton porous secara tradisional digunakan untuk area parkir, di daerah lampu lalu lintas, dan trotoar untuk pejalan kaki (NRMCA, 2004)

Beton *porous* atau beton non-pasir juga dikenal sebagai *pervious concrete* adalah campuran antara semen, air dan agregat kasar yang membentuk suatu material tembus air (Neville dan Brooks, 2010). Agregat kasar yang digunakan memiliki gradasi penyeragaman yang disesuaikan. Beton *porous* terusun atas agregat kasar yang diselimuti dengan lapisan pasta semen tipis sekitar 1,3 mm (Neville dan Brooks, 2010). *Mix design* dari beton *porous* terdiri dari : semen (270 – 415 kg), agregat kasar (1190 – 1480 kg), faktor air semen (0,27 – 0,34), perbandingan berat pasir dan kerikil sebesar 0 sampai 1 : 1 serta penambahan *chemical admixtures* (ACI 522R-10).



Gambar 2.1 Beton porous.

Sumber : Paul D. Tennis et. all (2004)

2.3. Material Penyusun Beton *Porous*

Dalam pembuatan beton porous bahan yang digunakan dalam pembuatan sedikit berbeda dengan beton konvensional pada umumnya, bahan yang digunakan dalam pembuatan beton porous meliputi semen Portland, agregat kasar, air, dan yang membedakan yaitu penggunaan sedikit atau bahkan tanpa adanya agregat halus. Untuk pembuatan beton porous sendiri haruslah disesuaikan dengan *mix design* yang sudah dibuat sesuai ketentuan.

2.3.1. Semen *Portland*

Menurut SNI 15-2049-2004, semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen Portland 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 ditambah dengan tambahan lain.

Menurut Ali Asroni, 2010, semen di Indonesia terbagi menjadi 5 jenis, yaitu:

- Jenis I: semen Portland untuk penggunaan umum, tidak memerlukan persyaratan khusus.
- Jenis II: semen Portland untuk beton tahan sulfat dan mempunyai panas hidrasi sedang.
- Jenis III: semen Portland untuk beton dengan kekuatan awal tinggi (cepat mengeras).
- Jenis IV: Semen Portland untuk beton yang memerlukan panas hidrasi rendah.
- Jenis V: semen Portland untuk beton yang sangat tahan terhadap sulfat.

Semen yang digunakan harus baik kondisinya, tidak menggumpal dan mengeras. Setelah tercampur dengan air, semen akan mengalami 2 (dua) periode reaksi yang berbeda. Periode pertama, periode pengikatan adalah peralihan dari keadaan plastis ke dalam keadaan keras. Periode kedua, periode pengerasan adalah penambahan kekuatan setelah pengikatan selesai.

2.3.2. Semen *Portland Pozzoland*

Dalam SNI 15-0302-2004 Semen Portland Pozolan (PPC) adalah suatu bahan pengikat hidrolis, yang dibuat dengan menggiling bersama-sama terak semen portland dan bahan yang mempunyai sifat pozolan, atau mencampur secara merata bubuk semen portland dan bubuk bahan yang mempunyai sifat pozolan. Semen Portland yang dicampur dengan pozzolan halus bersifat homogen. Proses produksi dari semen jenis ini yaitu dengan mencampur dan menggiling secara merata bubuk semen Portland dan bubuk

pozolan. Komposisi campuran dari pozolan antara 6% - 40% dari massa semen Portland pozolan.

Beberapa jenis semen Portland pozolan antara lain:

- Jenis IP – U digunakan untuk semua jenis adukan beton.
- Jenis IP – K digunakan untuk semua jenis adukan beton tetapi semen ini tahan terhadap asam (sulfat) sedang dan panas hidrasi yang terjadi sedang.
- Jenis P – U digunakan untuk jenis struktur yang tidak memiliki kekuatan awal yang tinggi.
- Jenis P – K digunakan untuk jenis struktur yang tidak memiliki kekuatan awal yang tinggi, tidak tahan sulfat dan panas hidrasi yang terjadi sedang.

2.3.3. Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan agregat yang ukurannya sudah melebihi $\frac{1}{4}$ in. sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca, dan efek efek perusak lainnya. Agregat kasar mineral ini harus bersih dari bahan bahan organik, dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan gel semen. (Edward G Nawy,1998).

2.3.3.1 Agregat Kasar Alami (Natural Coarse Aggregate)

Menurut SNI 03-2834-2000 *Tata Cara Rencana Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, agregat kasar alam atau NCA adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm.

2.3.3.2 Agregat Kasar Daur Ulang (Recycled Coarse Aggregates)

Dalam perkembangan pembangunan saat ini maka akan muncul pula limbah limbah beton dari pembangunan itu sendiri. Karena limbah limbah tersebut tidak memungkinkan untuk dibuang seluruhnya maka akankah lebih baik jika limbah beton dapat dimanfaatkan kembali dengan cara dihancurkan dan kemudia dipakai sebagai agregat kasar.

Agregat kasar daur ulang atau RCA adalah agregat kasar yang diperoleh dari beton daur ulang yang telah mengalami proses *pulsed power* (Eva Arifi, 2014). *Pulsed power* akan memisahkan antara pasta semen dengan agregat kasar.

Menurut El-Reedy sifat beton dengan RCA jika dibandingkan dengan beton yang menggunakan NCA yaitu:

- Kuat tarik lebih rendah tidak lebih dari 10%.

- Kuat tekan menurun sebesar 10% - 30%.
- Modulus elastisitas menurun sebesar 10% - 40 % tergantung dari sumber agregat kasarnya.
- Susut lebih besar 20% - 55% sedangkan rangkai lebih kecil hingga 10%.

2.3.4. Air

Air diperlukan pada pembuatan beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah pengerjaannya. Dalam pelaksanaannya air yang digunakan merupakan air minum, karena apabila menggunakan air yang sudah tercampur senyawa yang berbahaya seperti garam, minyak, gula, atau bahan kimia lain dapat menurunkan kekuatan beton dan dapat merubah sifat sifat semen. Selain itu air juga dapat mengurangi afinitas antara agregat dengan pasta semen dan dapat mempengaruhi *workability*.

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 berkurang kekuatannya.

2.3.5. Superplasticizer

Menurut ASTM C 494, *superplasticizer* adalah bahan kimia tambahan pengurang air yang sangat efektif. Dengan pemakaian bahan tambahan ini diperoleh adukan dengan factor air semen lebih rendah pada nilai kekentalan adukan yang sama atau diperoleh adukan dengan kekentalan lebih encer dengan factor air semen yang sama, sehingga kuat tekan beton lebih tinggi.

Menurut Edward G Nawy ada 3 jenis *plasticizer* yaitu :

1. Kondensasi sulfonat melamin formaldehid dengan kandungan klorida sebesar 0,005%
2. Sulfonate nafhtalin formaldehid dengan kandungan klorida yang dapat diabaikan
3. Modifikasi lignosulfonat tanpa kandungan klorida.

Ketiga jenis bahan tambahan ini dibuat dari sulfonat organik dan disebut *superplasticizer* karena bahan ini dapat banyak mengurangi air pada campuran beton sementara *slump* beton bertambah sampai 8 in (208mm) atau lebih. Dosis yang berlebihan dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan tekan pada beton.

2.3.6. Fly Ash

Fly-ash atau abu terbang yang merupakan sisa-sisa pembakaran batu bara, yang dialirkan dari ruang pembakaran melalui ketel berupa semburan asap, yang telah

digunakan sebagai bahan campuran pada beton. Abu terbang sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Tetapi dengan kehadiran air dan ukuran partikelnya yang halus, oksida silika yang dikandung oleh abu terbang akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat.

Berdasarkan Michael Thomas (2007), terdapat beberapa dampak positif dari penggunaan abu terbang pada beton adalah sebagai berikut :

1. Mengurangi pemakaian air pada campuran beton dengan kondisi workabilitas yang sama dengan penggunaan semen PC.
2. Mengurangi *bleeding* atau terpisahnya air semen dalam campuran beton.
3. Mengurangi panas hidrasi beton.
4. Meningkatkan kuat tekan beton.
5. Rangkak pada beton mengandung abu terbang cenderung lebih rendah apabila dibandingkan dengan beton yang menggunakan semen PC saja dalam kondisi kekuatan yang sama.

Faktor – faktor yang mempengaruhi sifat fisik, kimia dan teknis dari *fly ash* adalah tipe batubara, kemurnian batubara, tingkat penghancuran, tipe pemanasan dan operasi, metode penyimpanan dan penimbunan (Wardani, 2008). Menurut SNI S-15-1990-F tentang spesifikasi abu terbang sebagai bahan tambahan untuk campuran beton dan Wardani (2008), *fly ash* dikelompokkan menjadi 3 jenis, antara lain :

a. Kelas F

Jenis ini pada umumnya diperoleh dari pembakaran *anthracite* (batubara keras yang mengkilat) atau *bituminous* batubara. Jenis *fly ash* ini bersifat *Pozzolanic*. *Fly ash* kelas ini memiliki kadar kapur rendah sebesar $\text{CaO} < 10\%$.

b. Kelas C

Jenis ini pada umumnya diperoleh dari *lignite* atau batubara subitumen. Jenis *fly ash* ini bersifat *pozzolan* dan sifat yang menyerupai semen yaitu dapat mengeras dan menambah kekuatan apabila bereaksi dengan air. Kandungan kapur sebesar $\text{CaO} > 20\%$.

c. Kelas N

Jenis ini adalah buangan atau *pozzolan* alam yang terkalsinasi. Seperti *opalinse chert*, tanah *diatomaceous* dan debu-debu vulkanik.

2.3.7. *Silica Fume*

Silica Fume (SF) adalah hasil produksi sampingan dari reduksi quarsa murni (SiO₂) dengan batu bara di tanur listrik tinggi dalam pembuatan campuran silikon atau ferro silikon. *Silica Fume* mengandung kadar SiO₂ yang tinggi dan merupakan bahan yang sangat halus, bentuk bulat dan berdiameter yang sangat kecil sekali yaitu 1/100 kali diameter

Silica Fume dalam jumlah tertentu dapat menggantikan jumlah semen, selain itu karena *Silica Fume* mempunyai diameter sangat kecil, maka *Silica Fume* dapat juga berperan sebagai pengisi diantara partikel- partikel semen. Dengan adanya *Silica Fume* ini distribusi porositas beton menjadi lebih kecil karena peran *Silica Fume* disini selain sebagai penanggulangan terhadap serangan sulfat juga sebagai pengisi rongga- rongga partikel semen dan agregat sehingga dapat menambah kekedapan dan keawetan beton.

Beberapa keuntungan digunakannya *Silica Fume* sebagai bahan tambah yaitu :

- a. Mengurangi bleeding dan segregasi
- b. Memperoleh panas hidrasi
- c. Memperkecil nilai slump
- d. Memperendah nilai permeabilitas beton dan meningkatkan keawetan beton.

2.4 Penelitian Pedahuluan untuk Agregat

2.4.1 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Berat jenis merupakan perbandingan massa dengan volume. Macam – macam berat jenis antara lain:

1. Berat Jenis Curah (*Bulk Specific Gravity*)

Berat jenis curah adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu ruangan.

2. Berat Jenis Kering Permukaan (*Saturated Surface Dry*)

Berat jenis kering permukaan adalah perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu ruangan.

3. Berat Jenis Semu (*Apparent Specific Gravity*)

Berat jenis semu adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu ruangan.

Sedangkan penyerapan air adalah perbandingan berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering. Agregat yang memiliki penyerapan air tinggi memiliki daya rekat semen yang baik, tetapi juga menyebabkan mineral yang mudah larut dalam air akan cepat hilang sehingga keawetannya menjadi berkurang.

Kadar air dalam agregat mampu berubah bergantung pada kondisi agregatnya. Kondisi agregat dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Kondisi basah

Kondisi ini, terjadi pada agregat yang selalu pada kondisi basah karena terkena air hujan atau terendam air sehingga agregat menjadi jenuh, semua pori agregat terisi air dan permukaan menjadi basah.

2. Kondisi SSD

Pada kondisi ini, di bagian dalam agregat jenuh dengan air, tetapi di bagian permukaannya kering.

3. Kondisi kering udara

Apabila agregat ditempatkan pada ruang terbuka dan air didalam maupun permukaan agregat mengalami penguapan tetapi air yang dikandung di dalam agregat tidak habis. Biasanya agregat mengalami kondisi ini pada saat musim kemarau.

4. Kondisi kering oven

Kondisi ini dapat diperoleh apabila agregat dikondisikan dalam suhu lebih dari 100°C dalam waktu yang cukup lama, sehingga kadar airnya menjadi 0%. Bagian permukaan dan bagian dalam agregat akan kering secara keseluruhan.

2.4.2 Gradasi Agregat Kasar

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran agregat. Dapat juga disebut pengelompokan agregat dengan ukuran yang berbeda sebagai presentase dari total agregat atau presentase kumulatif butiran yang lebih kecil atau lebih besar dari masing masing seri bukaan saringan. Gradasi agregat juga berguna untuk menentukan prporasi agregat halus terhadap total agregat.

Gradasi agregat dapat digolongkan menjadi 3 macam:

1. Gradasi kontinu

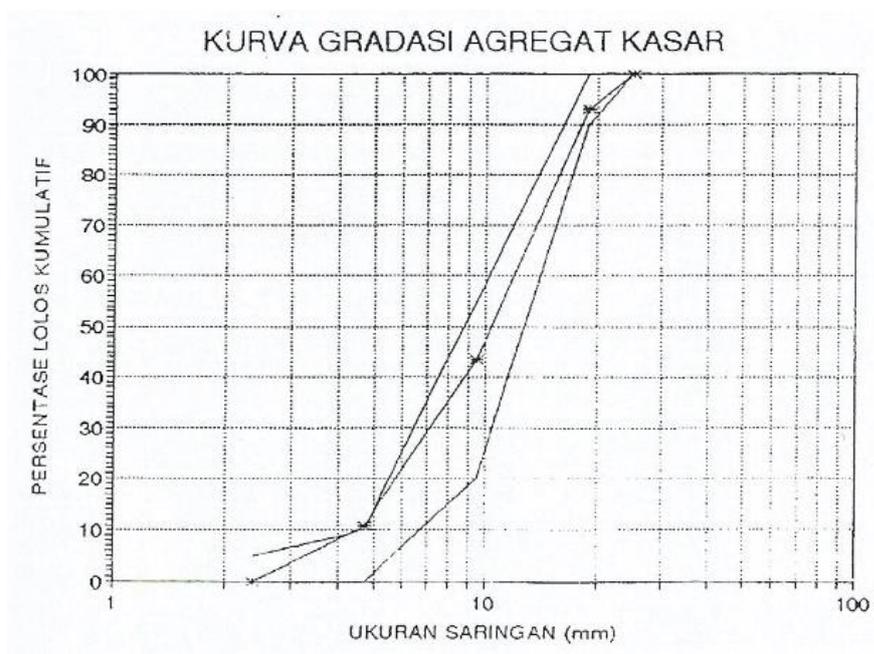
Gradasi kontinu, dimana ukuran butiran pada agregat kasar dan halus bervariasi mulai dari ukuran yang terbesar sampai ukuran yang terkecil. Gradasi ini merupakan gradasi standar yang secara umum dipakai untuk campuran beton.

2. Gradasi seragam

Gradasi seragam, dimana ukuran butiran hamper sama. Gradasi jenis ini pada umumnya didapati pada agregat untuk beton ringan..

3. Gradasi celah

Gradasi celah merupakan suatu gradasi dimana agregat tidak memiliki ukuran agregat tertentu.



Gambar 2.2 Contoh Grafik Gradasi Agregat Kasar.

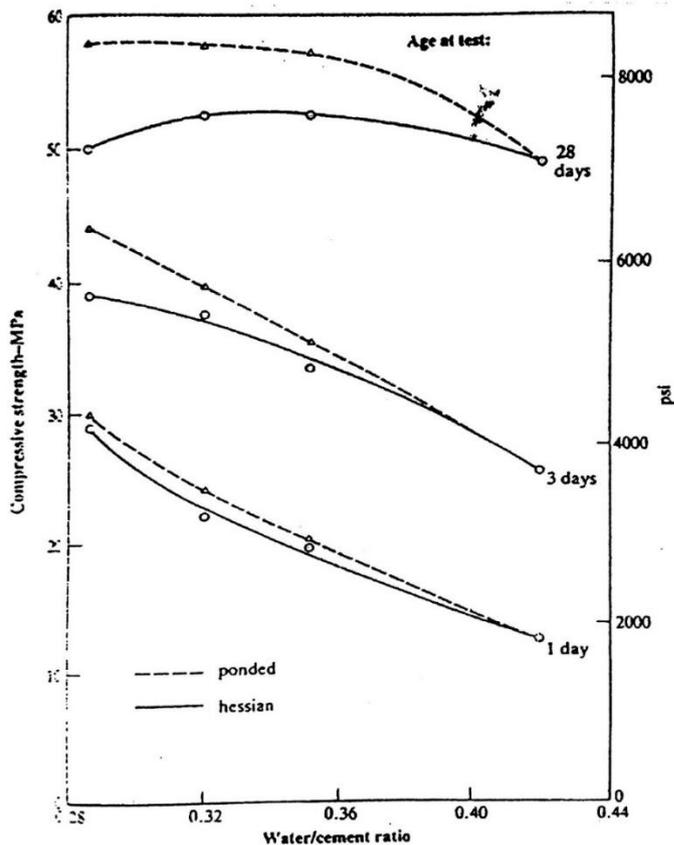
Sumber : Ari Wibowo dan Edhi W. Setyowati (2003)

Pada beton *porous*, jenis gradasi agregat yang digunakan adalah agregat dengan gradasi seragam karena dengan gradasi seragam, distribusi agregat relatif sama yang menciptakan pori – pori pada beton sehingga akan memudahkan air untuk mengalir (porositas tinggi).

2.5 Perawatan Beton (*Curing*)

Perawatan beton (*curing*) adalah suatu usaha yang dilakukan untuk menjaga beton agar memiliki kadar air tetap antara di permukaan beton maupun di dalam beton yang mencukupi. Proses pengerasan beton diakibatkan oleh proses hidrasi semen. *Curing* dilakukan agar beton tidak mengalami retak plastis yang disebabkan oleh proses hidrasi semen. Hidrasi semen terjadi akibat proses reaksi antara semen dan air yang berlangsung terus menerus dan menimbulkan panas. Panas tersebut menyebabkan terjadinya penguapan air secara cepat dari dalam beton, biasanya hal tersebut dapat menimbulkan pori – pori pada beton. Bila proses penguapan air terjadi terlalu cepat, akan mempengaruhi proses

pertumbuhan beton dan juga akan mengakibatkan susut beton secara berlebih. Apabila susut tersebut terjadi secara berlebihan maka akan menimbulkan retak susut pada beton. Karenanya *curing* beton merupakan salah satu prosedur penting dalam proses pelaksanaan pembuatan suatu konstruksi beton.



Gambar 2.3 Pengaruh Kondisi Perawatan Beton Terhadap Kekuatan Tekan Silinder Uji
Sumber : Ari Wibowo dan Edhi W. Setyowati (2003)

Terdapat berbagai macam metode curing beton yang umum dilakukan baik dengan pembasahan sederhana, penguapan dan menggunakan membran. Pemilihan cara yang tepat dalam melakukan pemeliharaan beton merupakan hal yang harus diperhatikan karena sangat berpengaruh terhadap biaya yang akan dikeluarkan.

1. Perawatan Dengan Pembasahan

Terdapat beberapa cara dalam metode ini yaitu :

- a. Menaruh beton segar dalam ruangan yang lembab (dilakukan pada beton uji).
- b. Menaruh beton segar dalam genangan air (dilakukan pada beton uji).
- c. Menyelimuti permukaan beton dengan air.

- d. Menyelimuti permukaan beton dengan karung basah.
- e. Menyirami permukaan beton secara *continue*.
- f. Melapisi permukaan beton dengan material khusus (*Curing Compound*)

2. Perawatan Dengan Penguapan

Sebelum perawatan dengan penguapan dilaksanakan, beton harus dipertahankan terlebih dahulu dan berada pada suhu 10°-30°C selama beberapa jam. Perawatan dengan penguapan berguna pada daerah yang mempunyai musim dingin. Perawatan ini harus diikuti dengan perawatan dengan pembahasan setelah lebih dari 24 jam, minimal selama umur 7 hari, agar kekuatan tekan dapat tercapai sesuai dengan rencana pada umur 28 hari. Perawatan dengan penguapan dilakukan dengan 2 cara yaitu :

- Perawatan dengan tekanan yang rendah berlangsung selama 10-12 jam dengan tekanan berkisar antara 40°-55°C
- Perawatan dengan tekanan tinggi berlangsung selama 10-16 jam dengan tekanan pada suhu 65°-95°C, dengan suhu akhir 40°-55°C.

3. Perawatan Dengan Membran

Membran yang digunakan untuk perawatan beton ini merupakan penghalang fisik untuk menghalangi penguapan air. Bahan yang digunakan harus kering dalam waktu 4 jam (sesuai final setting time), dan membentuk selebar film yang *continue*, melekat dan tidak beracun, tidak selip, bebas dari lubang-lubang halus dan tidak membahayakan beton. Lembaran plastik atau lembaran lain yang kedap air dapat digunakan dengan sangat efisien. Perawatan dengan menggunakan membran sangat berguna untuk perawatan pada lapisan perkerasan beton (*rigid pavement*). Cara ini harus dilaksanakan sesegera mungkin setelah waktu pengikatan beton. Perawatan dengan cara ini dapat juga dilakukan setelah atau sebelum perawatan dengan pembahasan.

2.6 Uji Kuat Tekan Beton

Berdasarkan SNI 03-1974-1990, kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin.

Besarnya kuat tekan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots 2.1$$

dengan:

$f'c$ = kuat tekan beton umur rencana (N/mm^2)

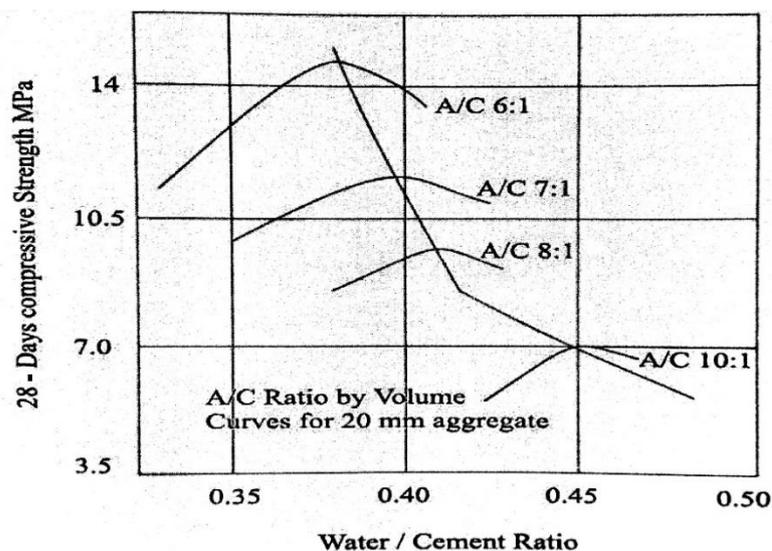
P = beban uniaksial tekan maksimum (N)

A = luas penampang benda uji (mm^2)

Kuat tekan beton konvensional dapat mencapai $80 N/mm^2$ (Murdock, 1981). Pada perbandingan semen : agregat kasar : agregat halus sebagai 1 : 4 : 2, beton konvensional memiliki kuat tekan sebesar $40 - 65 N/mm^2$ dengan umur beton 28 hari.

Faktor – faktor yang mempengaruhi nilai kuat tekan beton antara lain pengaturan perbandingan antara semen, air, agregat kasar dan halus serta berbagai jenis bahan tambahan *addmixtures*, proses pencampuran atau *mixing* dan pemadatan atau *compacting*, serta proses perawatan beton atau *curing*. Kuat tekan maksimum beton tercapai pada umur 28 hari (PBI 1971).

Beton *porous* diproduksi agar memiliki rongga – rongga yang dapat ditembus air. Rongga – rongga ini yang mengakibatkan nilai kuat tekannya lebih rendah apabila dibandingkan dengan beton biasa. Kuat tekan beton *porous* dapat ditingkatkan dengan mengurangi kemampuan porositasnya. Porositas beton *porous* berbanding terbalik dengan kuat tekannya. Semakin besar kemampuan porositasnya maka kuat tekan beton *porous* semakin berkurang sedangkan semakin kecil kemampuan porositasnya maka semakin besar nilai kuat tekannya. Kuat tekan beton *porous* yang menggunakan RCA lebih rendah daripada beton *porous* yang menggunakan NCA (Sriravindrarajah et al., 2012). Hal ini dikarenakan pori – pori dari RCA lebih besar apabila dibandingkan dengan NCA.



Gambar 2.4 Hubungan Antara Kuat Tekan, w/c ratio, a/c ratio Untuk Beton Non-pasir.

Sumber : M.S. Shetty (2009)

Kuat tekan beton *porous* sebesar 2,8 MPa – 28 MPa (ACI 522R – 10). Hal ini menyebabkan pemanfaatan beton *porous* terbatas. Beton porous hanya dapat diaplikasikan pada konstruksi – konstruksi yang tidak menerima beban dengan intensitas tinggi seperti lapangan parkir, rekreasi, dan jalan pejalan kaki.

2.7 Uji Permeabilitas

Permeabilitas beton adalah kemudahan beton untuk dapat dilalui air. Jika beton tersebut dapat dilalui air maka, beton tersebut dikatakan permeable. Jika sebaliknya, maka beton tersebut dikatakan impermeable. Maka sifat permeabilitas yang penting pada beton adalah permeabilitas terhadap air (Sugiharto, 2004). Untuk mengetahui permeabilitas beton maka, dibutuhkan pengujian. Uji permeabilitas terdiri dari dua macam, diantaranya adalah uji aliran (*flow test*) dan uji penetrasi (*penetration test*). Uji yang pertama digunakan untuk mengukur permeabilitas beton terhadap air bila ternyata air dapat mengalir melalui sampel beton. Uji penetrasi digunakan jika dalam percobaan permeabilitas tidak ada air yang mengalir melalui sampel. Dari data yang dihasilkan oleh uji permeabilitas ini dapat ditentukan koefisien permeabilitas, suatu angka yang menunjukkan kecepatan rembesan fluida dalam suatu zat.

Untuk pengukuran permeabilitas pada beton porous dapat menggunakan metode pada ACI-522R. Falling head adalah salah satu metode yang digunakan untuk mengukur permeabilitas air.

Pengukuran permeabilitas ini menggunakan air sebanyak 300 mm diatas beton. Untuk mengukur permeabilitas, digunakan beton berbentuk silinder dengan ukuran 100mm x 200 mm yang telah dicor. Silinder tersebut dicor pada pipa PVC. Beton diukur permeabilitasnya pada umur 28 hari. Penghitungan permeabilitas beton pourus menggunakan persamaan 2.2.

$$k = \frac{A_1 l}{A_2 t} \log \frac{h_2}{h_1} \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana,

- k = permeabilitas air
- A₁ = Luas sample (mm)
- A₂ = Luas kubus (mm)
- l = panjang sampel (mm)
- t = waktu (s)
- h₁ = tinggi muka air awal (mm)
- h₂ = tinggi muka air akhir (mm)

2.8 Studi Terdahulu

2.8.1 Karakteristik *Recycled Aggregate*

Sejak tahun 2006 jepang menggunakan hampir 98% limbah beton sebagai *recycled aggregate* atau agregat daur ulang yang diaplikasikan sebagai lapisan perkerasan jalan dan beton non-struktural. Arifi (2014) melakukan penelitian menggunakan teknologi *pulsed power* yang menggunakan agregat kasar dengan ukuran maksimum 20 mm dan menggunakan *recycled aggregate* 100% kemudian dibandingkan dengan beton dengan 100% agregat alami. Kelemahan *recycled aggregate* diantaranya memiliki density yang rendah, penyerapan air yang tinggi, dan porositas yang tinggi sehingga penggunaannya beton dengan *recycled aggregate* menghasilkan kualitas yang rendah. Hasil yang diperoleh 72% Agregat memiliki kualitas yang sama dengan natural coarse agregat. Penggunaan *fly ash* dan metode TSMA (*Two-Stage Mixing Approach*) dapat meningkatkan performa beton yang terbuat dari *recycled aggregate* . Hasilnya Kuat tekan dan retak susut beton yang terbuat dari 100% *recycled aggregate* dengan teknologi *pulsed power* hampir sama dengan beton yang terbuat dari agregat alami dengan *fly ash*. Kuat tarik belah dan modulus elastisitas beton yang terbuat dari 100% *recycled aggregate* dengan teknologi *pulsed power* lebih tinggi daripada beton yang terbuat dari agregat alami.

2.8.2 Recycled Aggregate sebagai Material pada Beton Porous.

Penelitian Arifi et al.(2017) menggunakan agregat ukuran 0,5 cm sampai 1 cm dan W/C 0,3. Perbandingan semen: agregat yang digunakan adalah 1:4 tanpa agregat halus. *Recycled coarse aggregate* sebagai pengganti agregat kasar alami berkualitas rendah memiliki variasi 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% berdasarkan massa. Fly Ash memiliki variasi 0%, 15%, 25% berdasarkan massa. Pengujian yang dilakukan untuk mengevaluasi kualitas dari beton porous keras antara lain kuat tekan dan kuat tarik belah menggunakan benda uji berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm pada umur 28 hari.

Hasil pengujian menunjukkan kuat tekan beton porous meningkat sebanding dengan peningkatan density, namun perubahan yang hasil yang bermacam-macam dari density beton porous dengan *recycled coarse aggregate* terlalu besar, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menggambarkan keakuratan hasilnya. Kesimpulan yang dipeoleh bahwa penggunaan *recycled coarse aggregate* sebagai pengganti agregat kasar alami dengan penyerapan air yang tinggi dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik belah dari beton porous. Penggunaan *fly ash* hingga 25% untuk mengganti semen dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik belah beton porous. 75% RCA sebagai pengganti agregat kasar alami berkualitas rendah dengan penyerapan air yang tinggi, dengan kombinasi 25% *fly ash* untuk mengganti semen memberikan hasil terbaik pada kuat tekan dan kuat tarik belah dari beton porous dengan hasil 13,6 MPa pada kuat tekan dan 1,56 MPa pada kuat tarik belah.

2.8.3 Pengaruh Ukuran Agregat pada Beton Porous.

Penelitian Mahdiana (2018) menggunakan 3 jenis ukuran agregat yaitu 0,5 cm sampai 1 cm, 1 cm sampai 2 cm, serta 0,5 cm sampai 2 cm. fas yang digunakan adalah 0,3 dengan benda uji silinder diameter 100 mm tinggi 200 mm. Beton porous dibuat dengan campuran *recycled coarse aggregate* (RCA). Hasil yang diperoleh beton porous dengan variasi campuran ukuran 1-2 cm kadar RCA 50% menunjukkan angka pori yang paling besar yaitu 31,550 %, sedangkan beton porous pada ukuran agregat 0,5 – 1 cm kadar RCA 100% menunjukkan angka pori terkecil yaitu 28,517%. Nilai permeabilitas terbesar yaitu 11,926 mm/detik diperoleh pada beton dengan komposisi agregat berukuran 1-2 cm kadar RCA 50%. Nilai kuat tekan dengan ukuran 0,5 – 2 cm dengan RCA 50% memiliki kuat tekan yang tinggi yaitu sebesar 10,211 MPa hasil kuat tekan terendah pada variasi campuran ukuran 0,5 – 2 cm kadar RCA 100% dengan nilai 4,474 MPa. Semakin besar

kadar RCA akan menurunkan kuat tekan beton. Semakin tinggi void ratio pada beton porous semakin tinggi pula permeabilitas beton porous. Semakin tinggi void ratio dan permeabilitas menyebabkan kuat tekan semakin rendah. Kondisi paling optimum yang diperoleh pada kondisi 0%RCA. Pengujian lanjutan yang dapat dilakukan antar lain uji abrasi, uji kuat tekan lentur dengan perkuatan beton porous penambahan faber dan lain sebagainya.

2.8.4 Pengujian Kuat Tekan pada Beton Porous

Penelitian Prabowo et al (2013) bertujuan untuk mendapatkan material beton yang tembus air, sehingga nantinya akan diaplikasikan pada perkerasan jalan. Agregat batu pecah yang dipakai yaitu ukuran seragam 1-2 cm. Agregat halus dilakukan pengujian pendahuluan dengan proporsi 5%, 10% dan 30% dari proporsi agregat halus beton normal untuk mendapat proporsi yang tepat. Variasi FAS 0,30; 0,35; dan 0,40. Pengujian yang dilakukan yaitu uji kuat tekan, kuat lentur, porositas, permeabilitas dengan metode *falling head water permeability test*. Dari hasil pengujian beton berpori menggunakan 30% pasir dan variasi FAS 0,30; 0,35; dan 0,40 didapat nilai tertinggi yaitu pada campuran 30% pasir dan FAS 0,35 sebesar 5,190 MPa untuk kuat tekan dan 0,383 Mpa untuk kuat lentur. Hasil dari penelitian ini adalah nilai kuat tekan yang diperoleh tidak memenuhi standar untuk badan jalan, sehingga hanya dapat diaplikasikan pada bahan trotoar dan bahu jalan saja.

2.8.5 Penggunaan *Superplasticizer*, *Fly Ash* dan *Silica Fume* pada Beton Porous

Penelitian Mariani et.al (2009) mengambil 3 variasi campuran *superplasticizer* untuk pembuatan beton SCC. Variasi campuran yaitu sebesar 1,5%; 2%; dan 2,5% dengan pengurangan penggunaan air pada campuran beton. Pengujian dilakukan saat umur beton 3, 7, dan 28 hari. Hasil yang diperoleh yaitu keadaan SCC terjadi pada semua pemberian campuran *superplasticizer*. Nilai *workability* meningkat sesuai dengan penambahan kadar *superplasticizer*, dan sebaliknya kuat tekan SCC akan menurun dengan penambahan kadar *superplasticizer*. Kondisi optimal berada pada kadar *superplasticizer* 1,5%.

Ravindrarajah (2014) melakukan penelitian ini yang terdiri dari 4 mix desain dengan proporsi kombinasi berat semen dan bahan admixture semen sebagai berikut: a) 100% semen; b) 75% semen dan 25% *fly ash*; c) 92,6% semen dan 7,4 % *silica fume*; d) 84,2% semen, 8,2 *fly ash* dan 7,6% *silica fume*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahan-bahan pengganti semen dapat meningkatkan kuat tekan beton porous, mengurangi modulus elastisitas dan mengurangi permeabilitas beton porous dengan porositas tetap

sebesar 20%. Penggunaan *fly ash* yang optimum pada campuran beton sebesar 25% dan *silica fume* sebesar 7,4 % terhadap berat semen. Campuran semen dan *fly ash* 25% dapat mencapai 15,5 MPa, yang meningkatkan 21 % kuat beton tanpa bahan tambah. Sedangkan campuran semen dan *silica fume* 7,4% dapat mencapai kuat 22,5 MPa yang meningkatkan 76% kuat tekan beton tanpa bahan tambah. Sedangkan campuran keduanya dapat meningkatkan 35% kuat tekan beton dengan semen saja.

2.9 Hipotesis

- 1 Penambahan superplasticizer dapat meningkatkan nilai kuat tekan pada beton porous tanpa bahan tambahan
- 2 Penambahan superplasticizer dapat meningkatkan nilai kuat tekan pada beton porous dengan bahan tambahan *fly ash* dan *silica fumes*
- 3 Peningkatan persentase penggunaan RCA akan mengurangi nilai kuat tekan beton porous

Halaman ini Sengaja dikosongkan

