II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Beton Ringan (*Lightweight Concrete*)

Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat (Surya Sebayang, 2000). Beton normal merupakan bahan bangunan yang relatif cukup berat dengan berat jenis berkisar 2,4 atau berat 2400 kg/m^3. Untuk mengurangi beban mati suatu struktur beton, maka telah banyak dipakai beton ringan. Berdasarkan SNI 03 - 2847 - 2002, beton ringan adalah beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai berat satuan tidak lebih dari 1900 kg/m^3. Pada dasarnya beton ringan diperoleh dengan cara penambahan pori-pori udara ke dalam campuran betonnya.

Menurut Tjokrodimuljo (2007) pembuatan beton ringan dapat dilakukan dengan cara :

1. Membuat gelembung-gelembung gas udara dalam adukan semen. Dengan demikian akan terjadi banyak pori-pori udara di dalam betonnya. Bahan Tambahan Khusus (pembentuk gelembung udara dalam beton) ditambahkan ke dalam semen dan akan terbentuk gelembung udara.

2. Dengan menggunakan agregat ringan, misalnya tanah liat bakar dan batu apung. Dengan demikian beton yang terjadi pun akan lebih ringan daripada beton normal.
3. Pembuatan beton tidak dengan butir-butir agregat halus. Dengan demikian beton ini disebut "beton non-pasir" dan hanya dibuat dari semen dan agregat kasar saja (dengan butir maksimun agregat kasar sebesar 20 mm atau 10 mm). Beton ini mempunyai pori-pori yang hanya berisi udara (yang semula terisi oleh butir-butir agregat halus).

B. Beton Non-pasir

Beton non-pasir ("*no-fines concrete"*) ialah suatu bentuk sederhana dari jenis beton ringan yang dalam pembuatannya tidak menggunakan agregat halus. Tidak adanya agregat halus dalam campuran menghasilkan beton yang berpori (yang semula diisi agregat halus) sehingga beratnya berkurang (Kardiyono Tjokrodimulyo, 2007). Beton non-pasir juga dapat disebut *permeconcrete* atau *pervious concrete* yaitu beton yang dibentuk dari campuran semen, agregat kasar, air dengan atau tanpa bahan tambahan. Beton non-pasir dibuat dengan menghilangkan penggunaan agregat halus. Tidak adanya agregat halus pada campuran menghasilkan suatu sistem berupa keseragaman rongga yang terdistribusi di dalam massa beton, serta berkurangnya berat jenis beton.

Menurut Dwi Kusuma (2012) beton non-pasir mempunyai kelebihan, diantaranya adalah :

1. *Low Shrinkage*

   Penyusutan total beton non-pasir saat mengeras/kering adalah sekitar setengah dari beton padat yang dibuat dengan agregat yang sama. Tingkat penyusutan juga jauh lebih cepat. Gerakan penyusutan total, telah ditemukan bahwa 50% sampai 80% terjadi dalam 10 hari pertama, dimana untuk beton padat hanya 20 sampai 30 persen akan terjadi pada periode yang sama. Ini berarti bahwa bahaya retak jauh lebih kecil terjadi jika dibandingkan dengan beton normal.

2. *Light Weight*

   Karena penggunaan agregat ringan maka dihasilkan beton dengan bobot yang ringan.

3. *Thermal Insulation*

   Kebaikannya sebagai bahan isolasi panas.

4. *Eliminated Segregation*

   Tidak ada kecenderungan untuk bersegregasi, sehingga dapat dijatuhkan dengan tinggi jatuh yang lebih tinggi.

5. *Reduce Cement Demand*

   Kebutuhan semen sedikit (karena tidak ada pasir maka luas permukaan butir agregat berkurang sehingga kebutuhan pasta semen yang dipakai untuk menyelimuti butir pasir tidak diperlukan lagi, sehingga kebutuhan semen hanya sedikit) dan harganya lebih murah.

6. *Simple* yaitu berarti cara pembuatannya sederhana dan lebih cepat.

7. *Sound Insulation*

   Kebaikan sebagai bahan isolasi suara/kebisingan (meredam suara).

8. *Environment Friendly*, mudah meloloskan air dapat digunakan sebagai bahan pembuat sumur resapan, sehingga meningkatkan resapan ke dalam tanah.

Pada umumnya agregat kasar yang dipakai pada pembuatan beton non-pasir berukuran 10 sampai 20 mm, walaupun ukuran yang lain juga dapat dipakai. Berat jenis beton non-pasir dipengaruhi oleh berat jenis dan gradasi yang dipakai, dan pada umumnya berkisar antara 60-70 persen dari beton biasa. Beton non-pasir sendiri memiliki kuat tekan yang relatif kecil dibandingkan beton normal, menjadikan beton non-pasir memiliki aplikasi yang terbatas. Menurut ACI (*American Concrete Institut*) 522R-10 mengenai *Pervious Concrete* biasanya beton berpori memiliki kuat tekan sebesar 400 sampai 4000 psi (2,8 Mpa sampai dengan 28 Mpa).

Menurut Dwi Kusuma (2012) kuat tekan dari beton non-pasir dipengaruhi oleh sejumlah faktor, antara lain :

1. Faktor Air Semen

   Faktor air semen pada beton non-pasir berkisar 0,36 - 0,46, sedangkan nilai faktor air semen optimum sekitar 0,40. Perkiraan faktor air semen tidak dapat terlalu besar karena jika faktor air semen terlalu besar maka pasta semen akan terlalu encer, sehingga pada waktu pemadatan pasta semen akan mengalir ke bawah dan tidak menyelimuti permukaan agregat. Sedangkan, jika faktor air semen terlalu rendah maka pasta semennya tidak cukup menyelimuti butir butir agregat kasar penyusun

beton. Dengan nilai faktor air semen optimum akan dihasilkan pula kuat tekan maksimum suatu beton non-pasir.

2. Rasio Volume Agregat dengan Semen

   Rasio volume agregat dengan semen merupakan proporsi penggunaan agregat berbanding semen. Pada nilai faktor air semen yang tetap, pengaruh besar rasio agregat dengan semen akan berakibat terhadap pasta yang terbentuk. Semakin besar rasio agregat-semen, maka semakin sedikit pasta semennya, sehingga bahan pengikat antar aggregat akan sedikit pula dan kuat tekan beton non pasir yang terbentuk akan semakin rendah.

Dalam penggunaannya sendiri beton non-pasir ini dapat dicetak sebagai bata beton atau langsung dicetak menjadi dinding tembok atau kolom Aplikasi lain yang sering diantaranya sebagai tempat parkir, trotoar serta area taman. Selain itu, karena beton non-pasir sangan berpori, maka sangat meloloskan air sehingga baik untuk bagian bangunan yang tidak boleh menahan air, misalnya struktur penahan tanah (turap) dan buis beton.

C. Abu Batubara

Proses pembakaran batubara pada pembangkit tenaga uap menghasilkan limbah berupa abu batubara. Abu batubara merupakan bagian dari sisa pembakaran batubara pada boiler pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk partikel halus dan dan merupakan bahan anorganik yang terbentuk dari perubahan bahan mineral karena proses pembakaran. Abu batubara bersifat *pozzolan*, yakni bahan yang mengandung senyawa silika dan

alumunium. Pada dasarnya, abu batubara tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen, namun karena ukurannya yang halus dan adanya air, oksida silika yang terkandung dalam abu batubara akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen, sehingga akan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat. Abu batubara dapat digunakan pada beton sebagai material terpisah atau sebagai bahan dalam campuran semen dengan tujuan untuk memperbaiki sifat-sifat beton.

Fungsi abu batubara sebagai bahan aditif dalam beton bisa sebagai pengisi (*filler*) yang akan menambah internal kohesi dan mengurangi porositas daerah transisi yang merupakan daerah terkecil dalam beton, sehingga beton menjadi lebih kuat. Pada umur sampai dengan 7 hari, perubahan fisik abu batubara akan memberikan konstribusi terhadap perubahan kekuatan yang terjadi pada beton, sedangkan pada umur 7 sampai dengan 28 hari, penambahan kekuatan beton merupakan akibat dari kombinasi antara *hidrasi* semen dan reaksi *pozzolan.* (Jackson, 1977)

Dari proses pembakaran batubara akan terbentuk dua jenis abu yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Komposisi abu batubara yang dihasilkan terdiri dari 20% - 30% abu dasar, sedangkan sisanya sekitar 70% - 80% berupa abu terbang.

D. *Bottom ash*

Bottom ash merupakan material yang tidak terbakar dengan sempurna dari pembakaran suatu material, seperti pada pembakaran batubara. *Bottom ash* ini diperoleh setelah pembakaran selesai. Biasanya *bottom ash* menempel pada bagian bawah atau dinding dari tungku pembakaran tersebut. Dengan kata lain *bottom ash* adalah bahan buangan dari proses pembakaran batubara pada pembangkit tenaga yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari *fly ash*, sehingga *bottom ash* akan jatuh pada dasar tungku pembakaran (*boiler*) dan terkumpul pada penampung debu *(ash hopper). Bottom ash* mempunyai karakteristik fisik bewarna abu-abu gelap, berbentuk butiran, berporos, mempunyai ukuran butiran antara pasir hingga kerikil.

Terdapat dua kategori *bottom ash* berdasarkan jenis tungku pembakarannya, yaitu *dry bottom boiler* yang menghasilkan *dry bottom ash* dan *slag-tap boiler* serta *cyclone boiler* yang menghasilkan *wet bottom ash* (*boiler slag*).

Adapun karakteristik *bottom ash* diantaranya :

1. Karakteristik fisik

   Bottom ash mempunyai butiran partikel sangat berpori pada permukaannya. Partikel *bottom ash* mempunyai batasan ukuran dari kerikil sampai pasir. *Bottom ash* merupakan material dengan gradasi yang baik, dengan variasi ukuran partikel yang berbeda-beda. Ukuran *bottom ash* lebih mendekati ukuran pasir, biasanya 50 - 90 % lolos pada saringan 4.75 mm (No. 4), 10 - 60 % lolos pada saringan 0.6 mm (No. 40), 0 - 10 %

lolos pada saringan 0.075 mm (No. 200), dan ukuran paling besar berkisar antara 19 mm (3/4 in) sampai 38.1 mm (1-1/2 in).

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 1.

Tabel 1. Sifat fisik dari *dry* dan *wet bottom ash*

Sifat Fisik *Bottom Ash*	*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 ¾ 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 : Indriani Santoso, 2003

2. Karakteristik kimia

Komposisi kimia dari *bottom ash* sebagian besar terdiri dari silika (Si), alumina (Al) dan besi (Fe) dengan sedikit magnesium (Mg), kalsium (Ca), sulfat (S), natrium (Na) dan unsur kimia lain.

Tabel 2. Hasil analisis *bottom ash*

Senyawa Kimia	Persentase Kadar (%)
SiO_3	26,98
Al_2O_3	39,40
Fe_2O_3	10,62
CaO	0,63
MgO	0,56
Na_2O	0,15
SO_3	0,59

Sumber : I Wayan Suarnita, 2012

3. Karakteristik Mekanis

Adapun sifat mekanis dari *dry* dan *wet bottom ash* dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Sifat mekanis dari *dry* dan *wet bottom ash*

Sifat Mekanis *Bottom Ash*	*Dry Bottom Ash*	*Boiler Slag*
Maximum dry density	1210 - 1620 kg/m^3	961 - 1440 kg/m^3
Kelembaban optimum	12 - 24% (umumnya < 20%)	8 - 20%
Test abrasi LA (% kehilangan)	30 – 50	24 – 48
Sodium Sulfat (% kehilangan)	1,5 – 10	1 – 9
Soundness test	38 - 42°	38 - 42°
Kuat geser (sudut geser)	38 - 45° (ukuran butir < 9,5 mm)	38 - 46° (ukuran butir < 9,5 m)
CBR (%)	40 – 70	40 – 70
Koefisien permeabilitas	10^{-2} - 10-3 cm/det	10^{-2} - 10^{-3} cm/det
Friable partikel	Ada	Tidak ada

Sumber : Indriani Santoso, 2003

Secara umum, abu dasar dapat langsung dimanfaatkan di pabrik semen atau dapat juga dimanfaatkan menjadi campuran beton (*concrete*). Salah satu yang mempengaruhi kuat tekan beton adalah adanya porositas. Porositas dapat diakibatkan karena adanya pertikel-partikel bahan penyusun beton yang relatif besar, sehingga kerapatan tidak maksimal. Partikel terkecil bahan penyusun beton adalah semen. Untuk mengurangi porositas semen dapat digunakan bahan tambahan mineral yang bersifat pozzolan dan mempunyai partikel yang halus. Salah satu bahan tambahan yang dapat digunakan adalah *bottom ash* (abu dasar). *Bottom ash* yang digunakan pada pembuatan beton non pasir ini berasal dari PLTU Tarahan, Lampung. Ukuran agregat yang digunakan adalah lolos saringan 4,75 mm.

E. Semen Portland

Semen Portland ialah semen hidrolis yang dengan cara menghaluskan klinker, yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis, dan gips sebagai bahan pembantu (SK SNI-S-04-1989-F). Fungsi utama semen pada adukan beton adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa yang padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat.

Semen merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik di sektor konstruksi sipil. Jika ditambah air, semen akan menjadi pasta semen. Jika ditambah agregat halus, pasta semen akan menjadi mortar yang jika digabungkan dengan agregat kasar akan menjadi campuran

beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras (*concrete).* (Tri Mulyono, 2003)

Pada proses pembuatannya material yang mengandung kapur (misalnya batu kapur), silika dan alumina (misalnya lempung) dihaluskan sampai menjadi bubuk, kemudian dicampur dalam proporsi tertentu dan dibakar pada temperatur ± 1400°C sehingga menjadi klinker, didinginkan dan dihaluskan serta ditambahkan gips sebesar 4% (Surya Sebayang, 2000).

Berdasarkan SNI S-04-1989-F semen portland dibagi menjadi lima jenis kategori sesuai dengan tujuan pemakaiannya, yaitu :

1. Tipe I

   Semen portland untuk konstruksi umum, yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.

2. Tipe II

   Semen portland untuk konstruksi pada yang agak tahan terhadap sulfat.

3. Tipe III

   Semen portland untuk konstruksi dengan syarat kekuatan awal yang tinggi.

4. Tipe IV

   Semen portland untuk kostruksi dengan syarat panas hidrasi yang rendah.

5. Tipe V

   Untuk konstruksi-konstruksi yang menuntut persyaratan yang sangat tahan terhadap sulfat. Penggunaan semen jenis ini sama dengan pada semen jenis II dengan kontaminasi sulfat yang lebih pekat.

Sedangkan semen PCC (*Portland Composite Cement)* sendiri berdasarkan SNI 15-7064-2004, didefinisikan sebagai bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozzolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6 - 35 % dari massa semen portland komposit.

Karakteristik dari *Portland Composite Cement* antara lain :

a. Memiliki panas hidrasi yang relatif rendah.
b. Memiliki ketahanan beton terhadap korosi
c. Memiliki ketahanan beton terhadap reaksi alkali agregat
d. Memiliki ketahanan beton terhadap sulfur.
e. Memiliki kuat tekan beton yang tinggi.
f. Memiliki *durability* yang baik.
g. Bersifat kedap terhadap air.

Semen yang satu dapat dibedakan dengan semen yang lainnya berdasarkan susunan kimianya maupun kehalusan butirnya. Berdasarkan SNI 15-7064-2004, syarat kimia semen portland komposit tidak boleh mengandung SO_3 lebih dari 4 % dari komposisi total semen. Secara umum, terdapat empat senyawa kimia utama sebagai penyusun semen portland komposit (Mulyono, 2003), yaitu :

a. Trikalsium Silikat ($3CaO.SiO_2$) yang disingkat menjadi C_3S.

b. Dikalsium Silikat ($2CaO.SiO_2$) yang disingkat menjadi C_2S.

c. Trikalsium Aluminat ($3CaO.Al_2O_3$) yang disingkat menjadi C_3A.

d. Tertrakalsium Aluminoferrit ($4CaO.Al_2O_3$ Fe_2O_3) yang disingkat menjadi C_4AF.

F. Agregat

Agregat adalah material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku pijar, yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton atau adukan semen hidraulik (SK SNI 03 - xxxx - 2002). Agregat menempati 60% sampai 80% volume beton, sehingga karakteristik agregat akan menentukan kualitas beton.

Bentuk, tekstur, dan gradasi agregat mempengaruhi sifat pengikatan dan pengerasan beton segar. Sedangkan sifat fisik, kimia, dan mineral mempengaruhi kekuatan, kekerasan dan ketahanan dari beton. Secara umum, menurut ukuran agregat diklasifikasikan dapat dibedakan menjadi :

1. Agregat Halus

   Agregat kasar adalah batuan yang ukuran butir terbesar 5 mm dengan gradasi agregat terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Gradasi standar agregat halus (ASTM C-33)

Diameter Saringan (mm)	Persentase Lolos (%)
9,5	100
4,75	95 – 100
2,36 (No. 8)	80 – 100
1,18 (No.16)	50 – 85
0,6 (No. 30)	25 – 60
0,3 (No. 50)	10 – 30
0,15 (No. 100)	2 – 10

Sumber : *Annual Book of ASTM Standards Volume 04.02 "Concrete and Agregates".* 1997.

2. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah batuan yang ukuran butirannya antara 5 mm sampai 40 mm dengan gradasi agregat terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Gradasi agregat kasar menurut ASTM C33 (agregat maks-19)

Diameter Saringan	Persentase Lolos
25 mm	100
19 mm	90 – 100
9,5 mm	20 – 55
4,75 mm	0 – 10
2,36 mm	0 – 5

Sumber : *Annual Book of ASTM Standards Volume 04.02 "Concrete and Agregates".* 1997.

Pada pembuatan beton non-pasir ukuran agregat maksimum yang dipakai adalah 10 mm sampai 20 mm. Berat beton non pasir umumnya berkisar 60% - 75% dari beton biasa (Kardiyono Tjokrodimulyo, 2007). Berat beton non-pasir berkisar $^{2}/_{3}$ dari beton biasa dengan agregat yang sama. Agregat kasar yang digunakan untuk pembuatan beton non-pasir ini dari batuan yang dipecah oleh *stone chusher* menjadi ukuran yang diinginkan.

G. Air

Air merupakan bahan dasar yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen, serta sebagai bahan pelumas antar butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Apabila air yang digunakan dalam proses pembuatan beton terlalu sedikit, maka akan menyebabkan beton sulit untuk dikerjakan, tetapi jika terlalu banyak tentu akan mengurangi nilai kekuatan dari beton itu sendiri. Nilai banding berat air dan semen untuk suatu adukan beton disebut dengan *Water Cement Ratio* (W/C) atau faktor air semen (fas). Agar terjadi proses hidrasi yang sempurna dalam adukan beton, pada umumnya dipakai nilai *Water Cement Ratio* 0,40 - 0,60. Sedangkan untuk beton non-pasir faktor air semen berkisar anatara 0,36 - 0,46 (Kardiyono Tjokrodimulyo, 2007). Semakin tinggi mutu beton yang akan dicapai umumnya menggunaakan nilai *Water Cement Ratio* semakin rendah, sedangkan untuk menambah daya *workability* (kelecakan atau sifat mudah dikerjakan) diperlukan nilai *Water Cement Ratio* yang lebih tinggi.

Menurut SK SNI 03 - 2847 - 2002, air yang digunakan untuk campuran beton harus memenuhi syarat sebagai berikut :

1. Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan.
2. Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang di dalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang

terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.

3. Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali ketentuan berikut terpenuhi:
   a. Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.
   b. Hasil pengujian pada umur 7 dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dibuat dari adukan dengan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90% dari kekuatan benda uji yang dibuat dengan air yang dapat diminum. Perbandingan uji kekuatan tersebut harus dilakukan pada adukan serupa, terkecuali pada air pencampur, yang dibuat dan diuji sesuai dengan *"Metode uji kuat tekan untuk mortar semen hidrolis* (Menggunakan spesimen kubus dengan ukuran sisi 50 mm)" (ASTM C-109).

H. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tertentu, yang dihasilkan oleh mesin uji tekan. Kekuatan beton ini tergantung beberapa faktor, seperti proporsi campuran maupun kondisi kelembaban tempat dimana beton akan mengeras. Untuk memperoleh kuat tekan yang diinginkan maka beton yang masih muda perlu dilakukan proses perawatan/curing, dengan tujuan agar proses hidrasi pada semen berjalan dengan sempurna. Pada proses hidrasi

semen dibutuhkan kelembaban tertentu. Apabila beton cepat mengering maka akan timbul retak pada permukaannya yang menyebabkan kekuatan beton menurun.

Dalam Diktat Konstruksi Beton I (Pratikto, 2009) disebutkan beberapa cara yang dapat dilakukan untuk perawatan beton, antara lain :

1. Beton dibasahi dengan air secara terus menerus.
2. Beton direndam dalam air.
3. Beton ditutup dengan karung basah.
4. Dengan menggunakan perawatan gabungan acuan membran cair untuk mempertahankan uap air semula beton basah.
5. Perawatan uap untuk beton yang dihasilkan dari kondisi pabrik, seperti balok pracetak, tiang, girder pratekan, dll. Temperatur perawatan sekitar 150°F.

Pada umumnya kuat tekan beton diukur dengan menggunakan benda uji silinder dengan diameter 15 cm den tinggi 30 cm atau dengan benda uji kubus dengan dimensi 15 x 15 x 15 cm. Besarnya kuat tekan beton dapat dihitung dengan cara membagi beban maksimum pada saat benda uji hancur dengan luas penampang benda uji.

Kuat tekan beton tersebut dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$\mathbf{f'c} = \frac{P}{A} \qquad \text{..... 1)}$$

Keterangan:

f'c = kuat tekan beton, MPa

P = beban maksimum, N

[1)]A = luas penampang, $mm^2 = \frac{1}{4}\pi D^2$, dimana [2)]D = diameter

I. Porositas

Porositas beton menggambarkan besar kecilnya kekuatan beton dalam menyangga suatu konstruksi. Semakin padat beton, maka kekuatannya juga akan semakin besar sehingga dapat menyangga konstruksi yang lebih berat. Sebaliknya, semakin renggang beton, maka kekuatannya juga akan semakin lemah sehingga hanya bisa menyangga konstruksi yang ringan dan ketahanannya juga tidak terlalu lama. Porositas dapat diakibatkan adanya partikel-partikel bahan penyusun beton yang relatif besar, sehingga kerapatan tidak maksimal. Penggunaan *bottom ash* dapat mengurangi rata-rata ukuran pori pada beton sehingga diperoleh permeabilitas beton (kemampuan beton untuk meloloskan air) yang lebih kecil.

Nilai porositas dihitung dengan menggunakan rumus berdasarkan standar ASTM, yaitu :

$$\textbf{\textit{Voids}}\ (\%) = \frac{C-A}{C-D}\ x\ 100\% \quad \text{.....(2)}$$

Keterangan :

[3)] A = massa kering benda uji setelah dioven

C = massa kering permukaan benda uji setelah perendaman dan pendidihan

[4)] D = massa benda uji kondisi jenuh setelah perendaman dan pendidihan

---

[1)] Luas penampang silinder beton, $A = \frac{1}{4}\pi D^2\ mm^2$

[2)] Diameter penampang silinder benda uji

[3)] Massa kering benda uji porositas setelah dioven

[4)] Massa jenuh benda uji porositas (di dalam air) setelah perendaman dan pendidihan

J. Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai beton non-pasir yang dicampur dengan bahan atau menggunakan agregat tertentu telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Hasil penelitian Ferdiyanti **(**2012), menunjukkan bahwa batu silika dari Padangratu, Lampung Tengah, secara umum memenuhi syarat untuk digunakan sebagai agregat beton. Berat beton non-pasir per m^3 dengan perbandingan volume semen : agregat 1 : 4, 1 : 6, 1 : 8, 1 : 10 berkisar antara 1830 - 2120 kg/m^3, rongga udara beton non pasir berkisar antara 8,64% - 25,10%, kuat tekan beton non pasir berkisar antara 6,77Mpa - 21,77 Mpa.

Kardiyono T., dkk., (2011) meneliti beton non-pasir dari agregat batu alam **(**batu ape) Sungai Lua, Sulawesi Utara. Dari hasil penelitian diperoleh kesimpulan bahwa rasio volume semen-agregat pada campuran beton non-pasir yang ideal adalah 1 : 6 dimana kuat tekan pada benda uji silinder sebesar 7,67 MPa dengan berat beton non pasir per m^3 adalah 1,962 ton.

Ermiyati H. Gussyafri (2008) meneliti beton non-pasir dengan agregat dari Desa Salo, Kecamatan Bangkinang, Kabupaten Kampar. Dari hasil penelitian diperoleh kesimpulan berat jenis beton non-pasir ini berkisar dari 1963,04 kg/m^3 (minimum) sampai dengan 2047,34 kg/m^3 (maksimum). Kuat tekan beton non-pasir minimum diperoleh pada variasi berdiameter agregat 15 mm adalah 5,66 Mpa; dan kuat tekan maksimum diperoleh pada variasi diameter 10 mm adalah 7,45 MPa.