

2. LANDASAN TEORITIS

2.1 Beton *Porous*

Beton *porous* adalah material beton spesial dengan porositas tinggi yaitu antara 15-30% rongga udara sehingga mudah untuk dilalui air. Beton porous memiliki pori-pori yang cukup banyak dan berhubungan. Fungsi utama beton *porous* adalah sebagai perkerasan beton penutup permukaan tanah dengan tujuan agar dapat air dapat dengan mudah mengalir ke bawahnya, dan dengan demikian kelebihan air permukaan akan dapat kembali terserap kedalam tanah, dari pada hanya terbang kelaut (Antoni, 2008).

Beton dapat didefinisikan sebagai bahan bangunan komposit yang terbuat dari campuran agregat kasar, pasir, semen, air. Menurut SNI-2847- 2013 beton adalah campuran semen *Portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*). Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana pada umur 28 hari. Beton memiliki daya kuat tekan yang baik oleh karena itu beton banyak dipakai atau dipergunakan untuk pemilihan jenis struktur terutama struktur bangunan, jembatan dan jalan.

Sifat-sifat dan karakteristik dari material penyusun beton sangat mempengaruhi kinerja dari beton yang dibuat. Kinerja dari beton tersebut akan berdampak pada kekuatan yang diinginkan, kemudahan dalam pengerjaannya dan keawetannya dalam jangka waktu tertentu. Sebagai material komposit, ada 3 sistem umum yang melibatkan semen, yaitu pasta semen, mortar dan beton (Nugraha & Antoni, 2007).

Menurut Antoni (2008), keuntungan dari penggunaan beton *porous* adalah antara lain:

1. Permukaan yang menggunakan beton *porous* dapat meningkatkan penyerapan air tanah, mengurangi air permukaan yang mengalir mencegah material polutan masuk ke aliran air dan dapat mengurangi potensi banjir pada kawasan dataran rendah.

2. Penggunaan beton *porous* dapat mengurangi biaya proyek untuk pembuatan kolam retensi, saluran air yang lebih besar atau metode pencegahan banjir lainnya, serta meningkatkan efisiensi penggunaan lahan.
3. Beton *porous* mempunyai absorpsi terhadap bunyi karena gesekan roda dan suara yang lebih baik seiring dengan meningkatnya porositas dan jumlah agregat kecil.
4. Beton *porous* menyerap lebih sedikit panas dibandingkan dengan beton normal maupun aspal, karena mempunyai lebih banyak rongga serta berwarna lebih terang sehingga efek pemanasan lingkungan terutama untuk daerah perkotaan dapat diperkecil.
5. Beton *porous* dapat dengan mudah didaur ulang sehingga menjadikannya sebagai material yang ramah lingkungan.
6. Beton *porous* mempunyai daya tembus air dan udara yang baik, sehingga air dan udara segar masih dalam bersirkulasi di lapisan tanah asli. Hal ini tidak akan mematikan tanaman yang tumbuh disekitarnya.

2.2 Sifat-sifat Beton Segar

Menurut Paul Nugraha dan Antoni (2007), mengatakan bahwa karakteristik beton dapat dilihat dalam hubungannya dengan kualitas yang dituntut untuk tujuan suatu konstruksi tertentu. Pendekatan praktis yang paling baik adalah mengusahakan kesempurnaan semua sifat-sifat beton. Beton yang baik dan bermutu adalah beton yang dapat diaduk, diangkut, dituang, dipadatkan, dan tidak ada kecenderungan untuk terjadi *segregation* (pemisahan kerikil dari adukan) maupun *bleeding* (pemisahan air dari adukan).

2.2.1 Kemudahan Pengerjaan (*Workability*)

Workability adalah salah satu sifat beton yang dikehendaki pada setiap perencanaan adukan beton. Kemudahan pengerjaan beton untuk dicampur, dicor, dan diangkut, dituang dan dipadatkan sesuai dengan tujuan pekerjaannya tanpa mengurangi homogenitas beton. Berikut ini adalah unsur-unsur yang mempengaruhi *workability*.

1. Jumlah Air yang Dicampur
Semakin banyak air yang digunakan maka semakin mudah beton tersebut dikerjakan.
2. Kandungan Semen
Semen mempermudah pengadukan beton, semakin banyak semen maka semakin banyak kebutuhan air yang digunakan dalam campuran beton untuk memperoleh nilai fas (faktor air semen) tetap.
3. Gradasi Campuran Pasir dan Kerikil
Apabila gradasi campuran pasir dan kerikil memenuhi syarat dan sesuai dengan standar maka akan lebih mudah pengerjaannya.
4. Bentuk Agregat Kasar
Agregat kasar yang berbentuk bulat akan lebih mudah untuk dikerjakan.
5. Cara Pemasatan dan Alat Pemasat
Kelecekan/*workability* pada adukan beton dapat diperiksa dengan pengujian *slump* yang didasarkan pada SNI 1972:2008. Percobaan ini menggunakan corong baja yang berbentuk konus berlubang pada kedua ujungnya, yang disebut kerucut Abrams. Bagian atas berdiameter 10 cm, bagian bawah berdiameter 20 cm, dan tinggi 30 cm.

2.2.2 Pemisahan Kerikil (*Segregation*)

Segregation adalah kecenderungan butir-butir kasar untuk lepas dari campuran beton. *Segregation* akan menimbulkan sarang kerikil yang pada akhirnya akan menyebabkan keropos pada beton. *Segregation* ini disebabkan oleh beberapa hal. Pertama, campuran kurus atau kurang semen. Kedua, terlalu banyak air. Ketiga, besar ukuran agregat maksimum lebih dari 40 mm. Keempat, semakin besar permukaan butir agregat, semakin mudah terjadi *segregation*. Kecenderungan terjadinya *segregation* ini dapat dicegah jika:

1. Tinggi jatuh diperpendek.
2. Penggunaan air sesuai dengan syarat.
3. Cukup ruangan antara batang tulangan dengan acuan.
4. Ukuran agregat sesuai dengan syarat.
5. Pemasatan baik.

2.2.3 Pemisahan Air (*Bleeding*)

Bleeding adalah keluarnya air pada permukaan beton sesudah dicampur tetapi belum mengalami pengikatan. Air yang keluar ini membawa semen dan butir-butir halus pasir, yang ada pada saat beton mengeras nantinya akan membentuk lapisan partikel yang lemah dan rapuh yang dapat terbentuk di permukaan beton atau disebut dengan *laitance*. *Bleeding* dipengaruhi oleh:

1. Susunan Butir Agregat

Apabila komposisinya sesuai maka kemungkinan terjadinya *bleeding* kecil.

2. Jumlah Air

Semakin banyak air berarti semakin besar pula kemungkinan terjadinya *bleeding*.

3. Kecepatan Hidrasi

Semakin cepat beton mengeras maka semakin kecil kemungkinan terjadinya *bleeding*.

4. Proses Pemadatan

Pemadatan yang berlebihan akan menyebabkan terjadinya *bleeding*. Adapun beberapa cara untuk mengurangi kemungkinan terjadinya *bleeding* yaitu:

- a. Memberi lebih banyak semen.
- b. Menggunakan air seminimal mungkin.
- c. Menggunakan pasir lebih banyak.
- d. Memasukkan sedikit udara dalam adukan untuk beton khusus.

2.3 Sifat-sifat Beton Keras

Sifat-sifat beton yang mengeras memiliki arti yang penting selama masa pemakaiannya. Perilaku mekanik beton keras merupakan kemampuan beton di dalam memikul beban pada struktur bangunan. Kinerja beton keras yang bermutu baik ditunjukkan oleh kuat tekan beton yang tinggi, kuat tarik yang lebih baik, kekedapan air dan udara, ketahanan terhadap sulfat dan klorida, penyusutan rendah dan keawetan jangka panjang.

2.3.1 Kekuatan Beton

Kekuatan merupakan sifat terpenting dari beton karena berkaitan dengan struktur beton dan memberikan gambaran terhadap mutu beton. Kekuatan beton meliputi kekuatan tekan, kekuatan tarik, dan kekuatan geser. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan beton antara lain.

1. Faktor Air Semen
2. Umur Beton
3. Jenis Semen
4. Jumlah Pasta Semen
5. Perbandingan Campuran Beton
6. Kepadatan
7. Sifat Agregat

2.3.2 Berat Jenis

Beton normal yang dibuat dengan agregat normal (pasir dan kerikil normal berat jenisnya antara 2,5 – 2,7) mempunyai berat jenis sekitar 2,3 – 2,4. Apabila dibuat dengan pasir atau kerikil yang ringan atau diberikan rongga udara maka berat jenis beton dapat kurang dari 2,0. Jenis-jenis beton menurut berat jenisnya dan macam-macam pemakaiannya seperti pada Tabel 2.1 (Tjokrodimuljo, 2007).

Tabel 2.1 Beberapa Jenis Beton Menurut Berat Jenisnya

Jenis beton	Berat jenis	Pemakaian
Beton sangat ringan	< 1,00	Non struktur
Beton ringan	1,00 – 2,00	Struktur ringan
Beton normal (biasa)	2,30 – 2,40	Struktur
Beton berat	> 3,00	Perisai sinar x

2.3.3 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton merupakan kemiringan garis singgung (*slope* dari garis lurus yang ditarik) dari kondisi tegangan nol ke kondisi tegangan 0,45 f'c pada kurva tegangan-regangan beton. Modulus elastisitas beton dipengaruhi oleh jenis agregat, kelembaban benda uji beton, faktor air semen, umur beton dan temperaturnya. Secara umum, peningkatan kuat tekan beton seiring dengan peningkatan modulus elastisitasnya. Menurut SNI 03-2847-2002, hubungan antara

nilai modulus elastisitas beton normal dengan kuat tekan beton adalah :

$$E = 4700\sqrt{f'_c} \quad (2.1)$$

2.3.4 Absorpsi Beton

Absorpsi merupakan salah satu tolak ukur yang dapat dimanfaatkan sebagai pedoman apakah beton nantinya dapat diandalkan atau tidak dari segi keawetannya. Absorpsi pada beton dapat diukur pada saat beton setelah umur 28 hari. Dan pada hidrasi semen dengan derajat yang sama, permeabilitas akan menurun pada faktor air semen yang rendah.

Pada dasarnya absorpsi beton merupakan banyaknya air yang diserap oleh sampel beton. Besar kecilnya penyerapan air oleh beton sangat dipengaruhi oleh pori atau rongga yang terdapat pada beton. Semakin banyak pori-pori yang terkandung dalam beton maka akan semakin besar pula penyerapan sehingga ketahanannya akan berkurang. Rongga (pori) yang terdapat pada beton terjadi karena kurang tepatnya kualitas dan komposisi material penyusunnya. Nilai Absorpsi dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Absorpsi} = \frac{A - B}{B} \quad (2.2)$$

Dimana : A = Berat beton setelah direndam (gr)

B = Berat beton sebelum direndam (gr)

Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya Absorpsi pada beton, antara lain:

1. Faktor Air Semen

Besarnya kadar air yang ada dalam campuran beton ditentukan oleh faktor air semen, bila faktor air semen tinggi, maka kadar air yang ada pada campuran beton juga tinggi dan hal ini dapat mengakibatkan absorpsi beton yang besar juga.

2. Susunan Butir (Gradasi) Agregat

Pada umumnya beton yang menggunakan bahan agregat yang bergradasi baik, mempunyai nilai absorpsi yang relatif lebih kecil bila dibandingkan dengan beton yang menggunakan agregat yang bergradasi kurang baik. Celah-celah yang ada diantara butiran yang lebih besar dapat terisi oleh butiran yang berukuran kecil dan dapat membentuk massa yang padat setelah dicampur dengan semen dan air.

3. Air

Dengan demikian dapat memperkecil kemungkinan terbentuknya rongga-rongga untuk diisi air sisa proses hidrasi.

2.4 Keunggulan Beton

Dari pemakaiannya yang begitu luas maka dapat diduga sejak dini bahwa struktur beton mempunyai banyak keunggulan dibanding materi struktur yang lain. Secara lebih rinci sifatnya demikian:

1. Ketersediaan (*Availability*) Material Dasar
 - a. Agregat dan air pada umumnya bisa didapat dari lokal setempat. Semen pada umumnya juga dapat dibuat di daerah setempat, bila tersedia. Dengan demikian, biaya pembuatan relatif lebih murah karena semua bahan bisa didapat di dalam negeri, bahkan bisa setempat. Bahan termahal adalah semen, yang bisa diproduksi di dalam negeri.
 - b. Tidak demikian halnya dengan struktur baja, karena harus dibuat di pabrik, apalagi kalau masih harus impor. Pengangkutan menjadi masalah tersendiri bila proyek berada di tempat yang sulit untuk dijangkau, sementara beton akan lebih mudah karena masing-masing material bisa diangkut sendiri.
 - c. Ada masalah lain dengan struktur kayu. Meski problemnya tidak seberat struktur baja, namun penggunaannya secara massal akan menyebabkan masalah lingkungan, sebagai salah satu penyebab utama kerusakan hutan.
2. Keserbagunaan (*Versatility*)
 - a. Pengangkutan bahan mudah, karena masing-masing bisa diangkut secara terpisah.
 - b. Beton dapat dipakai untuk berbagai struktur, seperti bendungan, pondasi, jalan, landasan bandar udara, pipa, perlindungan dan radiasi, insulator panas. Beton ringan dapat dipakai untuk blok dan panel. Beton arsitektural dapat dipakai untuk keperluan dekoratif.
3. Kemampuan Beradaptasi (*Adaptability*)

- a. Beton bersifat monolit sehingga tidak memerlukan sambungan seperti baja.
 - b. Beton dapat dicetak dengan bentuk dan ukuran berapapun.
 - c. Beton dapat diproduksi dengan berbagai cara yang disesuaikan dengan situasi sekitar. Dari cara sederhana yang tidak memerlukan ahli khusus (kecuali beberapa pengawas yang sudah mempelajari teknologi beton), sampai alat modern di pabrik yang serba otomatis. Metode produksi modern memungkinkan industri beton yang profesional.
 - d. Konsumsi energi minimal per kapasitas jauh lebih rendah dari baja, bahkan lebih rendah dari proses pembuatan batu bata.
4. Kebutuhan Pemeliharaan yang Minimal
- Secara umum ketahanan beton cukup tinggi, lebih tahan karat, sehingga tidak perlu dicat seperti struktur baja, dan lebih tahan terhadap bahaya kebakaran.

2.5 Kelemahan Beton dan Cara Mengatasinya

Tidak hanya memiliki keunggulan, beton juga memiliki beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan antara lain yaitu:

1. Kekuatan tariknya rendah
2. Beton cenderung mengalami keretakan.
3. Kualitasnya sangat tergantung oleh cara pengerjaannya di lapangan. Beton yang baik maupun buruk dapat terbentuk dari rumus dan campuran yang sama.
4. Struktur beton sulit untuk dipindahkan. Pemakaian kembali atau daur ulang sulit dan tidak ekonomis. Dalam hal ini struktur baja lebih unggul. Misalnya tinggal melepas sambungannya saja.

Beberapa kelemahan beton yang telah diuraikan di atas dapat diatasi dengan berbagai cara. Berikut adalah cara yang dapat digunakan untuk mengatasi hal tersebut yaitu:

1. Menggunakan beton bertulang atau beton pratekan untuk memperoleh kuat tarik yang lebih tinggi.

2. Melakukan perawatan (*curing*) yang baik untuk mencegah terjadinya keretakan, memakai beton pratekan, atau memakai bahan tambahan yang mengembang (*expansive admixture*).
3. Mempelajari teknologi beton, melakukan pengawasan dan control kualitas yang baik. Bila perlu bisa memakai beton jadi (*ready mix*) atau beton pracetak.
4. Beberapa elemen struktur dibuat pracetak (*precast*) sehingga dapat dilepas per elemen seperti baja. Kemungkinan untuk melakukan beton *recycle* (daur ulang) sedang dioptimalkan.

2.6 Beton Porous

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. Beton *porous* tersusun atas agregat kasar yang diselimuti dengan lapisan pasta semen tipis sekitar 1,3 mm (Neville & Brooks, 2010).

Berdasarkan ACI 522R-10 2010 *mix design* untuk *pervious concrete* terdiri dari: semen (270 - 415 kg), agregat (1190 - 1480 kg), faktor air semen (0,27 – 0,34), perbandingan berat pasir dan kerikil (0 sampai 1 : 1). Menggunakan *chemical admixtures*. Penambahan pasir akan menurunkan kadar pori dan meningkatkan kuat tekan.

Berat jenis beton non pasir umumnya sekitar 70% dari beton konvensional jika dibuat dengan bahan yang sama. Berat jenis beton non pasir yang menggunakan agregat konvensional bervariasi dari 1602 sampai 1922 kg/m³. Agregat klinker telah diuji coba dan beton non pasir menghasilkan berat jenis 961 kg/m³ (Harber, P., J., 2005).

2.7 Kelebihan dan Kekurangan Beton Porous

2.7.1 Kelebihan Beton Porous

Berikut adalah kelebihan yang dimiliki beton *porous*:

1. Ramah Lingkungan

Dikatakan ramah lingkungan karena dapat meloloskan air. Dengan menggunakan beton *porous*, air tetap dapat meresap ke dalam tanah sehingga tidak menimbulkan banjir saat terjadi hujan deras.

2. Kebutuhan Semen Berkurang

Beton *porous* dibuat dengan sedikit atau tanpa agregat halus. Semakin sedikit pasir atau agregat halus maka semakin sedikit kebutuhan semen yang diperlukan.

3. Bobot Ringan

Dengan mengurangi atau bahkan menghilangkan elemen pasir dalam beton, bobot beton jelas akan menjadi lebih ringan.

4. Susutnya yang Hanya Sedikit

Resiko retak yang dapat dialami beton berpori jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan beton normal karena penyusutannya yang hanya sedikit dan cepat.

5. Cara Pembuatannya Sederhana

Tidak perlu memperhitungkan seberapa banyak agregat halus yang perlu ditambahkan. Oleh karena itu, pembuatan beton berpori menjadi jauh lebih sederhana dan cepat dibandingkan beton biasa.

6. Tahan Panas

Dibandingkan dengan bata merah beton *porous* cenderung lebih tahan panas.

7. Peredam Suara yang Baik

Dengan menggunakan beton *porous* efek berisik dapat lebih terminimalisir ketika kendaraan melintas.

2.7.2 Kekurangan Beton *Porous*

Berikut adalah kekurangan yang dimiliki beton *porous*:

1. Kuat Tekan Rendah

Karena bobot ringan maka kuat tekan beton *porous* sangat rendah sehingga aplikasi sangat terbatas.

2. *porous*

Karakteristik beton *porous* atau berpori yang dapat meloloskan air akan membuat umur beton jenis ini lebih singkat. Karena adanya pori pada

beton membuat udara dan air dapat masuk dengan leluasa, membuat tulangan beton lebih mudah berkarat.

2.8 Bahan Penyusun Beton *Porous*

2.8.1 Semen *Portland*

Semen *portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghasilkan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (PUBI-1982). Semen *Portland* merupakan bahan ikat yang penting dan banyak dipakai dalam pembangunan. Perbedaan antara kapur dan semen *portland* yaitu :

1. Kapur biasanya berwarna putih.
2. Bila dicampur air semen *portland* akan mengalami proses ikatan sekitar 30 menit dan mencapai kekuatan yang cukup besar dalam kurun waktu 1 – 2 hari, sedangkan kapur memerlukan waktu lebih lama dalam proses pengikatan dan pengerasannya.
3. Semen lebih kuat dari kapur.
4. Semen *portland* melindungi besi atau baja dari karat sedangkan kapur tidak.

Pembuat semen *portland* pertama adalah Joseph Aspidin pada tahun 1824. Dinamakan “*Portland Cement*” karena berbentuk bubuk yang dicampuri air, pasir dan batu-batuan yang ada di Inggris tepatnya di pulau *Portland*. Semen *portland* diproduksi di pabrik pertama kali oleh David Saylor di kota Coplay, Pennsylvania (AS) pada tahun 1875.

Bahan dasar pembuatan semen *portland* dapat dibagi menjadi 3 yaitu kapur, silika, dan alumina. Ketiga bahan dasar tersebut dicampur dan dibakar dengan suhu 155°C dan menjadi klinker (bahan padat yang diproduksi dalam pembuatan semen *portland*). Kemudian dikeluarkan dan dihaluskan sampai halus seperti bubuk. Setelah itu biasanya ditambahkan gypsum sekitar 2% - 4% sebagai bahan pengontrol waktu ikatan. Terkadang ditambahkan bahan lain untuk membentuk semen yang cepat mengeras lalu setelah itu dimasukkan ke dalam kantong. Semen *portland* harus memenuhi persyaratan fisika sebagai berikut.

1. **Kehalusan Butir**
Sisa di atas ayakan 0,09 mm maksimum 10% berat.
2. **Waktu Pengikatan**
Awal, minimum 60 menit. Akhir, maksimum 8 jam. Adukan beton dapat bercampur dengan baik, diangkut dengan mudah dan dapat dicetak tanpa keropos.

2.8.2 Agregat

Butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton disebut agregat. Campuran beton biasanya mengandung sekitar 60% sampai 70% dari berat campuran beton tersebut. Pemilihan agregat sangat penting dalam pembuatan beton karena akan sangat berpengaruh pada sifat-sifat betonnya.

Jenis agregat dapat dibedakan berdasarkan ukuran butirnya. Agregat halus butirannya kecil, sedangkan agregat kasar butirannya besar. Belum ada nilai pasti dalam mengklasifikasikan ukuran butiran kasar dan halus, tapi dalam bidang teknologi beton agregat halus memiliki butiran yang lebih kecil dari 4,8 mm sedangkan agregat kasar memiliki butiran yang lebih besar dari 4,8 mm. Agregat kasar biasa disebut sebagai kerikil, batu pecah, atau split dan agregat halus biasa disebut pasir. Menurut Tjokrodinuljo (2007) dalam praktek agregat umumnya digolongkan menjadi 3 kelompok, yaitu:

1. Batu, untuk besar butiran lebih dari 40 mm.
2. Kerikil untuk butiran antara 5 mm dan 40 mm.
3. Pasir untuk butiran antara 0,15 mm dan 5 mm.

Agregat dapat berupa agregat alami dan agregat buatan. Agregat alami yaitu agregat yang diperoleh dari sumber daya alam sedangkan agregat buatan dapat diperoleh dengan cara memecah batu alam, membakar tanah liat, dan lainnya. Agregat buatan biasa digunakan ketika agregat alam jauh dari lokasi pekerjaan.

2.8.2.1 Gradasi Agregat

Gradasi atau distribusi ukuran butir agregat dapat mempengaruhi kuat tekan beton. Butir agregat yang memiliki ukuran yang sama maka dapat menghasilkan beton dengan volume pori yang besar sedangkan butir agregat dengan ukuran yang bervariasi akan menghasilkan beton yang volume porinya kecil. Butiran agregat

yang kecil akan mengisi ruang atau kekosongan diantara butiran yang lebih besar, sehingga porinya akan lebih kecil dan sedikit. Batas-batas gradasi agregat kasar seperti pada Tabel 2.2 (Tjokrodimuljo, 2007).

Tabel 2.2 Batas Gradasi Agregat Kasar

Lubang (mm)	Persen Berat Butir yang Lewat Ayakan, Besar Butir Maksimum	
	40 mm	20 mm
40	95 – 100	100
20	30 – 70	95 – 100
10	10 – 35	25 – 55
4,8	0 – 5	0 – 10

2.8.2.2 Modulus Halus Butir

Setiap agregat memiliki tingkat kehalusan atau kekasaran. Suatu indeks yang digunakan untuk mengukur tingkat kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat disebut modulus halus butir (*finnes modulus*) biasa disingkat dengan MHB. Modulus halus butir (MHB) ini dapat didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif dari agregat yang tertinggal di atas satu set ayakan yang kemudian nilai tersebut dibagi seratus. Susunan ukuran lubang ayakan itu adalah 38; 19; 9,6; 4,8; 2,4; 1,2; 0,6; 0,3 dan 0,15 (dalam satuan mm).

Makin besar nilai modulus halus butir (MHB) maka semakin besar ukuran butiran agregatnya. Pada umumnya agregat halus mempunyai nilai MHB antara 1,5 – 3,8 sedangkan nilai MHB agregat kasar biasanya 5 – 8. Berikut ini adalah contoh data dari hasil analisis ayakan agregat kasar dan cara menghitung modulus butir halus pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4 (Mulyono, 2019).

Tabel 2.3 Contoh Data Hasil Analisis Ayak

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal Agregat Kasar (gram)	Berat Tertinggal Agregat Halus (gram)
38	0	0
19	0	0
9,6	640	0
4,8	270	50
2,4	90	75
1,2	0	190
0,6	0	220

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal Agregat Kasar (gram)	Berat Tertinggal Agregat Halus (gram)
0,3	0	290
0,15	0	155
Sisa	0	20
	1000 gr	1000 gr

Tabel 2.4 Contoh Hitungan MHB Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal		
	(gram)	(persen)	Kumulatif (%)
38	0	0	0
19	0	0	0
9,6	640	64	64
4,8	270	27	91
2,4	90	9	100
1,2	0	0	100
0,6	0	0	100
0,3	0	0	100
0,15	0	0	100
Sisa	0	0	-
	1000 gram	100%	655

Berat tertinggal (%) = $[\text{Berat tertinggal (gram)} / \sum \text{Berat tertinggal (gram)}] \times 100\%$

Contoh (Lubang ayakan 9,6 mm) : $(640/1000) \times 100\% = 64\%$

Berat tertinggal kumulatif :

(Lubang ayakan 38 mm) = 0

(Lubang ayakan 19 mm) = 0 + 0 = 0

(Lubang ayakan 9,6 mm) = 64 + 0 = 64

(Lubang ayakan 4,8 mm) = 27 + 64 = 91

(Lubang ayakan 2,4 mm) = 9 + 91 = 100

(Lubang ayakan 1,2 mm) = 100 + 0 = 100, dan seterusnya.

Modulus Halus Butir (MHB) = $\sum \text{Berat kumulatif} / 100 = 655 / 100 = 6,55$.

2.8.3 Air

Air digunakan sebagai bahan dasar pada campuran beton untuk memicu proses kimiawi pada semen dan menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat

agar mudah dikerjakan. Air yang dapat diminum pada umumnya dapat digunakan sebagai bahan campuran pada beton..

Menurut 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.

2.9 Pengujian Beton

2.9.1 Uji Kuat Tekan Beton

Pengertian kuat tekan beton adalah kemampuan dari beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton adalah salah satu kinerja utama dari beton maka sifat ini menjadi sifat yang terpenting didalam kualitas beton dibanding dengan sifat-sifat lain. Sebelum dilakukan pengujian kuat tekan, benda uji ditimbang terlebih dahulu beratnya. Berikut ini adalah rumus yang digunakan untuk menghitung kuat tekan beton:

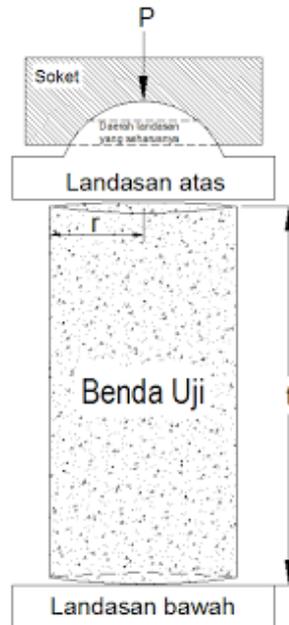
$$f'c = \frac{P}{A} \quad (2.3)$$

Dimana : f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

P = Gaya tekan aksial (N)

A = Luas penampang melintang benda uji (mm^2)

Uji kuat tekan beton dilakukan menggunakan mesin *compression testing machine*. Sketsa contoh uji kuat tekan beton seperti pada Gambar 2.2 berikut ini.



Gambar 2.1 Sketsa Contoh Uji Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dapat menggunakan beberapa macam bentuk benda uji. Setiap bentuk benda uji memiliki faktor bentuk yang berbeda. Berikut adalah nilai perbandingan kuat tekan beton atau faktor bentuk pada berbagai bentuk benda uji seperti pada Tabel 2.5 (PBI-1971)

Tabel 2.5 Perbandingan Kuat Tekan Beton pada Berbagai Bentuk Benda Uji

Benda Uji	Perbandingan Kuat Tekan
Kubus 15 x 15 x 15 cm	1,00
Kubus 20 x 20 x 20 cm	0,95
Silinder 15 x 30 cm	0,83

Bertambahnya umur beton akan meningkatkan kuat tekan beton tersebut (umur dihitung sejak beton dicetak). Laju kenaikan kuat tekan beton awalnya cepat, semakin lama laju kenaikan tersebut akan semakin lambat. Setelah beton berumur 28 hari laju kenaikan kuat tekannya menjadi sangat kecil dan secara umum dianggap tidak naik lagi, sehingga sebagai standar kuat tekan beton ialah kuat tekan

beton pada umur 28 hari. Berikut adalah perbandingan kuat tekan beton pada berbagai umur seperti pada Tabel 2.6 (PBI-1971)

Tabel 2.6 Perbandingan Kuat Tekan Beton di Berbagai Umur

Umur Beton (hari)	3	7	14	21	28	365
Semen <i>Portland</i> Biasa	0,40	0,65	0,88	0,95	1	1,35
Semen <i>Portland</i> dengan kekuatan awal yang tinggi	0,55	0,75	0,90	0,95	1	1,20

Perbandingan air dengan semen atau biasa disebut dengan fas (faktor air semen) merupakan hal yang penting dalam pembuatan beton. Hubungan antara faktor air semen dan kuat tekan beton secara umum dapat ditulis dalam persamaan sebagai berikut:

$$f'c = \frac{A}{B^{1,5X}} \quad (2.4)$$

Dimana : $f'c$ = Kuat tekan beton

X = Faktor air semen

A dan B = Konstanta

2.9.2 Uji Laju Infiltrasi Beton

Beton *porous* memiliki kemampuan untuk dilalui air melalui pori-porinya. Kemampuan ini disebut laju infiltrasi. Uji infiltrasi ini dilakukan untuk menentukan berapa kadar air yang lolos dari permukaan beton dengan satuan mm/jam. Alat yang digunakan berupa cincin dengan ukuran 12 inchi, cincin ini ditempelkan ke permukaan beton dengan alat perekat supaya air yang akan dialiri tidak keluar dari samping bawah cincin

Laju infiltrasi dapat dihitung dengan rumus:

$$I = \frac{K \cdot M}{D^2 \cdot t} \quad (2.5)$$

Dimana :

I = laju infiltrasi (mm/jam)

D = Diameter cincin (mm)

K = Konstanta (4583666000)

t = Waktu infiltrasi (s)

M = Massa Air (kg)

2.10 Superplasticizer

Superplasticizer merupakan salah satu admixture tambahan yang digunakan dalam pembuatan beton mutu tinggi. *Superplasticizer* memiliki sifat-sifat antara lain menghilangkan gaya permukaan pada partikel semen sehingga lebih menyebar, melepaskan air yang terikat pada kelompok partikel semen untuk menghasilkan daya ikat antar partikel yang lebih kuat. Penggunaan *superplasticizer* mampu meningkatkan *flowability* dari campuran beton tanpa harus mengubah kebutuhan *water content* dari campuran tersebut. Tetapi hal ini perlu disertai penggunaan dosis *superplasticizer* yang tepat, karena bila berlebihan terutama saat keadaan *water content* yang tinggi justru dapat menyebabkan terjadinya ketidakteraturan campuran beton dan akhirnya mengarah ke *segregation*.

Penggunaan *superplasticizer* juga memiliki kekurangan yaitu kehilangan *slump* yang relatif cepat, sehingga walaupun *workability* meningkat cukup besar, waktu pengerjaannya menjadi lebih singkat. Dalam waktu sekitar satu jam setelah penambahan *superplasticizer*, *workability*-nya akan relatif hilang karena *slump loss* (kehilangan *slump*) yang sangat cepat. Tipe dan merk *superplasticizer* yang berada di pasaran sangat beragam. Ada 2 tipe *superplasticizer* yang saat ini ada di pasaran yaitu tipe *sulfonated naphthalene-formaldehyde condensate* (SNF) dan *polycarboxylate ether* (PCE). *Polycarboxylate ether* merupakan jenis *superplasticizer* yang terbaru. Namun setiap *superplasticizer* tipe *polycarboxylate ether* yang ada di pasaran memiliki komposisi yang berbeda-beda sehingga untuk menghasilkan mortar dengan kualitas yang tinggi tentu ada perbedaan komposisi dan dosis *superplasticizer* tipe *polycarboxylate ether* antara yang satu dengan yang lain. Untuk mencapai kelecakan beton yang diinginkan, pengguna *superplasticizer* harus tahu dosis yang tepat. Selain itu, kelecakan campuran beton juga dipengaruhi faktor lain seperti faktor material dan faktor lingkungan. Faktor material yang dapat mempengaruhi antara lain tipe semen, merk semen, hari pengambilan semen yang dipakai, dan tambahan *cementitious* material seperti *fly ash*, *silica fume*, dan *blast furnace slag* sedangkan faktor lingkungan dipengaruhi suhu. Pada penelitian ini, penulis ingin menganalisis pengaruh penambahan *superplasticizer naphthalene* 0,4%, 0,8%, dan 1,2% pada beton *porous* f'c 17 MPa.

2.11 Perawatan Beton

Perawatan beton dilakukan setelah beton mengeras. Perawatan ini dilakukan agar proses hidrasi selanjutnya tidak mengalami gangguan. Jika hal ini terjadi, beton akan mengalami keretakan karena kehilangan air yang begitu cepat (Mulyono, 2019).

Jumlah air di dalam beton cair sebetulnya sudah lebih dari cukup untuk menyelesaikan reaksi hidrasi. Namun sebagian air hilang menguap sehingga hidrasi selanjutnya terganggu. Karena hidrasi relatif cepat pada hari-hari pertama, perawatan paling penting adalah pada umur mudanya. Kehilangan air yang cepat juga menyebabkan beton menyusut, terjadi tegangan tarik pada beton yang sedang mengering sehingga dapat menimbulkan retak (Antoni, 2008).

2.11.1 Tujuan Perawatan Beton

Beton yang telah dibuat menjadi struktur harus dirawat selama usia strukturnya. Tindakan perawatan ini dimaksudkan untuk menjamin tercapainya usia ekonomi struktur tersebut, dan salah satu sifat yang penting dari beton adalah keawetannya, yakni mampu menahan pengaruh kimia dan fisika serta mekanis (*ducility*). Keawetan beton yang baik didapatkan jika perencanaan, pelaksanaan dan terutama pada perawatan dilakukan dengan baik.

2.11.2 Metode Perawatan Beton

Perawatan pada beton dimaksudkan untuk menghindari panas hidrasi yang tidak diinginkan yang terutama disebabkan oleh suhu, serta perawatan yang baik terhadap beton akan memperbaiki berbagai segi kualitas beton tersebut.

Menurut F.X. Supartono (1997) terdapat beberapa cara perawatan beton yang sering digunakan pada proses pengerasan adalah sebagai berikut:

1. Perawatan dengan Air

Cara ini yang paling banyak digunakan dan mutu air yang digunakan harus bebas dari bahan-bahan yang agresif terhadap beton. Beberapa macam cara perawatan beton dengan menggunakan air, sebagai berikut:

- a. Penyemprotan dengan menggunakan air.
- b. Perendaman dalam air.
- c. Penumpukan Jerami basah
- d. Pelapisan tanah atau pasir basah.

- e. Penyelimutan dengan kain atau karung basah.
2. Perawatan dengan Penguapan
Cara ini banyak digunakan dengan tujuan untuk mendapatkan kuat tekan awal yang tinggi pada elemen-elemen beton pracetak, seperti pada fabrikasi tiang pancang beton pratekan.
3. Perawatan dengan Perawatan Tekanan Tinggi
Cara ini juga dikenal sebagai *high pressure steam curing*, banyak digunakan untuk perawatan elemen beton ringan. Cara ini digunakan sering kali dengan tujuan untuk mengurangi resiko terjadinya retak susut elemen beton dan sekaligus meningkatkan kemampuan ketahanan terhadap *sulfat*.
4. Perawatan dengan Isolasi Permukaan Beton
Cara perawatan dengan menggunakan lapisan yang rapat untuk menutupi permukaan beton biasa merupakan solusi yang baik, karena cara ini bisa menghambat proses penguapan air pori dari dalam beton, disamping juga bisa mengurangi resiko timbulnya perbedaan temperatur yang menyolok antara bagian dalam beton dengan bagian luar beton. Beberapa material yang biasa digunakan untuk keperluan perawatan ini antara lain:
 - a. Lapisan pasir kering.
 - b. Lembaran plastik.
 - c. Kertas berserat, yang dilapisi dengan *adhesive bituminous*.
5. Tanpa Perawatan (Diluar Ruangan)
Seringnya dijumpai dilapangan konstruksi setelah dilakukan pengecoran, banyak sekali dijumpai dilapangan mengabaikan perawatan pada bangunan ruko-ruko atau bangunan lainnya.

2.12 Penelitian Terdahulu

2.12.1 Penelitian Romario, Steve, Jemmy, Arthur (2019)

Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi karakteristik beton berpori berdasarkan pengujian kekuatan tekan dan permeabilitas beton dengan variasi campuran komposisi semen : agregat = 1 : 2, 1 : 4, dan 1 : 6 dan fas (faktor air semen) = 0,3. Dari komposisi campuran yang menghasilkan kuat tekan tertinggi

pada 7 hari, dilakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan bahan tambah *superplasticizer* untuk pengujian kuat tekan umur beton 7, 14, dan 28 hari serta pengujian porositas pada umur 7 dan 28 hari. Pengujian laju infiltrasi juga dilakukan berdasarkan standard ASTM C1701-2013 untuk mengevaluasi tingkat permeabilitas beton berpori dengan dan tanpa menggunakan *superplasticizer*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan optimum beton berpori pada umur 7 hari dihasilkan oleh campuran semen : agregat = 1 : 2 dengan nilai sebesar 5,67 MPa. Penambahan *superplasticizer* sebesar 0,5% dari berat semen pada komposisi campuran ini menghasilkan nilai kuat tekan beton berpori berturut-turut sebesar 8,51 MPa, 10,92 MPa dan dan 13,47 MPa pada umur beton 7, 14 dan 28 hari. Penggunaan *superplasticizer* pada komposisi yang tepat disimpulkan memiliki pengaruh dalam meningkatkan ikatan antara agregat dan pasta semen sehingga memperbaiki karakteristik kuat tekan beton berpori dan tingkat permeabilitasnya (Pandei et al., 2019)

2.12.2 Penelitian Edi Kurniawan dan Lava Himawan (2019)

Penelitian beton non-pasir ini menggunakan agregat kasar dari hasil mesin pemecah batu dengan ukuran agregat kasar (5 - 10)mm, rasio semen:agregat yang digunakan 1 : 2; 1 : 3; 1 : 4; 1 : 5; 1 : 6; 1 : 7; dan 1 : 8. Penelitian diawali dengan pemeriksaan bahan, perencanaan kebutuhan bahan, pembuatan beton non-pasir kemudian dilakukan pengujian kuat tekan dan pengujian infiltrasi. Benda uji yang di pakai berupa silinder beton diameter 150mm dan tinggi 300mm digunakan untuk pengujian kuat tekan. Benda uji berupa plat beton ukuran 400mm x 400mm x 150mm digunakan untuk pengujian infiltrasi. Pengujian kuat tekan dilakukan terhadap benda uji setelah 7,14 dan 28 hari. Sedangkan pengujian infiltrasi dilakukan pada umur 28 hari. Hasil menunjukkan bahwa kuat tekan beton non pasir dengan variasi perbandingan campuran semen kerikil 1 : 2 sebesar 33,19 MPa sedangkan untuk campuran 1 : 8 sebesar 5,23 MPa. Laju infiltrasi beton non pasir mengalami peningkatan seiring dengan semakin besar variasi perbandingan campuran. Laju infiltrasi paling besar terjadi pada campuran 1 : 8 sebesar 9,44 mm/det. Laju infiltrasi yang besar pada beton non pasir dapat digunakan untuk mempercepat penyerapan air ke dalam tanah dan dapat berfungsi untuk mengurangi genangan air di permukaan halaman.

Tabel 2.7 Persamaan dan Perbedaan Penelitian

No.	Nama	Judul	Persamaan	Perbedaan
1	Yulia Wahyuning Tyas	Pengaruh Variasi Persentase <i>Superplasticizer</i> terhadap Sifat Mekanik dan Porositas Beton Berpori	Menggunakan bahan tambah dari bahan yang sama (<i>superplasticizer</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Variasi persentase penambahan berbeda 0,3%, 0,6%, dan 0,8% - Pengujian kuat tekan hanya pada umur 7 dan 28 hari - Pengujian meliputi kuat tekan, kuat tarik belah, dan laju alir
2	Muhammad Dzikri	Pengaruh Penambahan <i>Superplasticizer</i> Pada Beton dengan Limbah Tembaga (<i>Copper Slag</i>) Terhadap Kuat Tekan Beton Sesuai Umurnya	Menggunakan bahan tambah dari bahan yang sama (<i>superplasticizer</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Variasi persentase penambahan berbeda 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% - Dimensi benda uji menggunakan silinder berdiameter 10 cm dan tinggi 20 cm
3	Romario	Studi Eksperimen Pengaruh Pemanfaatan <i>Superplasticizer</i> Terhadap Kuat Tekan dan Permeabilitas Brton Berpori (<i>Pervious Concrete</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Menggunakan salah satu bahan tambah yang sama (<i>superplasticizer</i>) - Pengujian kuat tekan pada umur 7, 14, dan 28 hari 	<ul style="list-style-type: none"> - Menggunakan variasi campuran semen dan agregat - Dimensi benda uji menggunakan silinder berdiameter 10 cm dan tinggi 20 cm