

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton adalah campuran yang terdiri dari semen Portland atau semen hidrolis yang lain, agregat kasar, agregat halus dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya (*admixture*) (SNI 2847-2019). Campuran tersebut apabila dibiarkan akan bereaksi mengalami pengerasan yang disebabkan oleh reaksi kimia dari bahan penyusunnya yaitu semen dan air yang berlangsung dalam jangka waktu panjang atau dengan kata lain beton akan bertambah keras seiring dengan umur beton, beton akan mencapai kekuatan rencana atau kuat tekan maksimum pada umur 28 hari. Air dan semen yang bercampur akan membentuk pasta yang disebut pasta semen. Pasta semen berfungsi mengisi pori-pori di antara butiran-butiran agregat halus serta bersifat sebagai perekat atau pengikat dalam proses pengerasan, sehingga butiran-butiran agregat saling merekat kuat dan membentuk suatu massa yang kompak atau padat (Tjokrodinuljo, 2007).

Berdasarkan pemakaian beton yang begitu luas dapat disimpulkan sejak dini bahwa beton memiliki keunggulan dibandingkan material struktur lainnya. Berikut ini merupakan keunggulan penggunaan beton (Nugraha & Antoni, 2007):

1. Ketersediaan (*availability*) material dasar
 - a. Biaya pembuatan beton relatif lebih murah karena ketersediaan material yang banyak serta mudah didapatkan bahkan tersedia di daerah setempat. Bahan termahal dalam pembuatan beton yaitu semen tetapi sudah dapat diproduksi di Indonesia
 - b. Kemudahan pengangkutan atau mobilisasi beton dapat dilakukan dengan mudah
2. Kemudahan digunakan (*versatility*)
 - a. Kemudahan dalam pengangkutan material karena material dapat diangkut secara terpisah

- b. Beton dapat digunakan untuk berbagai struktur seperti fondasi, landasan bandar udara jalan dan pelindung dari radiasi. Beton ringan dapat digunakan sebagai blok dan panel. Beton arsitektural dapat digunakan untuk keperluan dekoratif
 - c. Beton bertulang dapat digunakan untuk berbagai struktur yang lebih berat
3. Kemampuan beradaptasi (*adaptability*)
- a. Beton memiliki sifat monolit sehingga tidak memerlukan sambungan seperti baja
 - b. Beton dapat dicetak fleksibel artinya beton dapat dicetak dengan bentuk dan ukuran berapa pun
 - c. Beton dapat diproduksi menyesuaikan dengan situasi yang ada di sekitar
 - d. Konsumsi energi minimal per kapasitas jauh lebih rendah dibandingkan baja, bahkan jauh lebih rendah dibandingkan dengan pembuatan batu bata

4. Kebutuhan pemeliharaan yang minimal

Beton secara umum memiliki ketahanan (*durability*) yang tinggi, lebih tahan terhadap bahaya kebakaran, serta tahan karat sehingga tidak perlu dicat seperti struktur baja

Adapun kelemahan beton diantaranya (Nugraha & Antoni, 2007):

1. Berat sendiri beton yang besar, sekitar 2400 kg/m^3 . Cara mengatasi kelemahan ini yaitu untuk elemen struktural dapat menggunakan beton mutu tinggi, beton pratekan atau keduanya, sedangkan untuk elemen non-struktural dapat menggunakan beton ringan
2. Kekuatan tariknya rendah, meskipun kekuatan tekannya besar. Cara mengatasi kelemahan ini adalah dengan menggunakan beton bertulang atau pratekan
3. Kualitas beton sangat tergantung pelaksanaan di lapangan. Dengan rumus dan campuran yang sama dapat menghasilkan beton yang baik ataupun buruk. Cara mengatasi kelemahan ini adalah dengan melakukan pengawasan dan control kualitas beton yang baik dan apabila

memungkinkan dapat menggunakan beton jadi (*ready mix*) atau beton pracetak.

4. Struktur beton sulit untuk dipindahkan serta pemakaian kembali atau daur tidak ekonomis. Cara mengatasi kelemahan ini adalah dengan menggunakan beton pracetak sehingga dapat dilepas per elemen. Kemungkinan untuk melakukan beton *recycle* dapat dioptimalisasikan
5. Beton cenderung retak, karena semennya hidraulis. Cara mengatasi kelemahan ini adalah dengan melakukan perawatan (*curing*) yang baik untuk mencegah terjadinya retak, memakai beton pratekan, atau memakai bahan tambahan yang mengembang (*expansive admixture*)

Umumnya beton diklasifikasikan berdasarkan berat jenis dan kuat tekannya. Berdasarkan berat jenisnya beton dibagi menjadi beton ringan, beton normal dan beton berat. Beton ringan merupakan beton yang memiliki berat jenis di bawah 1800 kg/m^3 , beton normal merupakan beton yang memiliki berat jenis 2400 kg/m^3 , dan beton berat merupakan beton yang memiliki berat jenis di atas 3200 kg/m^3 .

Berdasarkan kuat tekannya beton dibagi menjadi beton mutu rendah, beton mutu sedang dan beton mutu tinggi. Beton mutu rendah merupakan beton yang memiliki kuat tekan kurang dari 20 MPa yang biasanya digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan dan sebagai lantai kerja. Beton mutu sedang merupakan beton yang memiliki kuat tekan antara 20 sampai 45 MPa biasanya digunakan untuk beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar beton bertulang diafragma non pratekan kereb beton pracetak serta gorong-gorong beton bertulang. Sedangkan beton mutu tinggi merupakan beton yang memiliki kuat tekan di atas 45 MPa yang biasanya digunakan untuk beton pratekan seperti tiang pancang beton pratekan, gelagar beton pratekan, Mutu beton dan penggunaannya dapat dilihat pada tabel2.:

Tabel 2. 1 Mutu Beton dan Penggunaannya

Jenis Beton	$f'c$ (MPa)	Uraian
Mutu tinggi	$f'c \geq 45$	Umumnya digunakan untuk beton pratekan seperti tiang pancang beton pratekan, gelagar beton pratekan,

Jenis Beton	$f'c$ (MPa)	Uraian
		pelat beton pratekan, diafragma pratekan, dan sejenisnya.
Mutu sedang	$20 \leq f'c \leq 45$	Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma non pratekan, kereb beton pracetak, gorong-gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan, perkerasan beton semen.
Mutu rendah	$15 \leq f'c \leq 20$	Umumnya digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti beton siklop, dan trotoar
	$f'c \leq 15$	Digunakan sebagai lantai kerja, penimbunan kembali dengan beton

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

2.1.1 Karakteristik Beton

Beton terbentuk dari pencampuran air, semen, agregat halus, dan agregat kasar memiliki sifat khusus. Pada kondisi segar, beton harus mudah dikerjakan serta dalam keadaan keras beton harus kuat dalam menahan beban tekan serta tahan lama dalam menghadapi kondisi lingkungan. Tidak hanya itu beton juga dapat dirancang sesuai dengan

Beton yang baik harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Memiliki bahan pengisi yang baik, yaitu memiliki kekerasan agregat yang baik serta gradasi agregat yang beragam
2. Memiliki bahan perekat yang baik, yaitu dengan kualitas serta kuantitas semen yang baik dan pengaturan jumlah air yang tepat
3. Memiliki lekatan antara matriks dan agregat yang baik, hal ini dipengaruhi oleh tingkat kekasaran permukaan serta kebersihan material alam yang digunakan

Secara detail sifat beton dapat diuraikan menjadi dua yaitu sifat beton dalam keadaan segar atau sesaat setelah beton dicampurkan serta sifat beton dalam keadaan keras.

2.1.1.1 Sifat Beton Segar

1. Keleccakan (*workability*)

Keleccakan dapat diartikan sebagai kemudahan dalam pengerjaan beton, dimana tidak ada dampak negatif yang ditimbulkan berupa pemisahan agregat dan pemisahan air pada saat penuangan dan pemadatan. Sifat ini menunjukkan tingkat kemudahan adukan dapat dikerjakan, diangkut, dituang dan dipadatkan. Faktor yang mempengaruhi sifat kemudahan dan pengerjaan beton segar adalah perbandingan bahan dan sifatnya. Unsur yang mempengaruhi sifat keleccakan atau kemudahan pengerjaan antara lain:

- a. Jumlah air, semakin banyak air yang digunakan, semakin mudah beton segar untuk dikerjakan
- b. Kandungan semen, semakin banyak semen yang digunakan, semakin banyak air yang dibutuhkan untuk menjaga nilai faktor air semen tetap
- c. Gradasi campuran pasir dan kerikil, apabila campuran pasir dan kerikil telah memenuhi syarat yang sesuai dengan standar, maka semakin mudah beton segar dikerjakan
- d. Bentuk butiran agregat, agregat yang memiliki bentuk bulat lebih mudah dikerjakan
- e. Butir maksimum, kerikil yang digunakan mempengaruhi tingkat kemudahan pengerjaan, semakin besar kerikil maka akan semakin sulit untuk dikerjakan

Workability juga berarti bahwa adukan mudah dipadatkan sehingga dapat menghilangkan rongga udara. Namun adukan tersebut harus bersifat homogen serta tidak terjadi pemisahan antara bahan-bahan penyusunnya. Selain itu beton juga harus memiliki sifat mobilitas yang baik artinya beton dapat mudah mengalir ke dalam cetakan.

Tingkat kemudahan dalam pengerjaan sangat berkaitan erat dengan tingkat keleccakan atau ke enceran adukan beton. Beton akan semakin mudah digunakan apabila adukan beton makin cair. Untuk mengetahui keleccakan adukan beton dilakukan uji slump. Dalam pengujian ini digunakan alat berbentuk kerucut yang lebih besar lebar diameter di bagian bawah daripada

di bagian atas, alat ini memiliki diameter atas 10 cm dan diameter bawahnya 20 cm dengan tinggi 30 cm, alat ini memiliki pegangan atau kuping yang digunakan untuk mengangkat beton segar, serta tongkat pemadat dengan diameter 16 mm dan panjang minimal 60 cm. Semakin besar nilai slump maka adukan semakin encer dan mudah untuk dikerjakan. Nilai slump pada umumnya berkisar antara 5 cm hingga 12,5cm

2. Pemisahan agregat (segregasi)

Segregasi adalah keadaan ketika butir-butir kasar cenderung terpisah dari campuran beton. Segregasi bisa terjadi karena turunnya butiran-butiran ke bagian bawah dari beton segar, atau ketika agregat kasar terpisah dari campuran dikarenakan cara penuangan dan pemadatan yang tidak benar. Segregasi tidak dapat diuji sebelumnya, tetapi hanya bisa dilihat setelah semuanya terjadi. Kejadian segregasi beton dapat dilihat secara nyata saat pencampuran bahan yakni nampak pemisahan antara pasta semen dengan agregat. Menurut Paul Nugraha segregasi beton dapat terjadi karena:

- a. Ukuran partikel lebih dari 25 mm
- b. Berat jenis agregat kasar berbeda dengan agregat halus
- c. Kurangnya material halus dalam campuran
- d. Bentuk butir yang tidak rata atau tidak bulat
- e. Campuran terlalu kering atau terlalu basah

Segregasi atau pemisahan kerikil dari adukan beton dapat mengakibatkan sifat beton keras menjadi tidak baik. Apabila tingkat segregasi beton sangat tinggi dapat mengakibatkan ketidaksempurnaan konstruksi beton yang tinggi. Hal ini dapat berupa permukaan beton nampak bersisik dan tidak rata, keropos serta terdapat lapisan lemah yang berpori. Kecenderungan pemisahan agregat dapat dikurangi dengan cara:

- a. Mengurangi jumlah air
- b. Memperkecil tinggi jatuh adukan pada saat penuangan
- c. Memperkecil ukuran maksimum agregat kasar
- d. Memperbanyak pemakaian semen Portland
- e. Menggunakan agregat kasar yang bidang permukaannya lebih halus.

3. Pemisahan air (*bleeding*)

Bleeding adalah pemisahan air dari campuran beton yang disebabkan pelepasan air dari pasta semen. Sesaat setelah beton dicetak air yang terkandung akan cenderung naik ke permukaan membawa semen dan butiran halus, naiknya air berbarengan dengan turunnya bahan ke dasar akibat pengaruh gravitasi akibat berat sendiri. Pada saat beton mengeras akan membentuk lapisan tipis di atasnya yang disebut dengan selaput atau *laitance*

Bleeding terjadi pada saat bahan padat campuran tidak mampu menangkap air pencampur. Pada saat bleeding sedang berlangsung, air campuran terperangkap di dalam kantong yang terbentuk diantara material pembentuk seperti agregat dan pasta semen (matriks). Setelah bleeding selesai dan beton mengeras, kantong-kantong akan menjadi kering dan perawatan beton terjadi pada saat keadaan kering yang mengakibatkan ketika ada tekanan, kantong kantong ini menjadi penyebab beton mudah retak. Untuk mengurangi terjadinya bleeding, dilakukan dengan cara berikut:

- a. Menggunakan air sesedikit mungkin
- b. Menggunakan lebih banyak agregat halus
- c. Menyesuaikan intensitas dan durasi vibrator sesuai dengan nilai slump campuran
- d. Menggunakan lebih banyak semen

2.1.1.2 Sifat Beton Keras

Setelah beton mengeras atau proses hidrasi terhenti, maka akan terbentuk suatu benda padat serta keras dengan sifat tertentu. Sifat tersebut perlu diketahui agar dapat digunakan dalam merencanakan serta mengevaluasi kekuatan suatu struktur, atau untuk menentukan metode dalam penanganan masalah. Sifat beton keras adalah sebagai berikut:

1. Kekuatan beton

Beton memiliki sifat kuat menahan tegangan tekan dibandingkan tegangan yang lain, dan umumnya dalam perencanaan struktur beton memanfaatkan sifat ini sebab kekuatan tekan beton merupakan sifat yang paling penting

dalam berbagai kasus atau situasi. Sifat ini merupakan sifat utama yang harus dimiliki oleh beton. Beton yang tidak cukup kuat kekuatannya menurut kebutuhannya menjadi tidak berguna. Secara umum kekuatan beton dapat dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain:

- a. Proporsi bahan-bahan penyusun beton dengan mutu bahan tertentu
- b. Metode perancangan dan pencampuran
- c. Kondisi pada saat pengecoran dilaksanakan
- d. Perawatan (curing).

2. Rangkak, susut, dan retak

Setelah beton mengeras, maka beton akan mengalami pembebanan. Ketika beton menahan beban, terjadi hubungan tegangan dan regangan yang merupakan fungsi dari waktu pembebanan.

a. Rangkak

Rangkak adalah perubahan bentuk di bawah beban tetap. Pemberian beban pada beton pertama-tama akan menyebabkan deformasi elastis. Pemberian beban yang diperpanjang durasinya akan menyebabkan deformasi yang lambat yang disebut rangkak (*creep*) atau *lateral material flow*. Besarnya deformasi ini tergantung faktor tegangan-kekuatan pada waktu pembebanan, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti proporsi campuran, ukuran spesimen dan bahkan kondisi iklim. Jika beban kemudian diangkat, beton akan mengalami *recovery* elastis yang langsung. Perpanjangan rangkak (*creep recovery*) adalah proses yang lebih lambat dan tidak akan secara penuh kembali pada dimensi semula. (Nugraha & Antoni, 2007)

b. Susut

Penyusutan adalah salah satu penyebab utama dari retak yang terjadi pada bangunan, Hal ini terjadi karena bahan bangunan pada umumnya basah saat didirikan dan kemudian mengering. Susut juga dapat terjadi pada bahan-bahan yang menggunakan semen sebagai pengikat. Susut diartikan sebagai perubahan volume. Ketika air

masuk serta keluar dari gel semen, atau pada saat air mengubah keadaan fisik serta kimia yang terkandung di dalam pasta.

Faktor yang mempengaruhi susut (Nugraha, 2007):

- 1) Kadar agregat
- 2) Kadar air
- 3) Kadar semen dan bahan kimia pembantu
- 4) Kondisi penyimpanan dan perawatan
- 5) Pengaruh ukuran

c. Retak

3. Kekedapan air

Saat proses pengeringan beton, air yang digunakan tidak digunakan seluruhnya pada saat proses hidrasi. Hidrasi merupakan reaksi kimia yang terjadi antara partikel semen dengan air yang menghasilkan bahan pengikat atau pasta semen. Sebagian air akan terlepas sebagai bleeding serta menyebabkan terbentuknya rongga yang disebabkan oleh gelembung udara yang terbentuk selama atau sesudah pencetakan.

Tidak ada beton yang kedap air, namun secara praktis beton dapat dibuat tahan air. Dengan perencanaan, pemadatan serta perawatan yang baik, dengan faktor air semen tidak lebih dari 0,6 maka akan mendapatkan beton yang cukup kedap air

Cara membuat beton kedap air (Nugraha, 2007)

- 1) Memberi batas minimum dan maksimum dari agregat halus
- 2) Ukuran agregat halus dibatasi
- 3) Memakai semen yang sangat halus dan menambah pozzolan
- 4) Memakai bahan kimia tambahan yang menjadikan beton kedap air (*water proofing*)
- 5) Penuangan (*placing*), pemadatan dan perawatan lebih penting daripada kekuatan.

4. Ketahanan beton (durabilitas)

Durabilitas merupakan kemampuan beton dalam menahan cuaca, abrasi, serangan kimia atau proses kerusakan yang lain, dengan demikian durabilitas dapat mempertahankan bentuk asli, kualitas serta kemampuan

layan saat terekspose di lingkungan. Kerusakan yang terjadi dapat berupa kerusakan visual seperti perubahan tekstur serta warna atau dapat pula kerusakan mekanis seperti penurunan kekuatan tekan

Umur efektif beton dapat menjadi lebih singkat dari semestinya apabila dipengaruhi oleh cuaca, air yang agresif, pengikisan pada bangunan keairan, korosi kimiawi, dan kehancuran mekanis. (Nugraha, 2007)

2.2 Material Penyusun Beton

2.2.1 Semen

Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama 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 bahan tambahan lain (SNI 2049:2015)

Sifat-sifat semen Portland dapat dibedakan menjadi

2.2.1.1 Sifat fisika semen portland

Sifat fisika semen meliputi kehalusan butir, waktu pengikatan, panas hidrasi, perubahan volume (kekekalan) dan kekuatan tekan

1. Kehalusan butir

Kehalusan butir semen mempengaruhi proses hidrasi. Semakin halus butir semen hidrasinya akan semakin cepat sehingga semen mempunyai kekuatan awal tinggi, begitu pun sebaliknya semakin kasar butir semen hidrasinya akan semakin lambat. Semen yang halus akan cepat menjadi kuat dan meningkatkan kohesi beton segar, dapat mengurangi naiknya air ke permukaan (bleeding) tetapi memiliki kecenderungan terjadi susut yang lebih banyak serta mempermudah terjadinya retak susut. Untuk menguji kehalusan butir semen digunakan "*Turbidimeter*" dari Wagner atau "*Air Permeability*" dari Blaine

2. Waktu pengikatan

Waktu ikat merupakan waktu yang dibutuhkan semen untuk mengeras, waktu dihitung mulai semen bereaksi dengan air hingga pasta semen dan

pasta semen mengeras dan cukup kaku untuk menahan tekanan. Waktu ikatan dibagi menjadi dua bagian yaitu:

- a. Waktu ikat awal (*initial setting time*) yaitu waktu dari saat pencampuran semen dengan air hingga pasta semen yang mulai kaku dan mulai tidak dapat dikerjakan atau kehilangan sebagian sifat plastisnya. Waktu pengikatan awal berkisar antara 60-120 menit tetapi tidak boleh kurang dari 60 menit. Waktu ikat awal sangat penting untuk kontrol pekerjaan beton. Untuk kasus tertentu diperlukan untuk pengangkutan beton (*hauling*), pemuatan (*dumping/hauling*) pemadatan (*vibrating*) dan penyelesaian (*finishing*).
- b. Waktu ikat akhir (*final setting time*) yaitu waktu terbentuknya pasta semen hingga beton mengeras. Waktu ikatan akhir ini tidak boleh lebih dari 480 menit (8 jam).

Proses ikatan ini disertai perubahan temperatur yang naik dengan cepat dimulai sejak ikatan awal dan mencapai puncaknya pada waktu berakhirnya ikatan akhir. Waktu ikatan akan memendek karena naiknya temperatur sebesar 30°C atau lebih. Jumlah air yang dipakai dan suhu lingkungan sekitarnya sangat mempengaruhi waktu ikatan.

3. Perubahan volume (kekekalan)

Kekekalan pada pasta semen yang telah mengeras merupakan suatu ukuran yang menyatakan kemampuan pengembangan bahan-bahan campuran serta kemampuan untuk mempertahankan volume setelah pengikatan terjadi. Ketidakekalan semen disebabkan oleh terlalu banyaknya jumlah kapur bebas yang pembakarannya tidak sempurna dan magnesia yang terdapat dalam campuran tersebut, kapur bebas akan mengikat air dan kemudian mengakibatkan gaya ekspansi. Alat uji untuk menentukan nilai kekekalan semen portland adalah dengan cara ASTM C-151 "*Autoclave Expansion of Portland Cement*" atau cara Inggris, Bs, "*Expansion by Le Challeir*"

4. Panas hidrasi

Panas hidrasi merupakan panas yang terjadi pada saat semen bereaksi dengan air, dinyatakan dalam kalori/gram. Jumlah panas yang dibentuk

antara lain bergantung pada jenis semen yang digunakan serta kehalusan butir semen. Pada pelaksanaan, perkembangan panas ini dapat menyebabkan retakan pada saat pendinginan, retakan ini tidak diinginkan terutama pada struktur beton mutu tinggi. Oleh karena itu perlu dilakukan pendinginan melalui perawatan (*curing*) pada saat pelaksanaan

5. Kekuatan tekan

Kekuatan semen diuji dengan cara membuat mortar yang kemudian ditekan sampai hancur. Apabila memperhatikan kuat tekan mortar ini akan jelas terlihat cepat atau lambatnya perkembangan kekuatan semen terhadap umurnya

2.2.1.2 Sifat kimia semen portland

Sifat-sifat kimia semen meliputi senyawa kimia dan sifat kimia

1. Senyawa kimia

Semen Portland mempunyai beberapa senyawa kimia yang masing-masing mempunyai sifat sendiri-sendiri. Secara garis besar, terdapat empat senyawa kimia utama yang menyusun semen Portland antara lain Trikalsium Silikat (C_3S), Dikalsium Silikat (C_2S), Trikalsium Aluminat (C_3A), Tetrakalsium Aluminoferrit (C_4AF) seperti yang terlihat dalam tabel 2.2:

Tabel 2. 2 Senyawa kimia dalam semen

Nama Oksida Utama	Rumus Oksida	Notasi Pendek	Kadar rata-rata (%)
Trikalsium Silikat	$3CaO.SiO_2$	C_3S	50
Dikalsium Silikat	$2CaO.SiO_2$	C_2S	25
Trikalsium Aluminat	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A	23
Tetrakalsium Aluminoferrit	$4CaO.Al_2O_2.Fe_2O_3$	C_4AF	8
Kalsium Sulfat Dihidrat (Gypsum)	$CaSO_4.2H_2O$	$C \bar{S} H_2$	3,5
Notasi pendek: $C = CaO$, $S = SiO_2$, $A = Al_2O_3$, $F = Fe_2O$, $H = H_2O$, $\bar{S} = SO_4^{2-}$			

Sumber: Nugraha & Antoni, 2007

2. Sifat kimia

Sifat kimia semen meliputi kesegaran semen, sisa yang tak larut dan yang paling utama adalah komposisi syarat yang diberikan:

- a. Kesegaran semen, kehilangan berat semen merupakan ukuran dari kesegaran semen. Pemeriksaan kesegaran semen dilakukan dengan cara mengambil satu gram semen dan diteatkan dalam platina bertemperatur 900-1000°C selama 15 menit. Dalam keadaan normal terjadi kehilangan berat sekitar 2%, sedangkan batas maksimum yang diizinkan adalah 4%
- b. Sifat yang tak larut, sisa bahan yang tidak habis bereaksi dengan air merupakan bahan tidak aktif pada semen. Semakin sedikit sisa maka semakin baik kualitas semennya. Jumlah maksimum sisa bahan yang tidak habis bereaksi dengan air yang disyaratkan adalah 0,85%

2.2.1.3 Jenis-jenis semen

Perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengganti persentase empat komponen utama, semen bisa menghasilkan beberapa jenis semen sesuai dengan tujuan pemakaiannya. Menurut SNI 2049:2015 semen portland.dibagi menjadi:

1. Jenis I yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain
2. Jenis II yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang
3. Jenis III yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi
4. Jenis IV yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah
5. Jenis V yaitu semen Portland dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat

2.2.2 Air

Air merupakan satu bahan dasar yang penting dalam pembuatan beton, semen tidak akan menjadi pasta tanpa air. Air harus selalu ada dalam beton cair, selain untuk hidrasi semen, air juga digunakan untuk mengubah semen menjadi pasta sehingga beton lecah (*workable*). Dalam pembuatan beton air digunakan sebagai bahan pelumas antara butir-butir agregat sehingga mempermudah pencampuran agregat dengan semen dan mempermudah pada saat pelaksanaan pengecoran dilaksanakan dan dipadatkan serta mempunyai peran sebagai bahan pengikat. Air yang diperlukan agar bereaksi dengan semen Portland hanya sekitar 25 – 30 persen dari berat semen, namun yang terjadi di lapangan apabila faktor air semen kurang dari 0,35 maka beton akan sulit dikerjakan sehingga mengurangi *workability*. Namun kelebihan air ini digunakan sebagai pelumas, namun tambahan air yang digunakan sebagai pelumas tidak boleh terlalu banyak dikarenakan dapat menyebabkan beton memiliki kekuatan yang rendah sehingga beton menjadi porous.

Air yang memenuhi syarat sebagai air minum juga memenuhi syarat sebagai bahan campuran beton (tetapi bukan Berarti air pencampur beton harus memenuhi standar persyaratan air minum). Air yang tidak dapat diminum tidak bisa digunakan pada beton, kecuali memenuhi ketentuan ketentuan sebagai berikut (SNI-03-2847-2002):

1. Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama
2. 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

Secara umum air yang digunakan sebagai untuk bahan pencampur beton merupakan air yang apabila digunakan akan dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% dari kekuatan beton apabila menggunakan air suling. Apabila air mengandung kotoran maka akan berpengaruh terhadap kualitas beton.

Pengaruhnya pada beton adalah lamanya waktu ikatan awal adukan beton, kekuatan serta kekedapan air setelah beton mengeras.

Air yang digunakan sebagai bangunan sebaiknya memiliki syarat sebagai berikut (Tjokrodimulyo; 2010):

1. Air harus bersih
2. Tidak mengandung lumpur, minyak, dan benda melayang lainnya yang terlihat secara visual, serta benda tersuspensi tidak boleh melebihi 2 gram/liter
3. Tidak mengandung garam-garam terlarut yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter
4. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter
5. Tidak mengandung senyawa sulfat (sebagai SO_3) lebih dari 1 gram/liter

2.2.3 Agregat

Agregat merupakan butiran bahan mineral alami yang memiliki fungsi sebagai pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat mengisi sebanyak kira-kira 70% volume mortar atau beton. Meskipun namanya hanya sebagai pengisi, namun agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar atau beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar atau beton. Agregat harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa mortar atau beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, rapat, dan homogen dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi pengisi celah antara agregat yang berukuran besar. Agregat harus memiliki bentuk yang baik yaitu bulat atau mendekati kubus, keras, kuat, bersih dan mempunyai gradasi yang baik. Agregat juga harus mempunyai kestabilan kimiawi, dan dalam hal tertentu harus tahan aus serta tahan cuaca. Agregat terdiri dari dua jenis yaitu:

1. Agregat halus merupakan agregat yang berbutir kecil seperti pasir alami maupun pasir dari pecahan batuan
2. Agregat kasar merupakan agregat yang memiliki ukuran butir yang besar seperti kerikil, batu pecah atau split

2.2.3.1. Agregat Halus

Agregat halus yaitu pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 4,75 mm (SNI 1970-2008). Agregat halus merupakan butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi campuran beton. Agregat halus menempati sekitar 70% volume beton. Agregat yang memiliki butiran lebih kecil dari 1,20 mm disebut pasir halus, sedangkan butir-butir yang lebih kecil dari 0,075 mm disebut silt serta yang memiliki ukuran butir lebih kecil dari 0,002 mm disebut clay (Tjokrodimulyo, 2010)

Agregat halus yang digunakan untuk bahan bangunan sebaiknya dipilih yang memenuhi persyaratan sebagai berikut (Tjokrodimulyo, 2010):

1. Butir-butirnya tajam dan keras dengan indeks kekerasan $<2,2$
2. Kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca (terik matahari dan hujan). Apabila diuji dengan garam *Natrium Sulfat* (Na_2SO_4) bagian yang hancur maksimum 12%, jika dengan *Magnesium Sulfat* (MgSO_4) maksimum 18%
3. Tidak mengandung lumpur (butiran halus yang lewat ayakan 0,006 mm) lebih dari 5%
4. Tidak mengandung zat organik terlalu banyak yang dibuktikan dengan percobaan warna dengan larutan 3% NaOH, yaitu warna cairan diatas endapan agregat halus tidak boleh lebih gelap dari pada warna dasar atau pembanding
5. Modulus halus butir antara 1,50 sampai 3,80 dan dengan variasi butir sesuai dengan standar gradasi
6. Khusus beton dengan tingkat keawetan tinggi, agregat halus harus tidak reaktif terhadap alkali
7. Agregat halus dari laut atau pantai, boleh digunakan asalkan ada petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui

2.2.3.2 Agregat Kasar

Agregat kasar yaitu kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 mm – 40 mm (SNI 1969-2008).

Pengaruh sifat agregat kasar terhadap beton antara lain kekuatan akhir beton, keras serta daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca, efek-efek merusak lainnya, lekatan pada agregat, kebutuhan air pencampur serta mortar. Semakin kecil ukuran agregat memiliki potensi menghasilkan beton yang memiliki kekuatan yang tinggi. Agregat kasar harus terbebas dari bahan-bahan organik serta harus mempunyai ikatan yang baik dengan sel semen. Secara umum jenis-jenis agregat kasar yaitu:

1. Batu pecah alami, adalah agregat kasar yang diperoleh dari batuan cadas atau batu pecah alami yang digali
2. Kerikil alami, adalah agregat kasar berupa kerikil yang diperoleh dari pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir secara alami
3. Agregat kasar buatan, adalah agregat yang diperoleh dari hasil buatan yang biasa digunakan pada beton ringan
4. Agregat yang digunakan sebagai pelindung nuklir, adalah agregat kasar yang biasanya digunakan untuk melindungi dari sinar x gamma dan neutron. Agregat yang diklasifikasikan disini adalah batu pecah, barit, magnetit dan limonit.

Agregat kasar yang digunakan untuk bahan bangunan sebaiknya dipilih yang memenuhi persyaratan sebagai berikut (Tjokrodimulyo; 2010):

1. Butir-butirnya keras dan tidak berpori dengan indeks kekerasan kurang dari 5% (diuji dengan goresan batang tembaga). Apabila diuji menggunakan bejana *Rudeloff* atau *Los Angeles*
Berikut ini merupakan persyaratan kekerasan atau kekuatan agregat kasar untuk beton dapat dilihat pada tabel 2.3:

Tabel 2. 3 Syarat kekerasan dan kekuatan agregat kasar

Kelas dan mutu beton	Bejana <i>Rudeloff</i> maksimum bagian hancur, menembus ayakan 2 mm (%)		Mesin <i>Los Angeles</i> maksimum bagian hancur menembus ayakan 1,7 mm (%)
	Ukuran butir 19 – 30 (mm)	Ukuran butir 9,5 – 19 (mm)	
Kelas I mutu B0 dan B1	30	32	50
Kelas II untuk K-125 sampai K-225 ($f'_c = 10$ - 20 MPa)	22	24	40
Kelas III mutu di atas K- 225 ($f'_c = 20$ MPa)	14	16	27

Sumber: Tjokrodimuljo, 2007

2. Kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca (terik matahari dan hujan). Apabila diuji dengan larutan garam *Natrium Sulfat* (Na_2SO_4) bagian yang hancur maksimum 12% dan jika garam *Magnesium Sulfat* (MgSO_4) bagian yang hancur maksimum 18%
3. Tidak mengandung lumpur (butiran halus yang lewat ayakan 0,006 mm) >1%
4. Tidak boleh mengandung zat-zat yang reaktif terhadap alkali
5. Butiran agregat yang pipih dan panjang tidak boleh 20%
6. Modulus halus butir antara 6-7, 10 dan dengan variasi butir sesuai dengan gradasi
7. Ukuran butir maksimum tidak boleh melebihi dari $\frac{1}{5}$ jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan, $\frac{1}{3}$ tebal pelat beton dan $\frac{3}{5}$ jarak bersih antar tulangan atau berkas tulangan

2.2.4. Pasir Besi

Pasir besi ialah pasir yang memiliki kandungan besi yang tinggi, dalam dunia industri pasir besi sering digunakan sebagai bahan baku industri logam besi. Berat jenis pasir besi cukup tinggi yakni sekitar 4,2-5,2 gr/cm³. Pasir besi umumnya dapat dijumpai di daerah pesisir pantai seperti sepanjang pesisir selatan Jawa, Sulawesi, serta Sumatera. Mineral-mineral yang terkandung dalam pasir besi berupa Magnetit (Fe₃O₄) dan hematit (Fe₂O₃), silika dioksida (SiO₂), serta magnesium (MgO). (Masrufi, 2019)

Selain digunakan dalam produksi baja, pasir besi juga bisa dimanfaatkan dalam industri semen untuk membuat beton. Zat-zat seperti SiO₂, Fe₂O₃, serta MgO terkandung dalam bahan ini. Dengan ukuran partikel beton sekitar 80 hingga 100 mesh.

2.2.4.1 Sifat Fisik Pasir Besi

Pasir besi mengandung mineral utama magnetite (besi oksida) berasosiasi dengan titanomagnetite dengan sedikit magnetit dan hematit yang disertai dengan mineral pengotor seperti kuarsa, piroksen, biotit, rutil, dan lain-lain. Pengotor lainnya yang biasa terdapat dalam pasir besi yaitu fosfor dan sulfur. Pasir besi berwarna abu-abu hingga kehitaman, berbutir sangat halus dengan ukuran antara 75 - 150 mikron, densitas 2-5 gr/cm³, bobot isi (specific gravity, SG) 2,99 - 4,23 gr/cm³, dan derajat kemagnetan (MD) 6,4 - 27,16%. Mineral ini yaitu mempunyai nilai kekerasan mohr antara 5-6,5. Pasir besi yang mengandung mineral utama magnetit dicirikan oleh butiran mineral magnetit yang selalu berikatan dengan butiran mineral magnetit lainnya sehingga membentuk ikatan rantai. Butiran mineralnya bersistem kristal isometrik, sehingga pasir besi (magnetit) cenderung berbentuk membulat hingga membulat tanggung.

2.2.4.2 Struktur Pasir Besi

Pasir jenis ini memiliki kandungan mineral Magnetite (Fe₃O₄) dan hematit (Fe₂O₃). Magnetit merupakan biji besi yang paling sering ditambang Mineral magnetit merupakan mineral dengan kandungan besi tertinggi (72,4%). Sedangkan hematit adalah salah satu mineral yang paling melimpah di permukaan bumi

maupun kerak bumi yang dangkal. Hematit memiliki kenamaan yang sangat variabel. Kilapnya dapat berkisar dari submetallic sampai metallic dengan sistim kristal triagonal, rentang warna hematit berada pada merah hingga coklat dan hitam keabu-abuan. Hematit ini tidak bersifat magnetik dan tidak tertarik oleh magnet.

Namun, banyak dari jenis hematit yang mengandung mineral magnetit sehingga mereka dapat tertarik oleh magnet. Hematit murni memiliki komposisi sekitar 70% besi dan 30% oksigen sama seperti mineral alami lainnya. Pada pasir besi tidak hanya ada unsur magnetit dan hematit, dalam pasir ini juga mengandung titanium, silika, dan mangan. Titanium selalu berikatan dengan elemenelemen lain di alam. Titanium merupakan unsur yang jumlahnya melimpah di kerak bumi (0,63% berat massa). Titanium selalu ada dalam igneous rock (bebatuan) dan dalam sedimen yang diambil dari bebatuan tersebut. Dari 801 jenis batuan yang dianalisis oleh United States Geological Survey, terdapat 784 diantaranya mengandung titanium. Perbandingan Ti di dalam tanah adalah sekitar 0,5 sampai 1,5%. Titanium juga terdapat dalam mineral rutile (TiO_2), ilmenite (FeTiO_3), dan sphene, yang terdapat dalam bijih besi.

2.3. Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan merupakan salah satu kinerja utama beton. Kekuatan tekan beton adalah kemampuan untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Mulyono, 2005).

Beton memiliki sifat getas yang artinya memiliki kuat tekan yang tinggi namun kuat tekannya rendah. Kuat tekan beton memiliki hubungan yang erat dengan sifat-sifat lain artinya apabila kekuatan tekannya tinggi maka sifat-sifat yang lainnya juga baik. Nilai kuat tekan beton didapat dari pengujian standar dengan benda uji yang biasa digunakan yaitu berbentuk silinder. Dimensi benda uji standar adalah tinggi 30 mm, diameter 150 mm. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi (f_c) yang dipakai pada umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan. Kuat tekan beton dapat dicari dengan rumus:

$$\text{Kuat tekan beton} = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

Dengan

P : gaya tekan aksial (N)

A : luas penampang melintang benda uji (mm²)

2.4 Pengujian Bahan

Pengujian bahan dilakukan untuk mengetahui apakah agregat kasar serta agregat halus yang digunakan telah memenuhi spesifikasi untuk pembuatan benda uji, pengujian material dilakukan untuk mendapatkan mix design. Pengujian terhadap pasir besi yang digunakan hanya dilakukan terhadap analisis saringan, pengujian berat jenis dan penyerapan air, kadar air dan berat volume. Pengujian karakteristik agregat yang dilakukan dalam penelitian ini sesuai dengan SNI (Standar Nasional Indonesia).

2.4.1 Pengujian Agregat Kasar

Agregat Kasar yaitu agregat yang tertahan pada saringan No. 4. Agregat harus terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah yang bersih, kering kuat, awet, dan bebas dari bahan lain yang mengganggu serta memenuhi persyaratan dengan menggunakan pengujian sebagai berikut:

2.4.1.1 Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar

Pengujian saringan agregat bertujuan untuk mengetahui gradasi atau susunan butir pada agregat kasar dengan menggunakan saringan untuk memperoleh jumlah persentase butiran atau distribusi besaran agregat kasar.

2.4.1.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan angka berat jenis curah, berat jenis permukaan jenuh, berat jenis semu dan penyerapan air pada agregat halus. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air menggunakan persamaan:

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{B_k}{B_j - B_a} \quad (2.2)$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = \frac{B_j}{B_j - B_a} \quad (2.3)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B_k}{B_k - B_a} \quad (2.4)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{B_b - B_k}{B_k} \times 100\% \quad (2.5)$$

Keterangan:

B_k = berat benda uji kering oven (gram)

B = berat piknometer berisi air (gram)

B_t = berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)

500 = berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh

2.4.1.3 Pengujian Kadar Air

Kadar air agregat merupakan besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen. Metode ini bertujuan untuk menghitung banyaknya air yang terkandung di dalam kerikil. persamaan dalam menghitung pengujian kadar air sebagai berikut:

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{W_3 - W_5}{W_5} \times 100\% \quad (2.6)$$

Dengan:

W_3 = berat benda uji semula (gram)

W_5 = berat benda uji kering (gram)

2.4.1.4 Pengujian Berat Isi

Pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat bertujuan untuk mengetahui berat isi agregat dalam keadaan gembur maupun padat. Rongga udara dalam satuan volume agregat adalah ruang diantara butir-butir agregat yang tidak diisi oleh partikel yang padat. Dalam pengujian berat isi ini menggunakan persamaan sebagai berikut:

1. Agregat dalam keadaan kering oven

$$M = \frac{G-T}{V} \text{ atau } M = (G-T) \times F \quad (2.7)$$

Keterangan:

M = berat isi agregat dalam kondisi kering oven (kg/m^3)

G = berat agregat dan penakar

T = berat penakar (kg)

V = volume penakar (m^3)

F = faktor penakar (m^3)

2. Agregat dalam keadaan kering permukaan

$$M_{SSD} = M \{1 + (A/100)\} \quad (2.8)$$

Keterangan:

M_{SSD} = berat isi agregat dalam kondisi kering permukaan (kg/m^3)

M = berat isi dalam kondisi kering oven (kg/m^3)

A = absorpsi (%)

2.4.1.5 Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles

Pemeriksaan keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles bertujuan untuk mengetahui kekerasan atau kehancuran agregat yang akan digunakan untuk campuran beton yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lolos saringan No. 12 (1,7 mm) terhadap berat semula dalam persen. Persamaan dalam menghitung keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles sebagai berikut:

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (2.9)$$

Keterangan:

a = berat benda uji semula (gram)

b = berat benda uji tertahan saringan No. 12 (1,70 mm) (gram)

2.4.2 Pengujian Agregat Halus

Agregat halus harus terdiri dari bahan-bahan yang berbidang kasar, bersudut tajam dan bersih dari kotoran-kotoran atau bahan-bahan lain yang tidak

dikehendaki. Agregat halus bisa terdiri dari pasir bersih, bahan-bahan halus hasil pemecahan batu atau kombinasi dari bahan-bahan tersebut dan dalam keadaan kering, serta memenuhi persyaratan dengan menggunakan pengujian sebagai berikut:

2.4.2.1 Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus

Pengujian analisis saringan agregat halus bertujuan mengetahui gradasi atau susunan butiran agregat halus. Pengujian saringan agregat bertujuan untuk mengetahui gradasi atau susunan butir pada agregat kasar dan agregat halus dengan menggunakan saringan untuk memperoleh jumlah persentase butiran atau distribusi besaran agregat kasar.

2.4.2.2 Pengujian Berat Jenis Agregat Halus dan Penyerapan

Berat jenis merupakan perbandingan antara berat dari satuan volume dan suatu material terhadap berat jenis air dari volume yang sama. Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan angka berat jenis curah, berat jenis permukaan jenuh, berat jenis semu dan penyerapan air pada agregat halus. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air menggunakan persamaan:

$$1. \text{ Berat jenis curah } \frac{Bk}{(B+500-Bt)} \quad (2.11)$$

$$2. \text{ Berat jenis jenuh kering permukaan } \frac{500}{(B+500-Bt)} \quad (2.12)$$

$$3. \text{ Berat jenis semu } \frac{Bk}{(B+Bk-Bt)} \quad (2.13)$$

$$4. \text{ Penyerapan } \frac{(500-Bk)}{Bk} \times 100\% \quad (2.14)$$

Keterangan:

Bk = berat benda uji kering oven (gram)

B = berat piknometer berisi air (gram)

Bt = berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)

500 = berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram)

2.4.2.3 Pengujian Kadar Air Agregat Halus

Kadar air agregat merupakan besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen. Metode ini bertujuan untuk menghitung banyaknya air yang terkandung di dalam agregat halus. persamaan dalam menghitung pengujian kadar air sebagai berikut:

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{(W_3 - W_5)}{W_5} \times 100\% \quad (2.15)$$

Keterangan:

W_3 = berat benda uji semula (gram)

W_5 = berat benda uji kering (gram)

2.4.2.4 Pengujian Berat Isi Agregat Halus

Pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat bertujuan untuk mengetahui berat isi agregat dalam keadaan gembur maupun padat. Rongga udara dalam satuan volume agregat adalah ruang diantara butir-butir agregat yang tidak diisi oleh partikel yang padat. Dalam pengujian berat isi ini menggunakan persamaan sebagai berikut:

1. Agregat dalam keadaan kering oven

$$M = \frac{G-T}{V} \text{ atau } M = (G-T) \times F \quad (2.16)$$

Keterangan:

M = berat isi agregat dalam kondisi kering oven (kg/m^3)

G = berat agregat dan penakar

T = berat penakar (kg)

V = volume penakar (m^3)

F = faktor penakar (m^3)

2. Agregat dalam keadaan kering permukaan

$$M_{SSD} = M \{1 + (A/100)\} \quad (2.17)$$

eterangan:

M_{SSD} = berat isi agregat dalam kondisi kering permukaan (kg/m^3)

M = berat isi dalam kondisi kering oven (kg/m^3)

A = absorpsi (%)

2.4.2.5 Pengujian Kadar Lumpur

Pemeriksaan kadar lumpur agregat bertujuan untuk mendapatkan kadar lumpur yang terkandung dalam agregat halus. Kadar lumpur maksimal agregat halus adalah <5% yang merupakan ketentuan dalam peraturan bagi penggunaan agregat halus untuk pembuatan beton. Dalam pengujian ini menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{V_2}{(V_1+V_2)} \times 100\% \quad (2.18)$$

Keterangan:

(V_1) = tinggi pasir (mm)

(V_2) = tinggi lumpur (mm)

2.5 Penelitian Terdahulu

2.5.1 Afdal Satrio S. (2017)

Afdal Satrio S melakukan penelitian tentang “Pengaruh Substitusi Agregat Halus dengan Menggunakan Pasir Besi Reject Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah dan Daya Serap”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh substitusi pasir besi reject terhadap berat jenis, kuat tekan, kuat Tarik belah dan daya serap air pada umur 28 hari dengan kuat tekan sebesar (f'_c) 25 MPa. Penggunaan variasi pasir besi reject 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dari total berat agregat halus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi pasir besi reject 20% mampu menaikkan kuat tarik belah hingga 9,92% pada umur 28 hari. Hasil kuat tekan tidak mengalami peningkatan kekuatan tetapi semua melebihi mutu

rencana 25 MPa. Sedangkan pada substitusi pasir besi reject 50%, pengujian daya serap mengalami penurunan sebesar 33,99% dari beton normal dan memenuhi persyaratan daya serap beton yang diijinkan.

2.5.2 Makmun R. Razali dan Mawardi (2013)

Makmun R. Razali dan Mawardi melakukan penelitian “Pemanfaatan Limbah Pasir Seluma untuk Meningkatkan Kuat Tekan Beton”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan membuktikan pengaruh penambahan pasir besi pada campuran adukan beton. Pada penelitian ini prosedur pengujian mengacu pada SK SNI T-15-1989-F.SNI dengan pasir besi diperoleh dari Seluma yang sudah tidak dimanfaatkan lagi (hasil dari penyaringan pasir besi). Kadar variasi pasir besi yang digunakan yaitu 0%, 10% dan 20% dari berat semen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan rata-rata beton normal 23,78 MPa, kuat tekan beton dengan penambahan pasir besi Seluma yang telah disaring besinya 10% pasir sebesar rata-rata 27,17 MPa, kuat tekan beton dengan penambahan pasir besi Seluma yang telah disaring besinya 20% pasir sebesar 31,28 MPa, kenaikan kuat tekan beton rata-rata sebesar 14,69%.

2.5.3 Ridho Pratama (2018)

Ridho Pratama melakukan penelitian “Pengaruh Pasir Besi Sebagai Pengganti Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan pasir besi sebagai bahan pengganti agregat halus terhadap kuat tekan dan kuat tarik pada beton struktur pada umur 28 hari dengan kuat tekan sebesar ($f'c$) 25 MPa. Penggunaan variasi pasir besi 0%, 60%, 70%, 80% dan 90% dari total berat agregat halus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi pasir besi meningkatkan kuat tekan seiring bertambahnya kadar pasir besi, namun setelah kadar pasir besi mencapai kadar 80% terjadi penurunan kuat tekan. Variasi kadar pasir besi dalam campuran beton adalah 0%, 60%, 70%, 80% dan 90% dengan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 25,170 MPa, 29,771 MPa, 30,270 MPa, 32,942 MPa dan 29,517 MPa. Kemudian didapat nilai kuat tekan rata-rata optimum pada kadar pasir besi 80%.

2.5.4 Hamid et al., (2023)

Hamid et. al. melakukan penelitian “Pengaruh Pengganti Agregat Halus Pasir Besi Terhadap Kuat Tekan Beton K-300”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan pasir besi sebagai bahan tambah pengganti semen terhadap kuat tekan pada beton pada umur 3, 14, 28 hari dengan mutu beton K-300. Kadar variasi pasir besi yang digunakan yaitu 0%, 10%, 20%, 30% dari berat agregat halus . Hasil penelitian ini menunjukkan nilai kuat tekan beton cenderung meningkat seiring bertambahnya kadar pasir besi dengan nilai persentasi keseluruhan yang berbeda, pada umur rencana tiga 3 hari sebesar 20.83 MPa, mengalami peningkatan pada umur rencana 14 hari sebesar 27.59 MPa, dan 28 hari 28.92 MPa. Sedangkan kuat tekan beton rata – rata dilihat bahwa kuat tekan beton yang tertinggi terdapat pada umur 28 hari dan kuat tekan beton terendah pada umur 3 hari.

Tabel 2. 4 Persamaan dan perbedaan dengan penelitian terdahulu

No	Nama	Judul	Persamaan	Perbedaan
1	Afdal Satrio	Pengaruh Substitusi Agregat Halus dengan Menggunakan Pasir Besi Reject Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah dan Daya Serap	- Menggunakan bahan pengganti agregat halus yang sama - Menggunakan benda uji yang sama	- Persentase yang digunakan 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% -Pengujian sampel hanya dilakukan pada umur 28 hari -Tinjauan analisis yaitu Kuat Tekan, Kuat Tarik, Belah dan Daya Serap
2	Makmun R. Razali dan Mawardi	Pemanfaatan Limbah Pasir Seluma untuk	- Menggunakan bahan pengganti	-Substitusi material sebagai pengganti semen

No	Nama	Judul	Persamaan	Perbedaan
		Meningkatkan Kuat Tekan Beton	<p>agregat halus yang sama</p> <p>- Menggunakan benda uji yang sama</p>	<p>-Pengujian sampel hanya dilakukan pada umur 28 hari</p> <p>- Persentase yang digunakan 0%, 10%, dan 20%, Mutu beton yang digunakan menggunakan $f'c$ 25MPa</p>
3	Ridho Pratama	Pengaruh Pasir Besi Sebagai Pengganti Agregat Halis Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton	<p>- Menggunakan bahan pengganti agregat halus yang sama</p> <p>- Menggunakan benda uji yang sama</p> <p>-Metode rencana campuran (SNI 03-2834-2000)</p>	<p>- Persentase yang digunakan 0%, 60%, 70%, 80% dan 90%</p> <p>-Pengujian sampel hanya dilakukan pada umur 28 hari</p> <p>-Tinjauan analisis yaitu Kuat Tekan, Kuat Tarik</p> <p>-Mutu beton yang digunakan menggunakan $f'c$ 25MPa</p>
4	Hamid et al., 2023	Pengaruh Pengganti Agregat Halus Pasir Besi	- Menggunakan bahan pengganti agregat halus yang sama	- Persentase yang digunakan 0%, 10%, 20%, 30%

No	Nama	Judul	Persamaan	Perbedaan
		Terhadap Kuat Tekan Beton K-300	<ul style="list-style-type: none"> - Menggunakan benda uji yang sama -Metode rencana campuran (SNI 03-2834-2000) 	<ul style="list-style-type: none"> -Pengujian sampel dilakukan pada umur 3,14 dan 28 hari -Mutu beton yang digunakan menggunakan K-300