

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Penelitian Terdahulu

Jaa, Samuel Brian Agus dan Ariyanto, Didik (2020) dalam penelitiannya yang berjudul *“Uji Kuat Tekan Green Concrete Dari Pemanfaatan Limbah Beton Dan Abu Sekam Padi”* dalam penelitiannya menyatakan, penelitian bertujuan penelitian ini untuk mengetahui kuat tekan beton dengan mengganti 60% agregat kerikil alam dengan agregat kasar limbah beton dan mengganti komposisi semen dengan abu sekam padi sebesar 0% (A60), 8% (A60:AS8) dan 10% (A60:AS10). Pengujian sampel silinder beton dilakukan pada umur 7, 14 dan 28 hari dengan total sampel 38 buah. Metode penelitian yang digunakan yaitu metode eksperimen. Hasil kuat tekan beton A60 sebesar 23,638 MPa, beton (A60:AS8) sebesar 24,638 MPa, beton (A60:AS10) sebesar 23,968 MPa. Beton (A60:AS8) mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 2,9% dari beton A60. Hasil kuat tekan optimum terdapat pada beton (A60:AS8) dengan kuat tekan sebesar 24,345 Mpa.

Oktova Budiardi, Johan Budianto (2019) dalam penelitiannya yang berjudul *“Pengaruh Penambahan Limbah Beton Dan Abu Sekam Padi Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton Variasi 5%, 10%, 15%”* dalam penelitiannya menyatakan, Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penggantian sebagian agregat halus dengan limbah beton dan sebagian semen dengan abu sekam padi. Dalam penelitian ini variasi limbah beton yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat agregat halus.

Abu sekam padi digunakan sebanyak 10% dari berat semen untuk setiap benda uji dengan campuran limbah beton. Mutu beton yang direncanakan adalah 25 MPa. Dari 4 variasi campuran, masing-masing variasi dibuat benda uji sebanyak 3 buah. Benda uji berupa silinder dengan diameter 15cm dan tinggi 30cm. Dari penelitian ini, setelah dilakukan uji kuat tekan pada benda uji beton umur 28 hari, didapatkan hasil rata-rata pada beton normal sebesar 20,47 Mpa, sedangkan pada variasi campuran 5% adalah 22,36 Mpa, 10% adalah 20,85 Mpa, dan 15% adalah 19,81 MPa. Dari hasil uji kuat tekan beton, persentase penggunaan limbah beton yang paling optimal adalah 5%.

Hamdani Abdulgani, Ferry Mulyadi (2017), dalam penelitiannya yang berjudul *“Pemanfaatan Limbah Abu Sekam Padi Untuk Meningkatkan Kuat Tekan Pada Beton Dengan Agregat Daur Ulang”* dalam penelitiannya menyatakan, Untuk meningkatkan mutu beton dari agregat daur ulang ini memanfaatkan limbah sekam padi yang sudah dibakar terlebih dahulu, hingga menjadi abu. Pada penelitian ini variable bebasnya adalah penambahan abu sekam padi 0%, 2,5%, 5% dan 7,5% pada campuran beton dengan mutu rencana 25 MPa dan waktu perendaman 14 dan 28 hari, sedangkan untuk variable terikat adalah kuat tekan beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil kuat tekan beton daur ulang baik dengan atau tanpa penambahan abu sekam padi didapatkan hasil kuat tekan yang masih dibawah kuat tekan yang direncanakan, yaitu sebesar 25MPa. Namun terjadi peningkatan mutu beton dengan bertambahnya waktu perendaman. Umur beton 28hari mengalami peningkatan mutu jika dibandingkan dengan umur beton 14hari pada masing-masing variasi

penambahan abu sekam, yaitu berturut-turut sebesar 23,64%, 24,05%, 19,01% dan 21,69%. Pada umur beton 28hari, peningkatan kuat tekan beton terjadi seiring dengan adanya penambahan abu sekam padi, yaitu berturut-turut sebesar 0.88%, 3,5% 7,4%.

B. Landasan Teori

1. Beton

Kata beton dalam bahasa Indonesia berasal dari kata yang sama dalam bahasa belanda. Kata *concrete* dalam bahasa inggris berasal dari bahasa latin *concretus* yang berarti tumbuh bersama atau menggabungkan menjadi satu. Dalam bahasa jepang digunakan kata *kotau-zi*, yang arti harfiahnya material-material seperti tulang; mungkin karena agregat mirip tulangtulang hewan (Paul Nugraha dan Antoni, 2007).

Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan tambahan (*adimixture*) (SNI 2847-2013). Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana (f_c') pada usia 28 hari. Beton memiliki daya kuat tekan yang baik maka dari itu beton banyak dipakai dan digunakan untuk berbagai jenis struktur terutama struktur bangunan, jembatan dan jalan. Beton merupakan suatu bahan komposit (campuran) dari beberapa material, yang bahan utamanya terdiri dari campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar, air dan atau tanpa bahan tambah lain dengan perbandingan tertentu. Karena beton

merupakan komposit, maka kualitas beton sangat tergantung dari kualitas masing-masing material pembentuk (Tjokrodimulyo, 2007).

Beton yang sudah mengeras dapat juga dikatakan sebagai batuan tiruan, dengan rongga-rongga antara butiran yang besar (agregat kasar atau batu pecah), dan diisi oleh butiran kecil (agregat halus atau pasir), dan pori-pori antara agregat halus diisi oleh semen dan air. Semen juga berfungsi sebagai perekat atau pengikat dalam proses pengerasan, sehingga butiran-butiran agregat saling terikat dengan kuat sehingga terbentuklah suatu kesatuan yang padat. Beton keras yang baik adalah beton yang kuat, tahan lama, kedap air, tahan aus, dan kembang susutnya kecil (Tjokrodimulyo, 1996)

Beton terdiri dari $\pm 15\%$ semen, $\pm 8\%$ air, $\pm 3\%$ udara, selebihnya pasir dan kerikil. Campuran tersebut setelah mengeras mempunyai sifat yang berbedabeda, tergantung pada cara pembuatannya. Perbandingan campuran, cara pencampuran, cara mengangkut, cara mencetak, cara memadatkan, dan sebagainya akan mempengaruhi sifat-sifat beton. (Wuryati, 2001).

Beton merupakan hal yang paling utama dalam suatu konstruksi, hampir setiap aspek pembangunan tidak dapat terlepas dari pada suatu beton. Sebagian contoh pada suatu pekerjaan pembangunan jalan, gedung, jembatan serta pekerjaan pembangunan yang lain tentunya terbuat dari beton, sehingga dapat disimpulkan bahwa semua pekerjaan struktur atau pekerjaan pembangunan lainnya tak lepas dari adanya suatu beton, beton

merupakan gabungan yang terdiri dari agregat kasar dan agregat halus yang dicampur dengan air dan semen sebagai pengikat dan pengisi antara agregat kasar dan halus, kadang-kadang ditambahkan zat aditive atau admixture bila diperlukan (Subakti, 1995)

Beberapa sifat umum beton sebagai salah satu material konstruksi yang harus dipenuhi berdasarkan (SNI 03-2834-2000) adalah sebagai berikut:

1. Kelecatan (*workability*), yaitu sifat beton yang diukur dari tingkat kemudahan atau kesulitan adukan pada beton segar untuk dikerjakan (diaduk, diangkut, dituang, dan juga dipadatkan).
2. Keawetan (*durability*), yaitu sifat yang menunjukkan kemampuan beton dalam menahan kondisi eksternal, baik fisik, mekanik maupun kimia yang dapat merusak beton.
3. Kekuatan (*strength*), yaitu sifat beton dalam menahan beban yang akan diterimanya ketika telah ditempatkan pada struktur.
4. Ekonomis (*economics*), yaitu sifat beton sebagai material konstruksi harus dapat meminimalisir pemborosan biaya konstruksi secara keseluruhan Beton yang dibuat harus terjangkau.

a. Keunggulan dan kelemahan beton

Menurut (Tjokrodinuljo, 2007) beton memiliki beberapa kelebihan antara lain sebagai berikut:

- 1) Harga yang relatif lebih murah karena menggunakan bahan-bahan dasar yang umumnya mudah didapat.

- 2) Termasuk bahan yang awet, tahan aus, tahan panas, tahan terhadap pengkaratan atau pembusukan oleh kondisi lingkungan, sehingga biaya perawatan menjadi lebih murah.
- 3) Mempunyai kuat tekan yang cukup tinggi sehingga jika dikombinasikan dengan baja tulangan yang mempunyai kuat tarik tinggi sehingga dapat menjadi satu kesatuan struktur yang tahan tarik dan tahan tekan, untuk itu struktur beton bertulang dapat diaplikasikan atau dipakai untuk pondasi, kolom, balok, dinding, perkerasan jalan, landasan pesawat udara, penampung air, pelabuhan, bendungan, jembatan dan sebagainya.
- 4) Pengerjaan atau workability mudah karena beton mudah untuk dicetak dalam bentuk dan ukuran sesuai keinginan. Cetakan beton dapat dipakai beberapa kali sehingga secara ekonomi menjadi lebih murah.

Walaupun beton mempunyai beberapa kelebihan, beton juga memiliki beberapa kekurangan, menurut (Tjokrodimuljo, 2007) kekurangan beton adalah sebagai berikut ini:

- 1) Bahan dasar penyusun beton agregat halus maupun agregat kasar bermacam-macam sesuai dengan lokasi pengambilannya, sehingga cara perencanaan dan cara pembuatannya bermacam-macam.
- 2) Beton mempunyai beberapa kelas kekuatannya sehingga harus direncanakan sesuai dengan bagian bangunan yang akan dibuat,

sehingga cara perencanaan dan cara pelaksanaan bermacam-macam pula.

- 3) Beton mempunyai kuat tarik yang rendah, sehingga getas atau rapuh dan mudah retak. Oleh karena itu perlu diberikan cara-cara untuk mengatasinya, misalnya dengan memberikan baja tulangan, serat baja dan sebagainya agar memiliki kuat tarik yang tinggi.

b. Klasifikasi beton

Sifat dan karakteistik material penyusun beton akan mempengaruhi kinerja Beton yang dibuat, dalam pembuatan beton harus disesuaikan dengan kelas dan mutu beton (Mulyono, 2003). Menurut PBI-71 beton dibagi dalam kelas dan mutu sebagai berikut:

Tabel 2.1 Kelas dan Mutu Beton

Kelas Beton	Mutu Beton	Kekuatan Tekan (Kg/Cm^2)	Tujuan Pemakaian Beton
I	B0	50-80	Non Struktural
II	B1	100	Rumah Tinggal
	K125	125	Perumahan
	K175	175	Perumahan
	K225	225	Perumahan Dan Bendungan
III	>k225	>225	Jembatan, Bangunan Tinggi, Terowongan Kereta

Sumber : SNI 03-8793-2000

Beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi (2200 - 2500) kg/m^3 dibuat menggunakan agregat alam yang dipecah. Dengan agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan

mempunyai ukuran butir sebesar 5 mm dan agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir 5 mm - 40 mm. Memiliki nilai mutu kuat tekan (f_c) hingga 20 MPa dan minimal nilai faktor air semennya (f_{as}) tidak kurang dari 5% (SNI 03-2834-2000).

c. Faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton

1) Faktor air semen

Faktor air semen merupakan ukuran kekuatan beton, maka pada umumnya faktor ini merupakan kriteria yang paling utama dalam mendesain struktur beton. Biasanya dinyatakan dalam perbandingan berat air terhadap berat semen didalam campuran (Nawy, 1998). Faktor air semen yang diperlukan untuk mencapai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan didasarkan:

- a) Faktor air semen ialah perbandingan antara berat air dan berat semen didalam campuran adukan beton.
- b) Kekuatan beton sangat dipengaruhi oleh faktor air semen yang dipakai.

2) Umur beton

- a) Kekuatan beton (kuat tekan, kuat tarik, kuat lekat) bertambah tinggi dengan bertambahnya umur.
- b) Laju kenaikan kekuatan beton mula-mula cepat, akan tetapi makin lama laju kenaikan itu makin lambat. Oleh karena itu,

sebagai standar kekuatan beton yang dipakai kuat tekan beton pada umur 28 hari. Bila karena sesuatu hal diinginkan untuk mengetahui kekuatan paving block pada umur 28 hari, maka dapat dilakukan dengan menguji kuat tekan paving block pada umur 3 atau 7 hari dan hasilnya dikalikan dengan faktor tertentu untuk mendapatkan perkiraan kuat tekan beton pada umur 28 hari.

Tabel 2.2 Faktor Konversi Uji Kuat Tekan Beton

Umur	Faktor Konversi
3	0.4
7	0.65
14	0.88
21	0.95
28	1

Sumber : PBI, 1971

3) Agregat

- a) Pengaruh agregat terhadap kekuatan beton terutama adalah bentuk tekstur permukaan dan ukuran maksimalnya.
- b) Pengaruh kekuatan agregat sendiri terhadap kekuatan beton tidak begitu besar karena umumnya kekuatan agregat lebih tinggi dari pada kekuatan pasta semennya, kecuali pada beton dengan agregat beton dengan kuat tekan tinggi.

2. Material Penyusun Beton

a. Semen Portland

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 tambah berupa satu atau lebih bentuk Kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambah lain (SNI 15-2049-2004).

Menurut (SNI 15-2049-2004) tentang semen *Portland*, semen dibagi menjadi 5 (lima) jenis sesuai dengan tujuan pemakaiannya, yaitu :

- 1) Jenis I semen *Portland* untuk konstruksi umum, yang tidak memerlukan persyaratan khusus.
- 2) Jenis II semen *Portland* untuk konstruksi yang agak tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- 3) Jenis III semen *Portland* untuk konstruksi dengan syarat kekuatan awal yang tinggi.
- 4) Jenis IV semen *Portland* untuk konstruksi dengan syarat panas hidrasi yang rendah.
- 5) Jenis V semen *Portland* untuk konstruksi dengan syarat sangat tahan terhadap sulfat.

Syarat kimia dan sifat fisik semen PCC, sebagai berikut:

Tabel 2.3 Persyaratan Kimia Semen *Portland*

No	Uraian	Jenis Semen <i>Portland</i>				
		I	II	III	IV	V
1	SiO ₂ , minimum	-	20,0	-	-	-
2	Al ₂ O ₃ , maksimum	-	6,0	-	-	-
3	Fe ₂ O ₃ , maksimum	-	6,0	-	6,5	-
4	MgO, maksimum	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
5	SO ₃ , maksimum					
	Jika C ₃ A ≤ 8,0	3,0	3,0	3,5	2,3	2,3
	Jika C ₃ A > 8,0	3,5	-	4,5	-	-
	Hilang pijar					
6	Maksimum	5,0	3,0	3,0	2,5	3,0
7	Bagian tak larut		1,5	1,5	1,5	1,5
	Maksimum	3,0	-	-	35	-
	C ₃ S, maksimum	-	-	-	40	-
8	C ₂ S, minimum	-	8,0	15	7	5
9	C ₃ A, maksimum	-	-	-	-	25
10	C ₄ AF+2 C ₃ A atau	0				
11	C ₄ AF+C ₂ F, maksimum	-				

Sumber : (SNI 15-2049-2004)

Fungsi semen secara umum adalah untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak atau padat walaupun semen hanya mengisi kira-kira 10%-30% dari volume beton. Kekuatan semen merupakan hasil dari proses hidrasi. Proses kimiawi ini berupa rekristalisasi dalam bentuk *interlocking crystals* sehingga membentuk gel semen yang akan mempunyai kuat tekan tinggi apabila mengeras (Siswanto, 2012).

b. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Pengaruh kekuatan agregat terhadap beton begitu besar, karena umumnya kekuatan agregat lebih besar dari kekuatan pasta semennya. Kira-kira 70 % volume mortar atau beton diisi oleh agregat. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar atau beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar atau beton (Tjokrodinuljo, 1996).

Sifat agregat yang paling berpengaruh terhadap kekuatan beton adalah berat jenis, berat satuan, serapan air, gradasi butiran, keausan dan kekerasan (Tjokrodinuljo, 2004). Dua jenis agregat antara lain:

1) Agregat halus

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil dari disintegrasi alam batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 4,75 mm (No.4). (SNI 03-2847-2002).

Menurut standar SK SNI S-04-1989-F, agregat halus harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- a) Butir-butirnya tajam dan keras dengan indeks kekerasan $< 2,2$
- b) Kekal, tidak mudah pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca (terik matahari dan hujan). Jika diuji dengan larutan garam

natrium sulfat bagian yang hancur maksimal 12% jika dengan garam magnesium sulfat maksimum 18%.

- c) Tidak mengandung lumpur (butiran halus yang lewat ayakan 0,06 mm) lebih dari 5%.
- d) Tidak mengandung zat organik yang terlalu banyak, yang dibuktikan dengan larutan 3% NaOH, yaitu warna cairan diatas endapan diatas agregat halus tidak boleh lebih gelap dari pada warna standar pembanding.
- e) Modulus halus butir memenuhi antara 1,50 – 3,80 dan sesuai dengan variasi butir sesuai dengan standar gradasi.
- f) Agregat halus dari laut/pantai, boleh dipakai asal dengan petunjuk lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.

Tabel 2.4 Gradasi agregat halus

Ukuran saringan ayakan				% lolos saringan / ayakan			
				Pasir kasar	Pasir sedang	Pasir agak halus	Pasir halus
Mm	SNI	ASTM	Inch	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
9,5	9,6	3/8 in	0,375	100-100	100-100	100-100	100-100
4,75	4,8	No.4	0,187	90-100	90-100	90-100	95-100
2,36	2,4	No.8	0,0937	60-95	75-100	85-100	95-100
1,18	1,2	No.16	0,0469	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	0,6	No.30	0,0234	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	0,3	No. 50	0,0117	5'-20	8'-30	12'-40	15-50
0,15	0,15	No.100	0,0059	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : (SNI 03-2834-2000)

2) Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam campuran beton biasanya berupa kerikil dari batuan alam atau dapat berupa batu

pecah yang diperoleh dari pemecahan batu dengan ukuran butiran lebih dari 4,8 mm. pada umumnya yang dimaksud agregat kasar adalah agregat dengan besar butiran lebih dari 5 mm. Menurut (SK SNI S-04-1989-F) agregat kasar yang akan digunakan untuk membuat campuran beton harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut:

1. Kerikil atau batu pecah maupun granit harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori. Kadar bagian yang lemah bila diuji dengan goresan batang tembaga maksimum 5%. Kekerasan agregat kasar diperiksa dengan bejana penguji Rudolff dengan beban penguji 20 ton.
2. Agregat yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melebihi 20% dari berat agregat seluruhnya.
3. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti matahari dan hujan.
4. Sifat kekal, diuji dengan larutan garam sulfat.
5. Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian hancur maksimum 12%.
6. Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian hancur maksimum 10%.
7. Tidak boleh mengandung bahan yang relatif terhadap alkali. 31
8. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (terhadap berat kering) dan apabila mengandung lebih dari 1%, agregat kasar harus dicuci.

9. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, susunan besar butir mempunyai modulus kehalusan antara 6 - 7,1 dan harus memenuhi syarat-syarat berikut :
- Sisa diatas ayakan 38 mm harus maksimum 0% berat.
 - Sisa diatas ayakan 4,8 mm harus berkisar antara 90 dan 98% berat.
 - Selisih antara sisa-sisa kumulatif diatas 2 ayakan berurutan adalah maksimum 60% dan minimum 100%.

Tabel 2.5 Batas Susunan Butir Agregat Kasar

				% lolos Saringan/ayakan		
Ukuran Saringan / ayakan				Ukuran maks. 10 mm	Ukuran maks. 20 mm	Ukuran maks. 40 mm
mm	SNI	ASTM	Inch			
75	78	3 In	3			100 – 100
37,5	38	1 ½	1,5		100 – 100	95 – 100
19	19	¾	0,75	100 - 100	95 – 100	35 – 70
9,5	9,6	3/8	0,375	50 - 85	30 – 60	10 – 40
4,75	4,8	No. 4	0,187	0 - 10	0 - 10	0 – 5

Sumber : SNI 03 – 2834 - 2000

c. Air

Air merupakan salah satu bahan yang sangat penting dalam pembuatan beton. Air digunakan untuk memicu proses kimiawi semen yang akan menjadi pasta pengikat agregat.

Air yang dapat digunakan sebagai bahan pembuatan beton ialah air yang tidak mengandung minyak, asam, fosfat, alkali, bahan organik dan bahan-bahan lain yang dapat merusak beton. Selain itu air tersebut juga harus air yang bersih, tidak berbau, dan tidak keruh.

Air merupakan bahan penyusun beton yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen, yang juga berfungsi sebagai pelumas antara butiran-butiran agregat agar dapat dikerjakan dan dipadatkan. Proses hidrasi dalam beton segar membutuhkan air kurang lebih 25% dari berat semen yang digunakan. Dalam kenyataan, jika nilai faktor air semen kurang dari 35%, beton segar menjadi tidak dapat dikerjakan dengan sempurna, sehingga setelah mengeras beton yang dihasilkan menjadi keropos dan memiliki kekuatan yang rendah. Kelebihan air dari proses hidrasi diperlukan untuk syarat-syarat kekentalan (consistency), agar dapat dicapai suatu kelecakan (workability) yang baik baik. Kelebihan air ini selanjutnya akan menguap atau tertinggal didalam beton yang sudah mengeras, sehingga menimbulkan pori-pori (capillary poreous) (Nugroho, 2020).

Menurut SNI 03-2847-2002 bahwa air yang digunakan pada pembuatan beton harus memenuhi syarat-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 beton atau tulangan.

2. Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang didalamnya 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 pada Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.

d. Abu sekam padi

Abu sekam padi merupakan limbah yang diperoleh dari hasil pembakaran sekam padi yang memiliki unsur bermanfaat untuk meningkatkan mutu beton.

Abu sekam padi merupakan material yang bersifat pozzolanic dalam arti kandungan material terbesarnya adalah silika SiO_2 yang baik untuk digunakan dalam campuran pozzolan kapur yaitu mengikat kapur bebas yang timbul pada waktu hidrasi semen. Silika SiO_2 dapat bereaksi dengan kapur membentuk klasium silika hidrat CaSiH_2 sehingga menghasilkan ketahanan dari beton bertambah besar karena berkurangnya kapur. Pada pembakaran sekam padi, semua komponen organik di ubah menjadi gas karbondioksida (CO_2) dan Air (H_2O) dan tinggal abu yang merupakan komponen anorganik. (Nugroho, 2020).

e. Limbah Beton Pengujian

Limbah beton adalah hasil dari proses olahan limbah yang telah dipilah dan dihancurkan dengan ukuran 4-6 cm untuk digunakan dalam campuran beton. Agregat dari limbah beton merupakan salah satu agregat buatan (artificial aggregates) yang dibuat dari daur ulang limbah beton. Limbah beton yang digunakan berasal dari bekas penelitian. Kekuatan dari limbah beton dikatakan hampir sama dengan agregat kasar batu alam mengingat limbah beton pada dasarnya menggunakan bahan dari batu alam. Menurut (Tjokrodimuljo, 1992) untuk dapat digunakan limbah beton harus memenuhi syarat-syarat yang sesuai dengan agregat kasar, antara lain:

- a. Butir-butir keras agar menghasilkan beton yang bersifat keras.
- b. Tidak berpori, karena agregat kasar yang berpori mudah menghasilkan beton yang tidak kedap air.
- c. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, yang dimaksud kekal adalah tidak mudah pecah atau hancur akibat perubahan cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
- d. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%, jika lebih dari 1% maka harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan.
- e. Tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak batuan, seperti zat-zat yang bersifat reaktif terhadap alkali.
- f. Agregat kasar dengan bentuk pipih hanya boleh digunakan dengan jumlah yang tidak lebih dari 20% dari berat agregat kasar keseluruhan. Karena butiran yang berbentuk demikian kurang baik

untuk mendukung beban, memiliki rongga dan gesekan yang besar sehingga memerlukan pasta semen dalam jumlah yang banyak dan,
g. Gradasi agregat kasar harus memenuhi syarat seperti Tabel 2.4.

3. Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton (*mix design*) dimaksudkan untuk mengetahui komposisi dan proporsi bahan-bahan penyusun beton. Proporsi campuran dari bahan-bahan penyusun beton ini ditentukan melalui sebuah perencanaan campuran beton (*mix design*). Perencanaan campuran beton (*mix design*) terdiri dari beberapa tahap perhitungan. Dalam perencanaan campuran beton (*mix design*) ada beberapa macam metode yang dapat dilakukan, antara lain:

- 1) Metode DOE (Department of Environment).
- 2) SNI 03-2834-2000
- 3) Metode ACI (American Concrete Institute).
- 4) Metode British Standard.
- 5) Metode Dreux.

Penelitian ini menggunakan metode SNI 03-2834-2000 “Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal”. Adapun tahapan-tahapan dalam perencanaan campuran beton tersebut sebagai berikut ini:

- a. Menentukan kuat tekan beton karakteristik yang direncanakan (f_c') pada umur tertentu.

Tabel 2.6 Notasi Kuat Tekan Beton

Notasi	Bentuk benda uji	Ukuran	umur
K	Kubus	15 x 15 x 15	28 hari
Fc`	Silinder	D 15 cm x tinggi 30 cm	28 hari

Sumber : SNI 03-2834-2000

b. Menentukan Jenis Semen *Portland*

Menurut SNI 15-2049-2004 di Indonesia semen Portland dibedakan menjadi lima jenis yaitu tipe I, II, III, IV, V. Jenis I merupakan jenis semen yang biasa, sedangkan jenis III merupakan semen yang dipakai untuk struktur yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi, atau disebut cepat mengeras. Pada langkah ini menetapkan apakah dipakai semen biasa atau semen yang cepat mengeras. Pada penelitian ini digunakan semen Portland Tipe I karena beton yang akan digunakan tidak memerlukan persyaratan khusus.

c. Menetapkan Jenis Agregat

Jenis agregat kasar dan agregat halus ditetapkan, apakah berupa alami atau batu pecah, pada penelitian ini digunakan agregat kasar batu pecah dan agregat halus alami.

d. Menetapkan Faktor Air Semen (FAS)

Untuk mengetahui nilai faktor air semen yang diperoleh dapat dilakukan dengan dua cara berikut, yaitu :

- 1) Berdasarkan jenis semen yang dipakai, jenis agregat kasar, dan kuat tekan rata-rata yang direncanakan pada umur tertentu. Nilai faktor air semen ditetapkan dengan tabel 2.6 dan gambar grafik 2.1

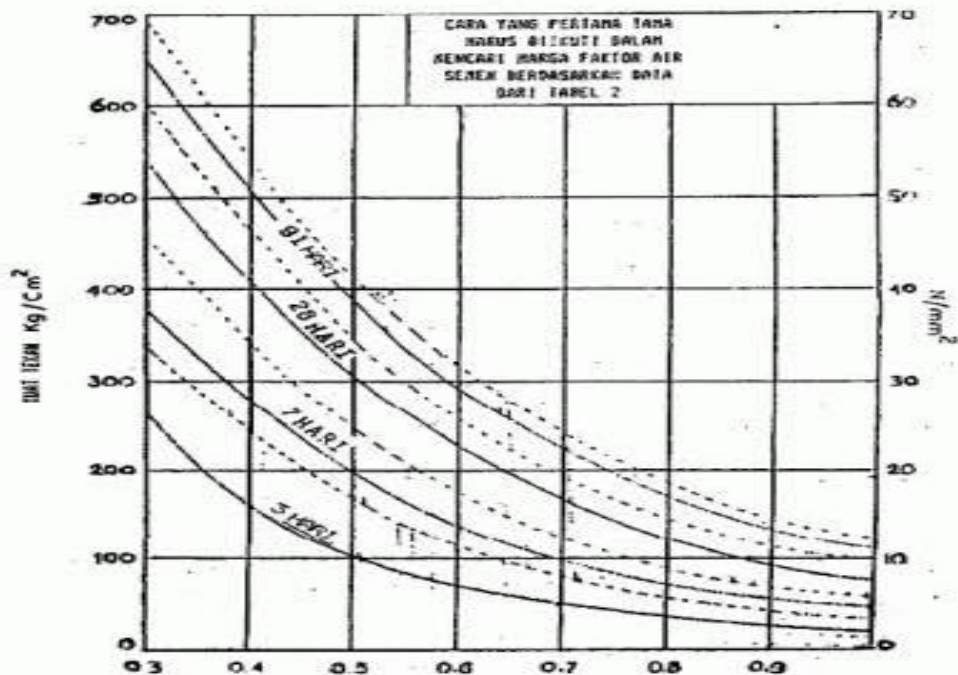
hubungan faktor air semen dan kuat tekan, dengan langkah sebagai berikut :

- a) Tentukan nilai kuat tekan pada umur 28 hari dengan menggunakan tabel 2.6 sesuai dengan semen dan agregat yang akan dipakai.
- b) Pada gambar grafik hubungan faktor air semen dan kuat tekan, tarik garis tegak lurus ke atas melalui faktor air semen 0,5 sampai memotong kurva kuat tekan yang ditentukan pada tabel 32.6.
- c) Tarik garis datar melalui nilai kuat tekan yang ditargetkan sampai memotong kurva yang ditentukan pada sub butir diatas.
- d) Tarik garis tegak lurus kebawah melalui titik potongan tersebut untuk mendapatkan faktor air semen yang diperluka

Tabel 2.7 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air Semen dan Agregat Kasar yang Biasa dipakai di Indonesia.

Jenis semen	Jenis agregat kasar	Kekuatan tekan (MPa)				Bentuk uji
		Umur (hari)				
		3	7	28	91	
Semen Portland tipe I	Alami	17	23	33	40	Silinder
	Pecah	29	27	37	45	
Semen Portland tipe II,V	Alami	20	28	40	48	Kubus
	Pecah	25	32	45	54	
Semen Portland tipe III	Alami	21	28	38	44	Silinder
	Pecah	25	33	44	48	
	Alami	25	31	46	53	Kubus
	pecah	30	40	53	60	

Sumber : SNI 03-2834-2000



Sumber : SNI 03-2834-2000

Gambar 2.1 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (benda uji berbentuk silinder diameter 150mm & tinggi 300 mm)

- 2) Berdasarkan kondisi lingkungan khusus, faktor air semen maksimum harus memenuhi SNI 03-1915-1992 tentang spesifikasi beton tahan sulfat dan SNI 03-2914-1994 tentang spesifikasi beton bertulang kedap air.

Tabel 2.8 persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus

Lokasi	Jumlah semen minimum per m ³ beton (Kg)	Nilai f.a.s maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,6
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau korosif	325	0,52
Beton diluar ruangan :		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,6
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,6
Beton masuk kedalam tanah:		
a. Mengalami keadaan basah dank ring berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		-
Beton yang kontinu berhubungan :		
a. Air tawar		
b. Air laut		

Tabel 2.8

Sumber : SNI 03-2834-2000

Tabel 2.9 Ketentuan minimum untuk beton bertulang dalam air

Jenis beton	Lokasi dsn kondisi lingkungan	f.a.s maksimum	Tipe semen	Kandungan semen minimum (Kg/m ³)	
				Ukuran maksimum agregat (mm)	
				40	20
Beton bertulang atau prategang	Air tawar	0,50	Tipe V	280	300
	Air payau	0,45	Tipe I + Pozzolan (15 – 40%) atau semen Portland pozzolan	340	380
	Air laut	0,45	Tipe II atau V	330	370

Sumber : SNI 03-2834-2000

Dari tabel diatas, nilai fas yang digunakan adalah nilai fas yang terkecil.

e. Menetapkan nilai slump

Penetapan nilai slump dilakukan dengan memperhatikan pelaksanaan pembuatan, pengangkutan, penuangan, pemadatan maupun jenis strukturnya

Tabel 2.10 Nilai Slump Untuk Berbagai Jenis Pekerjaan Beton

Uraian	Slump (cm)	
	maksimum	Minimum
Dinding pelat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Pondasi telapak tidak bertulang, kaisan dan konstruksi bawah tanah	9,0	2,5
Pelat, balok, kolom dan dinding	15,0	7,5
Perkerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan normal	7,5	2,5

Sumber : SNI 03-2834-2000

f. Menetapkan kadar air bebas

Kadar air bebas adalah kebutuhan air per 1 m³ beton. Nilai kadar air bebas dapat ditentukan dari tabel 2.9, kemudiang dihitung menggunakan persamaan (2.1).

Tabel 2.11 perkiraan kebutuhan air per 1 m³ beton

Ukuran maksimum agregat (mm)	Jenis agregat kasar	Slump (mm)			
		0 -10	10 - 30	30 -60	60 -180
10	Alami	150	180	205	225
	Pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	195
	Pecah	170	190	210	225
40	Alami	115	140	160	175
	Pecah	155	175	190	205

Sumber : SNI 03-2834-2000

$$W = \frac{2}{3} Wh + \frac{1}{3} Wk \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

W = Jumlah air yang dibutuhkan (liter/m³)

Wh = perkiraan jumlah air untuk agregat halus

Wk = perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

g. Penetapan besar butir agregat maksimum.

Penetapan besar butir agregat maksimum dilakukan berdasarkan nilai terkecil dari ketentuan-ketentuan berikut :

- 1) Seperlima jarak terkecil antara bidang samping dari cetakan.
- 2) Sepertiga dari tebal pelat.
- 3) Tiga perempat dari jarak bersih minimum antar batang-batang atau berkas-berkas tulangan.

h. Menetapkan kebutuhan semen yang diperlukan

Semen adalah perekat hidraulis bahan bangunan, perekatan terjadi bila bercampur dengan air. Sebagai bahan perekat dalam campuran beton, maka perlu dihitung kebutuhan semen untuk menghasilkan beton yang baik sesuai yang diinginkan.

Kebutuhan semen dapat ditentukan dengan dua cara berikut ini.

1) Menghitung Kebutuhan Semen

Untuk menghitung jumlah kebutuhan semen, maka digunakan persamaan 2.2

$$W_{\text{semen}} = \frac{W_{\text{air}}}{f_{\text{as}}} \dots\dots\dots(2.2)$$

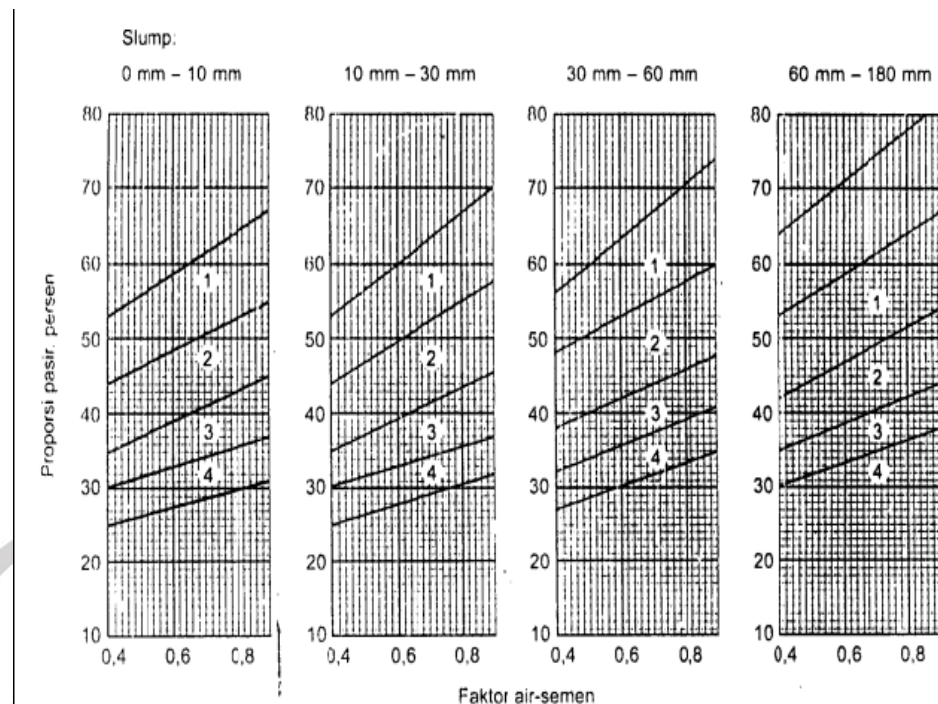
2) Menentukan kebutuhan minimum

Kebutuhan semen minimum dapat ditentukan berdasarkan tabel 2.8, 2.9, dan tabel 2.10

Jika kebutuhan semen yang diperoleh dari cara pertama ternyata lebih sedikit dari pada kebutuhan semen minimum (cara kedua), maka kebutuhan semen yang diambil adalah yang terbesar dari kedua cara tersebut. Jika kebutuhan semen yang digunakan adalah kebutuhan semen minimum (cara kedua), maka nilai faktor air semen juga akan berubah.

i. Menghitung Perbandingan agregat halus dan agregat kasar

Nilai banding antara agregat halus dan agregat kasar diperlukan untuk memperoleh gradasi aregat campuran yang baik. Penetapan dilakukan dengan memperhatikan besar butir maksimum agregat kasar, nilai slump, faktor air semen, dan daerah gradasi agregat halus. Dalam penelitian ini agregat kasar yang digunakan maksimum 40 mm.



Sumber: SNI 03-2834-2000

Gambar 2.2 Grafik persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 40 mm.

j. Berat jenis agregat campuran

Berat jenis agregat campuran dihitung dengan rumus :

$$Bj \text{ camp} = \frac{p}{100} \times bj \text{ ah} + \frac{k}{100} \times bj \text{ ak} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

Bj camp = berat jenis agregat campuran.

Bj ah = berat jenis agregat halus.

Bj ak = berat jenis agregat kasar.

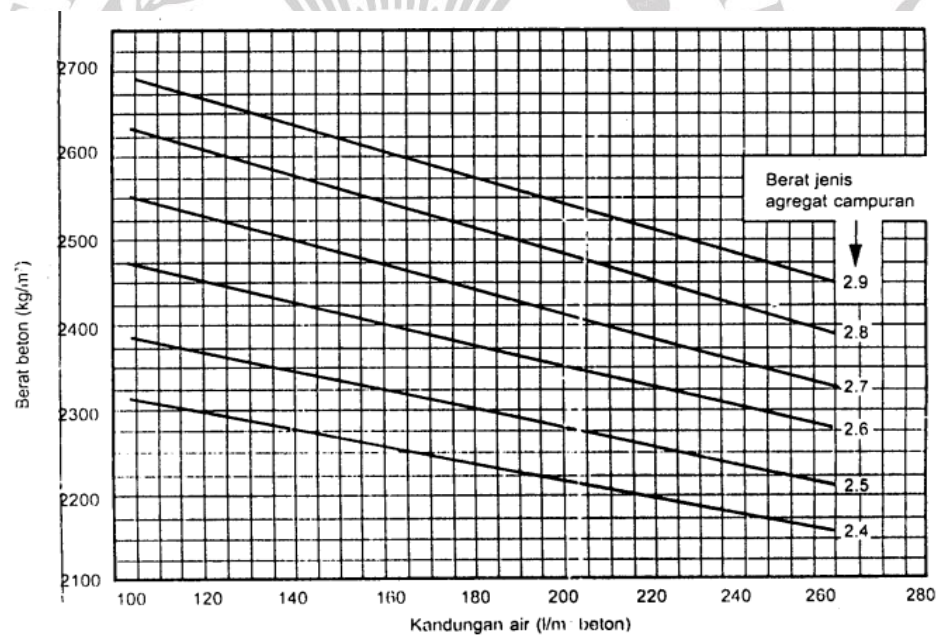
P = persentase agregat halus terhadap agregat campuran.

K = persentase agregat kasar terhadap agregat campuran.

Berat jenis agregat halus dan agregat kasar diperoleh dari hasil pemeriksaan laboratorium, namun jika tidak ada dapat diambil sebesar 2,60 untuk agregat tak pecah/alami dan 2,70 untuk agregat pecahan.

k. Menentukan berat isi beton basah

Beton isi basah adalah berat dari campuran beton (agregat kasar, agregat halus, semen, dan air) dalam perbandingan tertentu, yang telah diaduk dan selesai dipadatkan. Untuk menentukan berat isi beton basah dapat digunakan grafik pada Gambar 3.2 dengan memasukkan nilai berat jenis gabungan agregat dan nilai kadar air bebas yang sudah ditentukan sebelumnya.



Sumber: SNI 03-2834-2000

Gambar 2.3 Grafik perkiraan berat isi beton basah yang telah selesai didapatkan

4. Pengujian Bahan Material

1) Uji Gradasi Agregat

Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pemeriksaan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan. Tujuan pada pengujian ini adalah untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah presentase butiran baik agregat halus dan agregat kasar. metode pengujian jenis tanah ini mencakup jumlah dan jenis-jenis tanah baik agregat halus maupun agregat kasar.

Berdasarkan analisa saringan, kemudian dicari prosentase jumlah komulatif agregat dengan rumus:

$$(MHB) = \frac{\text{Jumlah berat tertahan komulatif (\%)}}{\text{Jumlah berat tertahan (\%)}} \dots\dots\dots(2.4)$$

2) Uji berat jenis dan penyerapan air

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*saturated surface dry* =SSD), berat jenis semua (*apparent*) dari agregat berat jenis (*bulk specific gravity*) ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.

Rumus perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat halus sebagai berikut:

$$\text{Berat jenis kering} = \frac{BK}{B+500-Bt} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = \frac{500}{B+500-Bt} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{BK}{B+BK-Bt} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\text{Penyerapan air} = \frac{500-BK}{BK} \times 100 \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

Bk = Berat benda uji kering oven (gr)

B = Berat piknometer berisi air (gr)

Bt = Berat piknometer berisi benda ujidan air (gr)

500 = Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gr)

3) Uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*saturated surface dry* = SSD), berat jenis semua (*apparent*) dari agregat berat jenis (*bulk specific gravity*) ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.

Rumus perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat halus sebagai berikut:

$$\text{Berat jenis kering} = \frac{BK}{Bj-Ba} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = \frac{Bj}{Bj-Ba} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{BK}{BK-Ba} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\text{Penyerapan air} = \frac{Bj-BK}{BK} \times 100 \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan :

Bk = Berat benda uji kering oven (gr)

Bj = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gr)

Ba = Berat benda uji kering permukaan jenuh didalam air (gr)

4) Pengujian kadar air agregat

Rumus perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat halus sebagai berikut:

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \dots\dots\dots(2.13)$$

5) Pemeriksaan kadar lumpur pada agregat

Pemeriksaan kadar lumpur dalam agregat halus (pasir) bertujuan untuk menentukan besarnya (persentase) kadar lumpur dalam agregat yang digunakan sebagai campuran beton. Kandungan lumpur < 5 % merupakan ketentuan bagi penggunaan agregat halus untuk pembuatan beton. Pemeriksaan kadar lumpur dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

a. Kandungan air = $B_1 - B_2 \dots\dots\dots(2.14)$

b. Kadar lumpur = $\frac{B_1 - B_2}{B_1} \times 100\% \dots\dots\dots(2.15)$

Keterangan:

B1 = pasir jenuh kering muka (gr)

B2 = pasir kering oven (gr)

6) Uji *Los Angeles*

Uji *Los Angeles* Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan mempergunakan mesin *Los Angeles*. Keausan tersebut dinyatakan dalam perbandingan antara berat bahan aus melalui saringan No 12. Terhadap berat semula dalam persen. Dalam uji keausan menggunakan mesin *los angeles* agregat kasar dibagi dalam beberapa gradasi diantaranya (SNI 2417:2008):

- a. Gradasi A adalah material agregat kasar dari ukuran butir maksimum 37,5 mm (1½ inci) sampai dengan agregat ukuran butir 9,5 mm (3/8 inci).
- b. Gradasi B adalah material agregat kasar dari ukuran butir maksimum 19,0 mm (¾ inci) sampai dengan agregat ukuran butir 9,5 mm (3/8 inci).
- c. Gradasi C adalah material agregat kasar dari ukuran butir maksimum 9,5 mm (3/8 inci) sampai dengan agregat ukuran butir 4,75 mm (saringan No. 4).
- d. Gradasi D adalah material agregat kasar dari ukuran butir maksimum 4,75 mm (saringan No.4) sampai dengan agregat ukuran butir 2,36 mm (saringan No.8).
- e. Gradasi E adalah material agregat kasar dari ukuran butir maksimum 75 mm (3 inci) sampai dengan agregat ukuran butir 37,5 mm (1½ inci).

- f. Gradasi F adalah material agregat kasar dari ukuran butir maksimum 50 mm (2,0 inci) sampai dengan agregat ukuran butir 25,0 mm (1,0 inci).
- g. Gradasi G adalah material agregat kasar dari ukuran butir maksimum 37,5 mm (1½ inci) sampai dengan agregat ukuran butir 19,0 mm (¾ inci).

Berikut rumus untuk menghitung keausan agregat :

$$\text{Keausan} = \frac{A-B}{A} \times 100\% \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan :

A = Berat benda uji semula (gram)

B = Berat benda uji tertahan saringan no 12 (gram)

5. Uji Kuat Tekan Beton

Dalam uji kuat tekan beton terdiri dari penggunaan beban tekan aksial terhadap benda uji beton berbentuk silinder yang telah dicetak. Kemudian dilakukan pembebanan yang berada dalam batas yang telah ditentukan dengan menggunakan alat uji tekan beton sehingga terjadi kehancuran. Kuat tekan benda uji dihitung dengan membagi beban maksimum yang diterima selama pengujian dengan luas penampang benda uji. Hasil pengujian ini dapat digunakan sebagai dasar untuk pengembalian mutu dari komposisi campuran beton, proses pencampuran dan kegiatan dalam pengecoran beton, penentuan hasil pekerjaan yang memenuhi spesifikasi, dan evaluasi keefektifan bahan tambah serta pengendalian kesetaraan penggunaannya (SNI 03-1974-2011).

Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian standar SNI 03- 1974-1990 menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan secara bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu. Benda uji berupa silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Kemudian benda uji ditekan dengan mesin tekan sampai pecah.

Kuat tekan beton dapat dihitung menggunakan rumus 2.

$$f_c' = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan :

f_c' = Kuat tekan beton (MPa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

Kuat tekan rata-rata dari contoh uji dihitung dari jumlah kuat tekan dibagi jumlah contoh uji. Dalam reaksi dari pembebanan tekan (P) yang diberikan oleh mesin uji tekan (*Compression Test Machine*) akan diterima oleh seluruh daerah luasan penampang secara merata hingga terjadi keruntuhan pada benda uji beton.