

ANALISIS PERBANDINGAN KUAT TEKAN BETON DENGAN MENGGUNAKAN AGREGAT HALUS PASIR CITARIK (SUKABUMI) DAN PASIR JEBROD (CIANJUR)

Imam Ashari,¹⁾ Hikmad Lukman,²⁾ Titik Penta Artiningsih³⁾

ABSTRAK

Beton ialah campuran antara semen Portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambahan sehingga membentuk massa yang kuat, padat dan stabil. Agregat merupakan salah satu material pembentuk beton dengan komposisi agregat dalam campuran beton berkisar 70% - 75%. Pasir merupakan salah satu jenis agregat halus yang biasa digunakan untuk membuat beton, baik pasir dari sungai, pasir dari letusan gunung berapi, pasir buatan ataupun pasir galian. Pasir Citarik merupakan jenis agregat halus yang berasal dari aliran sungai Citarik di Desa Cidadap Kecamatan Simpenan Kabupaten Sukabumi, sedangkan pasir Jebrod merupakan jenis agregat halus yang berasal dari galian tanah di Desa Cibinong Hilir Kecamatan Cilaku Kabupaten Cianjur dimana kedua jenis pasir tersebut belum diketahui kualitasnya terutama dari segi kuat tekan beton yang dihasilkan. Penelitian yang dilakukan ialah studi eksperimental dengan terlebih dahulu melakukan pengujian kelayakan kedua jenis pasir tersebut sebagai material pembentuk beton. Benda uji yang digunakan ialah beton dengan menggunakan pasir Citarik dan beton dengan menggunakan pasir Jebrod untuk mengetahui perbandingan kuat tekan beton yang dihasilkan dari kedua jenis beton tersebut. Bahan material yang digunakan untuk membuat benda uji ialah pasir Citarik, pasir Jebrod, semen Portland tipe I, agregat kasar berupa batu pecah dan air. Benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat tekan berbentuk silinder dengan diameter 150 mm serta tinggi 300 mm.

Hasil pengujian kuat tekan pada umur 7 hari dengan beton menggunakan pasir Citarik memiliki nilai kuat tekan rata-rata 3,662 MPa dan beton menggunakan pasir Jebrod memiliki nilai kuat tekan rata-rata 7,079 MPa. Pengujian kuat tekan pada umur 14 hari dengan beton menggunakan pasir Citarik memiliki nilai kuat tekan rata-rata 5,305 MPa dan beton menggunakan pasir Jebrod memiliki nilai kuat tekan rata-rata 9,420 MPa. Pengujian kuat tekan pada umur 28 hari dengan beton menggunakan pasir Citarik memiliki nilai kuat tekan rata-rata 6,249 MPa dan beton menggunakan pasir Jebrod memiliki nilai kuat tekan rata-rata 9,836 MPa. Perbandingan kuat tekan rata-rata beton menggunakan pasir Citarik dengan beton menggunakan pasir Jebrod ialah 1 : 1,93 pada umur beton 7 hari. Perbandingan kuat tekan rata-rata beton menggunakan pasir Citarik dengan beton menggunakan pasir Jebrod ialah 1 : 1,78 pada umur beton 14 hari. Perbandingan kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari beton menggunakan pasir Citarik dengan beton menggunakan pasir Jebrod ialah 1 : 1,57.

Kata kunci : Beton pasir Citarik, Beton pasir Jebrod, perbandingan kuat tekan

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan salah satu komponen penting dalam struktur bangunan yang memiliki nilai kuat tekan yang dapat direncanakan, sehingga berguna untuk menahan beban dari komponen bangunan. Berdasarkan SNI 7656 : 2012, beton merupakan campuran antara semen Portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambahan sehingga

membentuk massa yang padat, kuat dan stabil. Dalam pemilihan komponen material pembentuk beton haruslah sangat diperhatikan, karena kualitas dari material yang digunakan sangat mempengaruhi mutu beton yang dihasilkan. Pasir ialah agregat halus alam yang merupakan salah satu komponen pembentuk beton yang harus diperhatikan, mulai dari ukuran butir pasirnya, berat jenisnya, serta kandungan kadar lumpurnya.

Di daerah Sukabumi terdapat pasir yang berasal dari Sukabumi yaitu pasir yang berasal dari sungai Citarik, akan tetapi masyarakat Sukabumi lebih memilih pasir Jebrod yang berasal dari Cianjur dengan alasan kualitasnya jauh lebih baik, terutama dari segi kuat tekan beton yang dihasilkan tanpa adanya pengujian laboratorium terlebih dahulu terhadap kedua jenis pasir tersebut. Dengan alasan tersebut masyarakat Sukabumi lebih memilih untuk menggunakan pasir Jebrod, akan tetapi harga dari pasir Jebrod tersebut jauh lebih mahal jika dibandingkan dengan pasir Citarik.

1.2 Maksud dan Tujuan

Maksud dilakukannya penelitian ini ialah untuk mengetahui kelayakan kedua jenis agregat halus tersebut sebagai material pembentuk beton dengan kriteria yang telah ditentukan, serta untuk mengetahui besar kuat tekan beton dengan menggunakan pasir Citarik (Sukabumi) dan besar kuat tekan beton dengan menggunakan pasir Jebrod (Cianjur).

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini ialah dapat membandingkan kedua jenis agregat halus yaitu pasir Citarik (Sukabumi) dan pasir Jebrod (Cianjur) sebagai bahan campuran pembentuk beton baik dari segi kualitas, biaya serta kuat tekan beton yang dihasilkan.

1.3 Batasan Masalah

Begitu banyak jenis material yang digunakan selama proses pembuatan beton sebagai benda uji dalam penelitian, sehingga dalam proses penelitian diberikan batasan-batasan masalah sebagai berikut :

1. Metode perhitungan campuran beton menggunakan SNI 7656 : 2012 “Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat Dan Beton Massa”.
2. Material yang digunakan dalam proses penelitian ini ialah :
 - a. Agregat halus yaitu pasir Citarik yang diambil dari Sukabumi.
 - b. Agregat halus yaitu pasir Jebrod yang diambil dari Cianjur.
 - c. Agregat kasar yaitu berupa batu pecah atau batu split.

- d. Pengikat agregat halus dan agregat kasar berupa semen dengan tipe PCC (*Portland Composite Cement*).
 - e. Air yang digunakan yaitu air di Laboratorium Beton Fakultas Teknik Universitas Pakuan Bogor.
3. Rencana mutu beton sebagai benda uji dalam penelitian ialah $f'c = 20$ MPa.
 4. Metode pembuatan serta perawatan beton sebagai benda uji menggunakan SNI 2493 : 2011 “Tata Cara Pembuatan Dan Perawatan Benda Uji Beton Di Laboratorium”.
 5. Metode pengujian *slump test* menggunakan SNI 1972 : 2008 “Cara Uji Slump Beton”.
 6. Untuk proses uji kuat tekan beton, metode yang digunakan sesuai dengan SNI 1974 : 2011 “Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Benda Uji Silinder”.
 7. Proses pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur beton 7 hari, 14 hari dan 28 hari dengan benda uji berjumlah 18 benda uji berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.
 8. Proses pengujian material, pembuatan beton, perawatan beton serta pengujian kuat tekan beton terhadap beban yang diberikan dilakukan di Laboratorium Beton Fakultas Teknik Universitas Pakuan Bogor.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Beton

Beton ialah salah satu bentuk dari perkembangan teknologi konstruksi, sedangkan pengertian beton itu sendiri ialah dalam bahasa Inggris beton sering disebut *concrete* yang berasal dari bahasa latin yaitu *concreteus* yang berarti tumbuh bersama dan digabungkan menjadi satu. Beton secara umum ialah sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya.

2.2 Material Pembentuk Beton

2.2.1 Semen Portland

Semen merupakan serbuk halus yang digunakan sebagai pengikat hidraulik agregat halus dan agregat kasar yang

secara kimiawi dapat aktif setelah bercampur dengan air. Semen yang dicampur dengan air akan menjadi pasta semen, sedangkan pasta semen yang ditambahkan dengan agregat halus akan menjadi mortar yang jika digabungkan dengan dengan agregat kasar akan menjadi campuran beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras (*concrete*).

2.2.2 Agregat

Agregat ialah butiran mineral dari batuan alami atau dari hasil pemecahan batuan alami yang merupakan bahan pengisi dalam campuran beton yang diikat oleh semen *portland* yang digabungkan dengan air (pasta semen).

Berdasarkan SNI 1969 : 2016, agregat dapat dibedakan menjadi tiga kelompok yaitu :

1. Agregat dengan berat isi dalam keadaan kering dan gembur sebesar 1100 kg/m^3 atau kurang dikelompokkan menjadi agregat ringan.
2. Ukuran butiran dengan besar $\leq 4,75 \text{ mm}$ (saringan No. 4) dikelompokkan menjadi agregat halus.
3. Ukuran butiran dengan besar $> 4,75 - 40 \text{ mm}$ (saringan No. 1,5) dikelompokkan menjadi agregat kasar.

Adapun agregat yang sering digunakan sebagai material pembentuk beton meliputi :

1. Agregat halus

Agregat halus ialah butiran mineral dengan besar butiran $\leq 4,75 \text{ mm}$ (No. 4). Dalam penggunaannya sebagai bahan campuran beton, agregat halus harus memenuhi syarat-syarat sesuai dengan SNI 03-6820-2002 sebagai berikut :

 - a. Mempunyai butiran yang halus tetapi tidak berbutir bulat dan seragam.
 - b. Tidak mengandung lumpur lebih dari 5%.

- c. Tidak mengandung zat organik.
- d. Partikel yang mudah pecah maksimal 1%.

Tabel 2.1 Batas gradasi agregat halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butiran Yang Lewat Ayakan			
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona III
	(Pasir Kasar)	(Pasir Agak Kasar)	(Pasir Agak Halus)	(Pasir Halus)
10	100	100	100	100
4,8	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2,4	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1,2	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0,6	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
0,3	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0,15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

2. Agregat kasar

Dalam campuran beton, agregat kasar yang digunakan dapat berupa kerikil hasil disintegrasi alam dari batuan atau dapat berupa batu pecah (*split*) yang diperoleh dari pemecahan batu dengan ukuran butiran $> 4,75 - 40 \text{ mm}$. Syarat-syarat kerikil atau batu pecah yang digunakan untuk campuran beton sesuai dengan ASTM C-33 adalah sebagai berikut :

- a. Bersifat padat, keras, serta tidak memiliki pori.
- b. Tidak mengandung lumpur lebih dari 1%.
- c. Tidak mengandung zat yang dapat merusak campuran beton.
- d. Memiliki bentuk yang tajam serta permukaan yang kasar dengan tujuan dapat menimbulkan gesekan yang besar sehingga memiliki ikatan yang lebih baik.

Tabel 2.2 Batas gradasi agregat kasar

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butiran Yang Lewat Ayakan (Besar Butir Maks)		
	40 mm	20 mm	10 mm
40	95 – 100	100	100
20	35 – 70	95 – 100	100
10	10 – 40	30 – 60	50 – 85
4,8	0 – 5	0 – 10	0 – 10

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

2.2.3 Air

Dalam proses pembuatan campuran beton, air memiliki peranan penting yang berfungsi sebagai unsur pemicu reaksi kimiawi dari semen Portland dengan tujuan menghasilkan pasta semen yang berguna untuk mengikat agregat kasar serta agregat halus.

Mengingat pentingnya peranan air dalam proses pembuatan beton, berdasarkan SNI 7974 : 2013, air yang dapat digunakan sebagai campuran beton adalah sebagai berikut :

1. Tidak mengandung minyak.
2. Kandungan asam alkali maksimal 0,6 gram/liter.
3. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan merusak beton.
4. Kandungan klorida (Cl) kurang dari 1 gram/liter.
5. Kandungan sulfat (SO₃) kurang dari 3 gram/liter.

2.3 Agregat Halus

Agregat halus merupakan salah satu material penting dalam proses pembuatan beton, karena dengan campuran air dan semen dapat membentuk mortar yang berguna untuk mengikat agregat kasar, sehingga dari campuran mortar dan agregat kasar dapat terbentuknya beton.

Adapun klasifikasi agregat halus ialah sebagai berikut :

1. Jenis agregat halus berdasarkan sumbernya
 - a. Agregat halus dari sungai
Jenis agregat halus ini dapat diperoleh dari dasar sungai ataupun tepian sungai yang dapat digunakan dalam berbagai jenis konstruksi.

- b. Agregat halus dari letusan gunung berapi

Jenis agregat halus ini berasal dari letusan gunung berapi yang terdapat dalam kandungan vulkanik berupa lahar dingin yang keluar setelah terjadi letusan gunung berapi, sehingga agregat halus ini dapat diperoleh dari jalur aliran lahar dingin bekas letusan gunung berapi.

- c. Agregat halus buatan

Jenis agregat halus ini berasal dari hasil pemecahan batuan alami seperti batu basal atau batu granit, jenis agregat halus ini memiliki kekuatan butiran lebih baik sehingga dapat digunakan untuk berbagai jenis konstruksi.

- d. Agregat halus galian

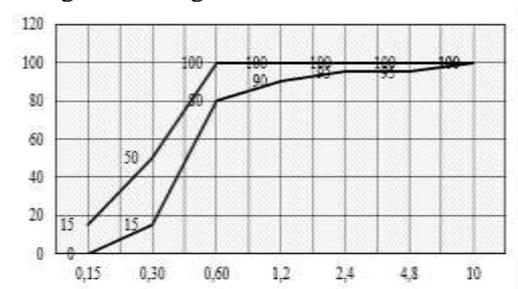
Jenis agregat halus ini berasal dari lapisan tanah, sehingga proses untuk mendapatkan agregat halus ini yaitu terlebih dahulu dilakukan penggalian.

2. Jenis agregat halus berdasarkan saringan

Menurut SNI 03-2834-2000, agregat halus berdasarkan presentase tertahan dalam saringan dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- a. Agregat halus berukuran halus

Jenis agregat halus dapat dikatakan dalam zona halus yaitu apabila presentase tertahan agregat halus berada diantara batas atas dan batas bawah sesuai dengan grafik sebagai berikut :

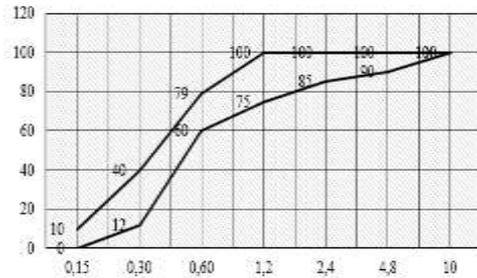


Gambar 2.1 Batas gradasi zona halus

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

- b. Agregat halus berukuran agak halus

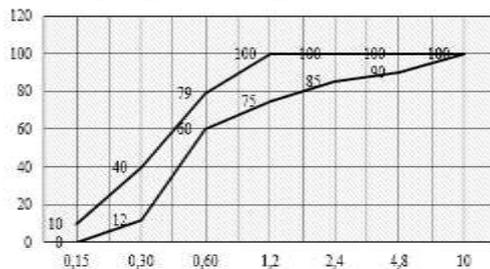
Jenis agregat halus dapat dikatakan dalam zona agak halus yaitu apabila presentase tertahan agregat halus berada diantara batas atas dan batas bawah sesuai dengan grafik sebagai berikut :



Gambar 2.2 Batas gradasi zona agak halus
(Sumber : SNI 03-2834-2000)

- c. Agregat halus berukuran agak kasar

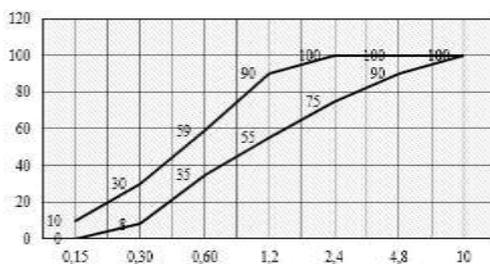
Jenis agregat halus dapat dikatakan dalam zona agak kasar yaitu apabila presentase tertahan agregat halus berada diantara batas atas dan batas bawah sesuai dengan grafik sebagai berikut :



Gambar 2.3 Batas gradasi zona agak kasar
(Sumber : SNI 03-2834-2000)

- d. Agregat halus berukuran kasar

Jenis agregat halus dapat dikatakan dalam zona kasar yaitu apabila presentase tertahan agregat halus berada diantara batas atas dan batas bawah sesuai dengan grafik sebagai berikut :



Gambar 2.4 Batas gradasi zona kasar
(Sumber : SNI 03-2834-2000)

3. Jenis agregat halus berdasarkan tujuan penggunaannya

a. Agregat halus untuk pasangan bata
Agregat halus yang digunakan untuk tujuan pemasangan bata lebih baik apabila memiliki modulus kehalusan berkisar 1,2 sampai 1,5 sehingga tidak terdapat ukuran butiran yang terlalu besar.

b. Agregat halus untuk plester
Agregat halus dengan tujuan penggunaan untuk pekerjaan plesteran lebih baik apabila memiliki modulus kehalusan kurang dari 1,5. Agregat halus yang memiliki tingkat modulus kehalusan besar akan lebih sulit diratakan permukaannya karena ukuran butiran agregat halusnya yang relatif besar, sehingga dalam proses pengerjaannya akan lebih sulit dikerjakan.

c. Agregat halus untuk beton
Agregat halus yang ditujukan untuk pembuatan beton lebih baik memiliki modulus kehalusan 2,5 sampai 3,5 karena dalam pembuatan beton diharuskan memiliki kuat tekan yang tinggi, sehingga penggunaan agregat halus dengan tingkat modulus kehalusan yang disarankan dapat memberikan kuat tekan beton dibandingkan dengan agregat halus yang memiliki modulus kehalusan kecil, selain itu beton yang menggunakan agregat halus dengan modulus kehalusan yang lebih besar memiliki waktu hidrasi lebih cepat, sehingga proses pengeringan beton dapat lebih cepat serta memperkecil resiko adanya kandungan udara dalam beton.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini ialah metode eksperimental dengan data-data yang diperlukan meliputi :

1. Data Primer
Data primer dalam proses melakukan penelitian ini ialah data-data yang diperoleh dari hasil penelitian di Laboratorium meliputi :
 - a. Analisis saringan dan modulus kehalusan agregat.
 - b. Analisis berat isi agregat.
 - c. Analisis berat jenis dan penyerapan air agregat.
 - d. Analisis kadar air agregat.
 - e. Analisis kadar lumpur agregat.
 - f. Proporsi masing - masing material dalam campuran beton (*Mix Design*).
 - g. Kekentalan adukan beton segar (*Slump Test*).
 - h. Berat beton segar.
 - i. Uji kuat tekan beton.
2. Data Sekunder
Data sekunder dalam proses melakukan penelitian ini ialah data yang diperoleh dari beberapa penelitian terdahulu, buku-buku yang berhubungan dengan kuat tekan beton sebagai referensi studi literatur agar lebih baik.

3.2 Pengujian Bahan Material

3.2.1 Pengujian Agregat Halus (Pasir)

Pengujian yang dilakukan terhadap agregat halus sebagai salah satu bahan material pembentuk beton yang bertujuan untuk menentukan kelayakkan dari agregat halus yang akan digunakan dengan jenis pengujian yang dilakukan ialah sebagai berikut :

1. Pengujian saringan dan modulus kehalusan agregat halus.
2. Analisis berat isi (*Unit Weight*) agregat halus.
3. Analisis berat jenis dan penyerapan air agregat halus.
4. Analisis kadar air dalam agregat halus.
5. Analisis kadar lumpur dalam agregat halus.

3.2.2 Pengujian Agregat Kasar

Pengujian yang dilakukan terhadap agregat kasar sebagai salah satu bahan material pembentuk beton yang bertujuan untuk menentukan

kelayakkan dari agregat kasar yang akan digunakan dengan jenis pengujian yang dilakukan ialah sebagai berikut :

1. Pengujian saringan dan modulus kehalusan agregat kasar.
2. Analisis berat isi (*Unit Weight*) agregat kasar.
3. Analisis berat jenis dan penyerapan agregat kasar.
4. Analisis kadar air dalam agregat kasar.
5. Analisis kadar lumpur dalam agregat kasar.

3.2.3 Pengujian Air

Pengujian terhadap air yang akan digunakan sebagai pemicu reaksi kimia semen Portland menjadi pasta semen yang bertujuan untuk mengikat agregat halus serta agregat kasar ialah meliputi :

1. Kandungan lumpur dalam air.
2. Kandungan minyak.
3. Benda-benda terapung yang dapat dilihat secara visual.

3.3 Pembuatan Benda Uji

3.3.1 Perencanaan Proporsi Campuran

Perencanaan proporsi bahan material campuran beton sebagai benda uji berdasarkan SNI 7656 : 2012 "Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa" dengan metode sebagai berikut :

1. Menentukan besar ukuran maksimal agregat kasar.
2. Menentukan modulus kehalusan agregat halus.
3. Menentukan nilai slump yang direncanakan.
4. Menghitung kuat tekan rata-rata yang ditargetkan.
5. Menentukan kandungan air pencampur serta kandungan udara.
6. Menentukan kadar agregat kasar.
7. Menentukan rasio air dan semen (w/c).
8. Menghitung kadar semen.
9. Menentukan berat beton segar.
10. Menentukan kadar agregat halus.

11. Penyesuaian campuran beton rencana terhadap kadar air agregat serta penyerapan air agregat.

3.3.2 Pencampuran Material

Berdasarkan SNI 2493 : 2011, metode dalam pencampuran material pembentuk beton ialah sebagai berikut :

1. Sebelum memulai proses pencampuran, terlebih dahulu masukan agregat kasar serta sebagian air pencampur.
2. Hidupkan mesin pencampur dengan diikuti memasukan agregat halus, semen serta air pencampur dengan mesin pencampur dalam kondisi berputar.
3. Setelah semua material pembentuk beton berada dalam mesin pencampur, proses pencampuran dilakukan selama 3 menit.
4. Untuk menghindari pemisahan, letakan beton hasil pencampuran oleh mesin kedalam wadah yang lembab dan aduk kembali dengan menggunakan sekop hingga campuran beton tersebut terlihat seragam.

3.3.3 Pengujian Slump Test

Berdasarkan SNI 1972 : 2008 untuk proses pengujian *slump test* ialah sebagai berikut :

1. Permukaan dari kerucut Abrams terlebih dahulu di basahi menggunakan air serta diletakan di atas permukaan yang datar, lembab, tidak menyerap air serta kaku.
2. Proses penuangan beton segar kedalam kerucut Abrams dilakukan dalam tiga lapis dengan ketinggian tiap lapis ialah sepertiga dari volume kerucut Abrams. Untuk ketinggian dari sepertiga volume kerucut Abrams ialah 67 mm, sedangkan untuk ketinggian dari dua pertiga volume kerucut Abrams ialah 155 mm.

3. Setiap proses penuangan beton segar dilakukan proses pemadatan dengan cara penusukan sebanyak 25 tusukan secara merata dengan menggunakan baja tulangan.
4. Proses pelepasan kerucut Abrams dilakukan dengan cara mengangkat dengan arah vertikal dalam waktu 3 – 7 detik.
5. Untuk menjaga agar beton segar tidak mengeras, waktu maksimal dalam proses pengujian *slump test* ialah 2,5 menit.
6. Setelah beton menunjukkan adanya penurunan, ukur segera dengan cara menentukan perbedaan ketinggian dari beton dan kerucut Abrams.

3.3.4 Pencetakan Beton

Setelah beton dinyatakan layak sesuai uji *slump test* yang dilakukan, beton segar di tuangkan kedalam wadah berbentuk silinder dari baja dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Selama proses penuangan campuran beton segar tersebut kedalam wadah dilakukan upaya pemadatan dengan menggunakan baja tulangan yang bertujuan untuk mengurangi kandungan udara dalam campuran beton segar tersebut. Adapun jumlah tumbukan serta ukuran yang disyatakan berdasarkan SNI 2493 : 2011 ialah sebagai berikut :

Tabel 3.1 Jumlah tumbukan dan diameter penumbuk

Silinder		
Diameter Silinder (mm)	Diameter Penumbuk (mm)	Jumlah Tumbukan Perlapisan
50 - < 150	10	25
150	16	25
200	16	50
250	16	75
Balok dan Prisma		
Luas Permukaan Atas (cm ²)	Diameter Penumbuk (mm)	Jumlah Tumbukan Perlapisan
≤ 160	10	25
165 - 310	10	sekali untuk luas permukaan 7 cm ²
≥ 320	16	sekali untuk luas permukaan 14 cm ²
Silinder Rangkak Mendatar		
Diameter Silinder (mm)	Diameter Penumbuk (mm)	Jumlah Tumbukan Perlapisan
150	16	Total 50 dengan kedua sisi 25

(Sumber : SNI 2493-2011)

3.3.5 Perawatan Beton

Adapun metode perawatan beton yang dipakai dalam proses penelitian ini ialah sesuai SNI 2493 : 2011 dengan tahapan-tahapan sebagai berikut :

1. Setelah beton segar dimasukkan kedalam cetakan berbentuk silinder, kemudian ratakan permukaan beton diikuti dengan menutup permukaan beton dengan menggunakan pelat yang tidak menyerap dan tidak reaktif atau dengan menggunakan plastik yang kuat dan kedap air dengan tujuan untuk menghindari penguapan air dari beton yang belum mengeras.
2. Pelepasan cetakan benda uji dapat dilakukan dengan waktu 16 – 32 jam setelah proses pencetakan.
3. Penyimpanan benda uji selama 48 jam pertama proses perawatan harus pada lingkungan yang bebas dari getaran.
4. Benda uji yang akan diuji harus memiliki air bebas yang dijaga pada seluruh permukaan, sehingga dilakukan pembasahan pada seluruh permukaan beton selama proses perawatan.

3.4 Pengujian Kuat Tekan Beton

Metode yang digunakan untuk proses pengujian kuat tekan beton ialah berdasarkan SNI 1974 : 2011 “Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Benda Uji Silinder” dengan metode perhitungan yang digunakan sebagai berikut :

$$\text{Kuat tekan beton } (f'c) = \left[\frac{P}{A} \right] \dots\dots\dots 3.1$$

Dimana P = beban tekan (kg)
A = luaspenampang (cm²)

Sedangkan toleransi waktu pengujian beton sebagai benda uji menurut SNI 1974 : 2011 ialah sebagai berikut :

Tabel 3.2 Toleransi waktu yang diizinkan

Umur Uji	Waktu Yang Diizinkan
12 jam	± 15 menit atau 2,1 %
24 jam	± 30 menit atau 2,1 %
3 hari	± 2 jam atau 2,8 %
7 hari	± 6 jam atau 3,6 %
28 hari	± 20 jam atau 3,0 %
90 hari	± 2 hari atau 2,2 %

(Sumber : SNI 1974-2011)

IV. ANALISIS HASIL PENELITIAN

4.1 Hasil Pengujian Material

4.1.1 Agregat Halus (Pasir)

Agregat halus yang digunakan sebagai material pembentuk beton ialah pasir Citarik yang berasal dari aliran sungai di Desa Cidadap Kecamatan Simpenan Kabupaten Sukabumi dan pasir Jebrod yang berasal dari galian tanah di Desa Cibinong Hilir Kecamatan Cilaku Kabupaten Cianjur. Adapun hasil pengujian kedua jenis pasir tersebut ialah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Hasil pengujian agregat halus

Rekapitulasi Hasil Uji Laboratorium Agregat Halus				
No	Jenis Pengujian	Pasir Citarik	Pasir Jebrod	Satuan
1	Modulus Kehalusan	2,412	2,514	-
2	Zona Agregat Halus	II	II	-
3	Berat Isi (kg/m ³)	1363,368	1408,717	kg/m ³
4	Berat Jenis Kering	2,517	2,410	-
5	Berat Jenis SSD	2,586	2,564	-
6	Berat Jenis Semu	2,704	2,848	-
7	Penyerapan Air (%)	2,740	6,383	%
8	Kadar Air (%)	10,375	17,978	%
9	Kadar Lumpur (%)	3,450	2,710	%

(Sumber : Hasil uji laboratorium, 2022)

4.1.2 Agregat Kasar (Batu Pecah)

Agregat kasar berupa batu pecah yang didapat dari PB. Tunggal Putra Wijaya Kusuma Kota Bogor yang digunakan sebagai material pembuatan beton sebagai benda uji dengan data hasil uji di Laboratorium Beton Fakultas Teknik Universitas Pakuan Bogor ialah sebagai berikut :

Tabel 4.2 Hasil pengujian agregat kasar

Rekapitulasi Hasil Uji Laboratorium Agregat Kasar			
No	Jenis Pengujian	Batu Pecah	Satuan
1	Modulus Kehalusan	3,173	-
2	Ukuran maksimal (mm)	37,5	mm
3	Berat Isi (kg/m ³)	1401,370	kg/m ³
4	Berat Jenis Kering	2,459	-
5	Berat Jenis SSD	2,475	-
6	Berat Jenis Semu	2,500	-
7	Penyerapan Air (%)	0,671	%
8	Kadar Air (%)	1,911	%
9	Kadar Lumpur (%)	0,770	%

(Sumber : Hasil uji laboratorium, 2022)

4.1.3 Air

Air yang digunakan dalam proses penelitian ini ialah air dari Laboratorium Beton Fakultas Teknik Universitas Pakuan Bogor dengan kualitas air tidak memiliki kandungan lumpur, kandungan minyak serta tidak terdapat benda-benda terapung lainnya.

4.2 Perhitungan Rencana Proporsi

4.2.1 Beton pasir Citarik

Dari hasil perhitungan sesuai dengan SNI 7656 : 2012 didapat :

Tabel 4.3 Proporsi rencana campuran (per m³)

No	Material	Berat (kg)
1	Semen	310,997
2	Air	181,000
3	Agregat kasar	1049,346
4	Agregat halus	739,596
	Total	2280,939

(Sumber : Perhitungan, 2022)

Setelah didapat proporsi rencana kemudian dilakukan penyesuain terhadap kadar air dan penyerapan air dalam agregat dengan hasil dari perhitungan ialah sebagai berikut :

Tabel 4.4 Penyesuaian proporsi rencana (per m³)

No	Material	Berat (kg)
1	Semen	310,997
2	Air	111,520
3	Agregat kasar	1069,399
4	Agregat halus	816,329
	Total	2308,245

(Sumber : Perhitungan, 2022)

Setelah dilakukan penyesuaian terhadap kadar air dan penyerapan air agregat, kemudian dilakukan perhitungan proporsi sesuai kebutuhan untuk membuat benda uji dengan hasil perhitungan ialah sebagai berikut :

Tabel 4.5 Kebutuhan proporsi (kg)

No	Material	Berat (kg)
1	Semen	18,131
2	Air	6,502
3	Agregat kasar	62,346
4	Agregat halus	47,592
	Total	134,571

(Sumber : Perhitungan, 2022)

4.2.2 Beton pasir Jebrod

Dari hasil perhitungan sesuai dengan SNI 7656 : 2012 didapat :

Tabel 4.6 Proporsi rencana campuran (per m³)

No	Material	Berat (kg)
1	Semen	310,997
2	Air	181,000
3	Agregat kasar	1035,612
4	Agregat halus	738,432
	Total	2266,041

(Sumber : Perhitungan, 2022)

Setelah didapat proporsi rencana kemudian dilakukan penyesuain terhadap kadar air dan penyerapan air dalam agregat dengan hasil dari perhitungan ialah sebagai berikut :

Tabel 4.7 Penyesuaian proporsi rencana (per m³)

No	Material	Berat (kg)
1	Semen	310,997
2	Air	82,537
3	Agregat kasar	1055,403
4	Agregat halus	871,187
	Total	2320,124

(Sumber : Perhitungan, 2022)

Setelah dilakukan penyesuaian terhadap kadar air dan penyerapan air agregat, kemudian dilakukan perhitungan proporsi sesuai kebutuhan untuk membuat benda uji dengan hasil perhitungan ialah sebagai berikut :

Tabel 4.8 Kebutuhan proporsi (kg)

No	Material	Berat (kg)
1	Semen	18,131
2	Air	4,812
3	Agregat kasar	61,530
4	Agregat halus	50,790
	Total	135,263

(Sumber : Perhitungan, 2022)

4.3 Pengujian Slump Test

4.3.1 Beton pasir Citarik

Dari hasil pengujian *slump* beton segar didapat nilai *slump* sebesar 15 mm, sehingga dilakukan penyesuaian agar didapat nilai *slump* sesuai rencana dengan hasil perhitungan sebagai berikut :

Tabel 4.9 Proporsi hasil *slump* (per m³)

No	Material	Berat (kg)
1	Semen	345,564
2	Air	201,118
3	Agregat kasar	1069,400
4	Agregat halus	692,918
	Total	2309

(Sumber : Perhitungan, 2022)

Adapun proporsi material sesuai kebutuhan untuk membuat benda uji sebagai berikut :

Tabel 4.10 Kebutuhan proporsi (kg)

No	Material	Berat (kg)
1	Semen	20,146
2	Air	11,725
3	Agregat kasar	62,346
4	Agregat halus	40,397
	Total	134,614

(Sumber : Perhitungan, 2022)

4.3.2 Beton pasir Jebrod

Dari hasil pengujian *slump* beton segar didapat nilai *slump* sebesar 20 mm, sehingga dilakukan penyesuaian agar didapat nilai *slump* sesuai rencana dengan hasil perhitungan sebagai berikut :

Tabel 4.11 Proporsi hasil *slump* (per m³)

No	Material	Berat (kg)
1	Semen	364,844
2	Air	212,339
3	Agregat kasar	1064,533
4	Agregat halus	699,284
	Total	2341

(Sumber : Perhitungan, 2022)

Adapun proporsi material sesuai kebutuhan untuk membuat benda uji sebagai berikut :

Tabel 4.12 Kebutuhan proporsi (kg)

No	Material	Berat (kg)
1	Semen	21,270
2	Air	12,379
3	Agregat kasar	62,062
4	Agregat halus	40,768
	Total	136,479

(Sumber : Perhitungan, 2022)

Setelah dilakukan penyesuaian terhadap nilai *slump* rencana maka dilakukan proses pencampuran ulang dengan nilai *slump* sebagai berikut :

Tabel 4.13 Hasil pengujian *slump test*

No	Beton	Slump (mm)	
		Pengujian 1	Pengujian 2
1	Agregat Halus Pasir Citarik	80	85
2	Agregat Halus Pasir Jebrod	80	90

(Sumber : Hasil uji laboratorium, 2022)

4.4 Pengujian Berat Isi Beton

Sebelum dilakukan pengujian kuat tekan, terlebih dahulu dilakukan pengujian berat isi beton dengan data hasil pengujian ialah sebagai berikut :

1. Beton pasir Citarik

Tabel 4.14 Berat isi beton pasir Citarik

No	Umur Beton (Hari)	Volume Silinder (m ³)	Berat rata-rata (kg)	Berat Isi Rata-rata (kg/m ³)
1	7	0,0053	11,630	2194,857
2	14	0,0053	11,288	2130,377
3	28	0,0053	11,145	2103,326

(Sumber : Hasil uji laboratorium, 2022)

2. Beton pasir Jebrod

Tabel 4.15 Berat isi beton pasir Citarik

No	Umur Beton (Hari)	Volume Silinder (m ³)	Berat rata-rata (kg)	Berat Isi Rata-rata (kg/m ³)
1	7	0,0053	11,520	2174,098
2	14	0,0053	11,273	2127,546
3	28	0,0053	11,147	2103,641

(Sumber : Hasil uji laboratorium, 2022)

4.5 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada beton dengan umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari dengan data hasil pengujian ialah sebagai berikut :

1. Beton pasir Citarik

Tabel 4.16 Kuat tekan beton pasir Citarik

No	Umur Beton (Hari)	Sampel 1		Sampel 2		Sampel 3		Kuat Tekan Rata-rata	
		(kg/cm ²)	(MPa)						
1	7	32,330	3,172	42,722	4,191	36,949	3,625	37,334	3,662
2	14	47,918	4,701	54,846	5,380	59,464	5,833	54,076	5,305
3	28	60,619	5,947	62,351	6,117	68,124	6,683	63,698	6,249

(Sumber : Hasil uji laboratorium, 2022)

2. Beton pasir Jebrod

Tabel 4.16 Kuat tekan beton pasir Jebrod

No	Umur Beton (Hari)	Sampel 1		Sampel 2		Sampel 3		Kuat Tekan Rata-rata	
		(kg/cm ²)	(MPa)	(kg/cm ²)	(MPa)	(kg/cm ²)	(MPa)	(kg/cm ²)	(MPa)
1	7	67,547	6,626	86,021	8,439	62,928	6,173	72,166	7,079
2	14	105,073	10,308	91,217	8,948	91,795	9,005	96,028	9,420
3	28	113,156	11,101	95,259	9,345	92,372	9,062	100,262	9,836

(Sumber : Hasil uji laboratorium, 2022)

4.6 Perbandingan Hasil Pengujian

4.6.1 Perbandingan karakteristik

Dari hasil pengujian material didapat perbandingan karakteristik sebagai berikut :

1. Pasir Citarik memiliki nilai modulus kehalusan sebesar 2,412 yang tergolong kedalam zona 2, sedangkan pasir Jebrod memiliki nilai modulus kehalusan sebesar 2,514 yang tergolong kedalam zona 2. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pasir Citarik memiliki butiran yang lebih halus dibandingkan dengan pasir Jebrod.
2. Pasir Citarik memiliki berat isi sebesar 1363,368 kg/m³ sedangkan pasir Jebrod memiliki berat isi sebesar 1408,717 kg/m³. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pasir Jebrod lebih berat dibandingkan dengan pasir Citarik.
3. Pasir Citarik memiliki kadar air sebesar 10,375 % sedangkan pasir Jebrod memiliki kadar air sebesar 17,978 %. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pasir Citarik memiliki kadar air lebih sedikit dibandingkan dengan pasir Jebrod.
4. Pasir Citarik memiliki kadar lumpur sebesar 3,45 % sedangkan pasir Jebrod memiliki kadar lumpur sebesar 2,71 %. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pasir Jebrod yang merupakan pasir galian memiliki kadar lumpur lebih sedikit dibandingkan dengan pasir Citarik yang merupakan pasir sungai, akan tetapi keduanya memenuhi syarat sebagai agregat halus sesuai SNI 03-6820-2002.

4.6.2 Perbandingan kuat tekan

Dari hasil pengujian kuat tekan terhadap kedua jenis beton didapat perbandingan sebagai berikut :



Gambar 4.1 Perbandingan kuat tekan beton (Sumber : Hasil uji laboratorium, 2022)

Dari gambar 4.5 didapat keterangan :

1. Kuat tekan rata-rata beton pada umur 7 hari dengan beton menggunakan pasir Citarik sebesar 3,662 MPa dan beton dengan menggunakan pasir Jebrod sebesar 7,079 Mpa. Sehingga perbandingan kuat tekan beton dengan menggunakan pasir Citarik dan beton dengan menggunakan pasir Jebrod masing-masing ialah 1 : 1,93.
2. Kuat tekan rata-rata beton pada umur 14 hari dengan beton menggunakan pasir Citarik sebesar 5,305 MPa dan beton dengan menggunakan pasir Jebrod sebesar 9,420 Mpa. Sehingga perbandingan kuat tekan beton dengan menggunakan pasir Citarik dan beton dengan menggunakan pasir Jebrod masing-masing ialah 1 : 1,78.
3. Kuat tekan rata-rata beton pada umur 28 hari dengan beton menggunakan pasir Citarik sebesar 6,249 MPa dan beton dengan menggunakan pasir Jebrod sebesar 9,836 Mpa. Sehingga perbandingan kuat tekan beton dengan menggunakan pasir Citarik dan beton dengan menggunakan pasir Jebrod masing-masing ialah 1 : 1,57.

Sehingga dari hasil pengujian kuat tekan beton dapat disimpulkan bahwa dengan mutu kuat rencana masing-masing jenis beton sama,

beton dengan menggunakan pasir Jebrod lebih kuat dibandingkan beton dengan menggunakan pasir Citarik. Adapun penyebab mutu beton dengan menggunakan pasir Citarik lebih rendah dibandingkan beton dengan menggunakan pasir Jebrod ialah :

1. Dari hasil pengujian kadar lumpur menunjukkan pasir Citarik memiliki kadar lumpur lebih tinggi dibandingkan dengan pasir Jebrod, sehingga kemungkinan daya rekat antar butiran pasir Citarik lebih rendah dibandingkan dengan pasir Jebrod.
2. Dengan proporsi agregat halus yang relatif sama, akan tetapi beton dengan menggunakan pasir Citarik menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah, sehingga kemungkinan kekerasan atau kekuatan butiran pasir Citarik lebih kecil dibandingkan dengan pasir Jebrod.
3. Dari proporsi rencana yang telah dihitung sesuai dengan SNI 7656 : 2012 dengan mutu kuat rencana yang sama menghasilkan proporsi semen untuk beton dengan menggunakan pasir Citarik lebih sedikit dibandingkan proporsi semen untuk beton dengan menggunakan pasir Jebrod, sehingga perbedaan proporsi semen tersebut kemungkinan menyebabkan beton dengan menggunakan pasir Citarik menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah.

4.6.3 Perbandingan harga

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan karakteristik kedua jenis agregat halus relatif sama, akan tetapi dari hasil pengujian kuat tekan beton yang dihasilkan dengan proporsi yang telah ditetapkan, beton dengan menggunakan pasir Jebrod pada

umur 28 hari lebih diunggulkan 1,57 kali dari beton dengan menggunakan pasir Citarik.

Harga pasir Citarik dan Jebrod relatif sama untuk wilayah masing-masing yaitu pasir Citarik pada wilayah Sukabumi dan pasir Jebrod pada wilayah Cianjur, akan tetapi apabila pasir Jebrod dijual di wilayah Sukabumi harga pasir Jebrod lebih tinggi dua kali lipat dari pasir Citarik. Meningkatnya harga jual pasir Jebrod di wilayah Sukabumi disebabkan lokasi penggalian pasir Jebrod yang berada di wilayah Cianjur cukup jauh dari Sukabumi, sehingga perlu adanya biaya transportasi agar dapat mengangkut pasir Jebrod ke wilayah Sukabumi.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai pengujian material serta pengujian kuat tekan dari kedua jenis beton yaitu beton dengan menggunakan pasir Citarik dan beton dengan menggunakan pasir Jebrod didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil pengujian material menunjukkan kedua jenis pasir tersebut memenuhi kriteria sebagai material pembentuk beton yaitu agregat halus.
2. Kualitas kedua jenis pasir relatif sama, akan tetapi kadar lumpur pasir Citarik lebih tinggi dibandingkan dengan pasir Jebrod yang dapat mempengaruhi daya rekat antar butiran agregat.
3. Pengujian kuat tekan pada umur beton 7 hari dengan beton menggunakan pasir Citarik menghasilkan mutu tertinggi sebesar 4,191 MPa sedangkan beton dengan menggunakan pasir Jebrod menghasilkan mutu tertinggi sebesar 8,439 MPa.
4. Pengujian kuat tekan pada umur beton 14 hari dengan beton menggunakan pasir Citarik menghasilkan mutu tertinggi sebesar 5,833 MPa sedangkan beton dengan menggunakan pasir Jebrod menghasilkan mutu tertinggi sebesar 10,308 MPa.

5. Pengujian kuat tekan pada umur beton 28 hari dengan beton menggunakan pasir Citarik menghasilkan mutu tertinggi sebesar 6,683 MPa sedangkan beton dengan menggunakan pasir Jebrod menghasilkan mutu tertinggi sebesar 11,101 MPa.
6. Hasil pengujian kuat tekan rata-rata beton dengan menggunakan pasir Citarik dari umur 7 hari ke umur 14 hari mengalami kenaikan sebesar 44,845 %, sedangkan beton dengan menggunakan pasir Jebrod dari umur 7 hari ke umur 14 hari mengalami kenaikan sebesar 33,067 %.
7. Hasil pengujian kuat tekan rata-rata beton dengan menggunakan pasir Citarik dari umur 14 hari ke umur 28 hari mengalami kenaikan sebesar 17,794 %, sedangkan beton dengan menggunakan pasir Jebrod dari umur 14 hari ke umur 28 hari mengalami kenaikan sebesar 4,409 %.
8. Berdasarkan hasil penelitian, beton dengan menggunakan pasir Jebrod menghasilkan mutu kuat tekan yang lebih tinggi yaitu 1,57 kali dibandingkan beton dengan menggunakan pasir Citarik pada umur beton 28 hari.
9. Berdasarkan hasil penelitian, beton dengan menggunakan pasir Citarik dan beton dengan menggunakan pasir Jebrod tidak menghasilkan kuat tekan yang direncanakan yaitu 20 MPa.
10. Kedua jenis pasir tersebut memiliki harga yang relatif sama untuk wilayah masing-masing, akan tetapi apabila pasir Jebrod dijual di wilayah Sukabumi harga pasir Jebrod lebih tinggi dua kali lipat dari pasir Citarik. Dengan biaya yang sama untuk membuat beton dengan menggunakan pasir Jebrod dan beton dengan menggunakan pasir Citarik, mutu beton dengan menggunakan pasir Citarik kemungkinan dapat ditingkatkan.

5.2 Saran

1. Dalam proses penelitian, sebaiknya pengujian terhadap ketahanan agregat dilakukan sehingga besar ketahanan

- agregat dapat diketahui sebagai salah satu perbandingan karakteristiknya yang mempengaruhi terhadap mutu beton yang dihasilkan.
2. Pengujian kadar air sebaiknya dilakukan tidak jauh dari proses pencampuran, sehingga kadar air yang terkandung dalam agregat lebih akurat yang berpengaruh terhadap hasil *slump test*.
 3. Penelitian selanjutnya membuat beton dengan menggunakan pasir Citarik dan beton dengan menggunakan pasir Jebrod dengan mutu rencana beton dengan menggunakan pasir Citarik lebih tinggi dari beton dengan menggunakan pasir Jebrod, sehingga biaya untuk pembuatan beton tersebut sama khususnya pada wilayah Sukabumi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Amalina, Tiara Nur. (2018). *Pengaruh Penambahan Serat Bendirat Pada Beton Bubuk Reaktif Terhadap Kuat Lentur*. Bogor : Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pakuan.
2. Asmara, Frans Jovian. (2019). *Analisis Perbandingan Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Beton Menggunakan Pasir Sungai Batangasai Dan Pasir Sungai Batanghari*. Jambi : Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Batanghari.
3. *Kelebihan dan Kekurangan Beton Sebagai Bahan Konstruksi*. (2016). Diakses pada 11 April 2022, dari <http://irvancivil19.blogspot.com/2016/11/kelebihan-dan-kekurangan-beton-sebagai.html?m=1>
4. *Macam dan Jenis-jenis Pasir*. (2017). Diakses pada 10 Mei 2022, dari <https://www.situstekniksipil.com/2017/10/tektan-macam-dan-jenis-jenis-pasir.html?m=1>
5. SNI 1969-2016. (2016). *Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasioanal (BSN).
6. SNI 1972-2008. (2008). *Cara Uji Slump Beton*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional (BSN).
7. SNI 1974-2011. (2011). *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasioanal (BSN).
8. SNI 2493-2011. (2011). *Tata Cara Pembuatan Dan Perawatan Benda Uji Beton Di Laboratorium*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasioanal (BSN).
9. SNI 03-2834-2000. (2000). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional (BSN).
10. SNI 03-6820-2002. (2002). *Spesifikasi Beton Struktural*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasioanal (BSN).
11. SNI 6880-2016. (2016). *Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat Dan Beton Massa*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional (BSN).
12. SNI 7656-2012. (2012). *Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat Dan Beton Massa*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional (BSN).
13. SNI 7974-2013. (2013). *Spesifikasi Air Pencampur Yang Digunakan Dalam Produksi Beton Semen Hidraulis*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional (BSN).

BIODATA PENULIS

1. Imam Ashari, ST. Alumni (2022) Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pakuan Bogor. (Email : amnun004@gmail.com)
2. Ir. Hikmad Lukman, MT. Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Pakuan Bogor.
3. Dr. Ir. Titik Penta Artiningsih, MT. Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Pakuan Bogor.