

PERBANDINGAN KUAT TEKAN BETON BERDASARKAN SUMBER PENGAMBILAN AGREGAT HALUS

Hokky Akbar¹, Vanita Kesumawati Yakub², Dian Pratiwi³, Fera Lestari⁴
^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer-Universitas Teknokrat Indonesia

Hokkyakbar18@gmail.com

Received: (18 Februari 2024)

Accepted: (25 Mei 2024)

Published : (20 Juni 2024)

Abstract

One of the important components in making concrete is sand, which is a fine natural aggregate. It is important to consider various factors related to sand, such as its grain size, specific gravity, and the amount of silt contained in the sand. The importance of fine aggregate in concrete makes selecting the source of fine aggregate an important factor in the success of a construction project. Comparing four variations of fine aggregate, such as Central Lampung sand, Pesawaran sand, Pringsewu sand and South Lampung sand aims to determine the quality and compressive strength of the concrete produced. The results of testing the compressive strength of normal concrete at the age of 28 days from the 5 concrete samples tested, obtained an average compressive strength value for Central Lampung Fine Aggregate concrete of 25.61 Mpa, Pesawaran Fine Aggregate of 22.51 Mpa, Pringsewu Fine Aggregate of 19,99 Mpa and South Lampung Fine Aggregate of 20.87 Mpa. The research results, it was concluded that the compressive strength of normal concrete is influenced by the characteristics of the fine aggregate used. Differences in the characteristics of fine aggregate are a factor causing variations in concrete compressive strength results, even though the concrete compressive strength design is the same. Fine aggregate from Central Lampung shows higher concrete compressive strength compared to fine aggregate from Pesawaran, Pringsewu, and South Lampung.

Keywords: *Compressive Strength, Fine Aggregate, Normal Concrete, Variations in Fine Aggregate*

Abstrak

Salah satu komponen penting dalam pembuatan beton adalah pasir, yang merupakan agregat halus dari alam. Penting untuk mempertimbangkan berbagai faktor terkait pasir, seperti ukuran butirnya, berat jenisnya, dan kadar lumpur yang terkandung dalam pasir tersebut. Pentingnya agregat halus dalam beton membuat pemilihan sumber agregat halus menjadi faktor penting dalam keberhasilan proyek konstruksi. Membandingkan antara empat variasi agregat halus, seperti pasir Lampung Tengah, pasir Pesawaran, pasir Pringsewu dan Pasir Lampung Selatan bertujuan untuk mengetahui kualitas dan kuat tekan beton yang dihasilkan. Hasil pengujian kuat tekan beton normal pada umur 28 hari dari 5 sampel beton yang diuji, diperoleh rata-rata nilai kuat tekan beton Agregat Halus Lampung Tengah sebesar 25,61 Mpa, Agregat Halus Pesawaran sebesar 22,51 Mpa, Agregat Halus Pringsewu sebesar 19,99 Mpa dan Agregat Halus Lampung Selatan sebesar 20,87 Mpa. Hasil penelitian menghasilkan kesimpulan kuat tekan beton normal dipengaruhi oleh karakteristik agregat halus yang digunakan. Perbedaan dalam karakteristik agregat halus menjadi faktor penyebab variasi hasil kuat tekan beton, meskipun perencanaan kuat tekan beton sama. Agregat halus dari Lampung Tengah menunjukkan kuat tekan beton yang lebih tinggi dibandingkan dengan agregat halus dari Pesawaran, Pringsewu, dan Lampung Selatan.

Kata Kunci: Kuat Tekan, Agregat Halus, Beton Normal, Variasi Agregat Halus

To cite this article:

Hokky Akbar, Vanita Kesumawati Yacub, Dian Pratiwi. (2024). *Perbandingan Kuat Tekan Beton Berdasarkan Sumber Pengambilan Agregat Halus*. Jurnal SENDI. Vol.05 (01), 33-45

PENDAHULUAN

Berbagai daerah geografis memiliki perbedaan dalam karakteristik geologis dan mineralogis, yang berpotensi memengaruhi sifat agregat halus yang dihasilkan. Dalam konteks ini, perbandingan kuat tekan beton

berdasarkan sumber pengambilan agregat halus dari Pasir Lampung Tengah, Pasir Pesawaran, Pasir Pringsewu dan Pasir Lampung Selatan menjadi hal yang menarik untuk dilakukan penelitian. Hasil penelitian ini akan memberikan informasi mengenai perbandingan agregat halus dari beberapa daerah yang ada di provinsi Lampung kepada industri konstruksi dalam memilih agregat halus yang paling cocok untuk proyek-proyek tertentu. Dengan memahami pengaruh sumber agregat halus terhadap kualitas beton, dapat dihasilkan rekomendasi untuk penggunaan agregat yang efektif dan efisien pada berbagai proyek konstruksi. Melalui penelitian perbandingan kuat tekan beton berdasarkan sumber pengambilan agregat halus, akan diperoleh pemahaman tentang faktor-faktor yang mempengaruhi nilai kuat tekan beton. Hasil dari penelitian ini dapat memberikan rekomendasi praktis konstruksi dalam memilih agregat halus yang paling cocok untuk proyek-proyek tertentu.

TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian Beton

Beton merupakan suatu bahan komposit yang dihasilkan dari pencampuran bahan-bahan agregat halus, agregat kasar, air, semen atau bahan lain yang berfungsi sebagai bahan pengikat hidrolis, dengan atau tanpa menggunakan bahan tambahan. Campuran bahan-bahan yang membentuk beton harus ditetapkan sedemikian rupa sehingga menghasilkan beton basah yang mudah dikerjakan, memenuhi kekuatan tekan rencana setelah mengeras dan cukup ekonomis (Eveline, G., Kumaat dan Windah., 2015). Kualitas beton dapat ditentukan dengan memilih bahan yang berkualitas, menghitung perbandingan yang sesuai, melaksanakan proses kerja dengan cermat, serta melakukan pemeliharaan yang baik, serta memilih bahan tambahan dengan jumlah yang optimal. Komponen dasar pembentuk beton melibatkan semen, agregat, air, dan seringkali bahan tambahan atau pengisi (Usman, 2022).

Material Penyusun Beton

Material penyusun beton merupakan hal yang sangat penting dalam menciptakan beton berkualitas tinggi. Kualitas beton yang baik dapat dinilai melalui sejumlah indikator, seperti proporsi waktu pengerjaan, ketahanan terhadap suhu lingkungan, dan kekuatan tekanannya (Sayfullah, Bahar, Mirna dan Susanto., 2022).

1. Semen Portland

Semen portland komposit dalam SNI 2049 tahun 2015 merupakan 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.

2. Agregat Halus

Menurut SNI 03-2834-2000, agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm (SNI 03-2834-2000). Agregat halus yang baik harus bebas dari bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan no.100, atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton.

3. Agregat Kasar

Menurut SNI 03-2834-2000 adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm (SNI 03-2834-2000). Kualitas campuran beton sangat dipengaruhi oleh karakteristik agregat. Untuk menciptakan beton dengan kekuatan yang sesuai dengan yang diinginkan, kita perlu memahami dan mempelajari karakteristik ini agar dapat mengambil langkah-langkah yang efektif dalam mengatasi potensi masalah yang mungkin muncul.

4. Air

Air merupakan bahan dasar dalam produksi beton yang memiliki biaya paling ekonomis. Peran utama air dalam beton adalah untuk memungkinkan reaksi semen dan sebagai agen pelumas antara butiran-butiran agregat. Untuk memfasilitasi reaksi semen, sekitar 25-30 persen dari berat semen biasanya cukup untuk penggunaan air. Dalam praktiknya ketika faktor air-semen (rasio berat air dibagi berat semen) turun di bawah 0,35, pencampuran beton menjadi sulit oleh karena itu biasanya faktor air-semen lebih besar dari 0,40 yang mengakibatkan kelebihan air yang tidak berkontribusi pada reaksi dengan semen. (Usman, 2022).

Tahap Pemeriksaan Material Beton

Pemeriksaan material beton adalah proses yang penting dalam konstruksi untuk memastikan bahwa beton memenuhi standar dan spesifikasi yang diperlukan. Berikut adalah tahap-tahap umum yang terlibat dalam pemeriksaan material beton.

1. Pemeriksaan kadar air agregat halus / pasir

Proses pemeriksaan ini melibatkan pengambilan sampel agregat halus, pengeringan, penimbangan, dan perhitungan persentase kadar air, dan hasilnya digunakan dalam perencanaan campuran beton. Prosedur pemeriksaan kadar air agregat halus/pasir mengikuti pedoman yang diatur dalam SNI 1970:2011. Perhitungan kadar air agregat halus/pasir dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\text{Kadar air} = (W1-W2)/W2 \times 100 \%$$

Keterangan :

W1 = Massa benda uji (gram).

W2 = Massa benda uji kering oven (gram).

2. Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus/Pasir

Tujuan pemeriksaan ini adalah untuk memastikan bahwa agregat halus yang akan digunakan dalam campuran beton memiliki kadar lumpur yang sesuai dengan standar yang sudah ditetapkan. Prosedur pemeriksaan kadar lumpur agregat halus/pasir mengikuti pedoman yang diatur dalam SNI ASTM C117:2012. Perhitungan kadar lumpur agregat halus/pasir dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$\text{Kadar lumpur} = ((B-C))/B \times 100\%$$

Keterangan :

B = Massa kering awal benda uji (gram)

C = Massa kering benda uji setelah pencucian (gram)

3. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus/Pasir

Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui berat jenis dan penyerapan agregat halus/pasir yang akan digunakan sebagai campuran dalam pembuatan beton. Prosedur pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus/pasir mengikuti pedoman yang diatur dalam SNI 1970:2016. Perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat halus/pasir dapat dilihat pada persamaan berikut:

Berat jenis curah

$$S_d = A/(B+S-C)$$

Berat jenis jenuh kering permukaan

$$S_s = S/(B+S-C)$$

Berat jenis semu

$$S_a = A/(B+A-C)$$

Penyerapan air

$$A_w = (S-A)/A \times 100 \%$$

Keterangan :

A = Berat benda uji kering oven (gram)

B = Berat piknometer berisi air (gram)

C = Berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan (gram)

S = Benda uji kondisi jenuh permukaan (gram)

4. Pemeriksaan Berat Volume Agregat Halus/Pasir

Perhitungan berat volume agregat didasarkan pada berat agregat halus/pasir kering, yang diukur setelah agregat halus/pasir dikeringkan dengan oven untuk menghilangkan kadar air yang ada. Perhitungan berat volume agregat halus/pasir dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\text{Berat volume/isi agregat} = W3/V$$

Keterangan :

W1 = Berat Bejana

W2 = Berat Bejana berisi benda uji

W3 = Berat benda uji (W2-W1)

V = Volume/isi benda uji

5. Analisa Saringan Agregat Halus/Pasir

Tujuan dari analisis saringan ini adalah untuk memahami komposisi agregat dan menentukan proporsi agregat dengan ukuran butir yang berbeda dalam sampel. Prosedur Analisa saringan agregat halus/pasir mengikuti pedoman yang diatur dalam SNI ASTM C136:2012. Perhitungan analisa saringan agregat halus/pasir dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\text{Modulus halus butir} = (\% \text{komulatif tertahan})/100$$

6. Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar/Kerikil

Proses pemeriksaan ini melibatkan pengambilan sampel agregat kasar, pengeringan, penimbangan, dan perhitungan persentase kadar air, dan hasilnya digunakan dalam perencanaan campuran beton. Prosedur pemeriksaan kadar air agregat kasar/kerikil mengikuti pedoman yang diatur dalam SNI 1970:2011. Perhitungan kadar air agregat halus/pasir dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\text{Kadar air} = (W1-W2)/W2 \times 100 \%$$

Keterangan :

W1 = Massa benda uji (gram).

W2 = Massa benda uji kering oven (gram).

7. Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar/Kerikil

Tujuan pemeriksaan ini adalah untuk memastikan bahwa agregat kasar/kerikil yang akan digunakan dalam campuran beton memiliki kadar lumpur yang sesuai dengan standar yang sudah ditetapkan. Prosedur pemeriksaan kadar lumpur agregat kasar/kerikil mengikuti pedoman yang diatur dalam SNI ASTM C117:2012. Perhitungan kadar lumpur agregat kasar/kerikil dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\text{Kadar lumpur} = ((B-C))/B \times 100\%$$

Keterangan :

B = Massa kering awal benda uji (gram)

C = Massa kering benda uji setelah pencucian (gram)

8. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Kasar/Kerikil

Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui berat jenis dan penyerapan agregat kasar/kerikil yang akan digunakan sebagai campuran dalam pembuatan beton. Prosedur pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar/kerikil mengikuti pedoman yang diatur dalam SNI 1969:2016. Perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat kasar/kerikil dapat dilihat pada persamaan berikut:

Berat jenis curah

$$S_d = A/(B-C)$$

Berat jenis jenuh kering permukaan

$$S_s = B/(B-C)$$

Berat jenis semu

$$S_a = A/(A-C)$$

Penyerapan air

$$A_w = (B-A)/A \times 100 \%$$

Keterangan :

A = Berat benda uji kering oven (gram)

B = Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan diudara (gram)

C = Berat benda uji dalam air (gram)

9. Pemeriksaan Berat Volume Agregat Kasar/Kerikil

Perhitungan berat volume agregat didasarkan pada berat agregat kasar/kerikil kering, yang diukur setelah agregat halus/pasir dikeringkan dengan oven untuk menghilangkan kadar air yang ada. Perhitungan berat volume agregat kerikil dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\text{Berat volume/isi agregat} = W3/V \quad (2.15)$$

Keterangan :

W1 = Berat Bejana

W2 = Berat Bejana berisi benda uji

W3 = Berat benda uji (W2-W1)

V = Volume/isi benda uji

10. Analisa Saringan Agregat Kasar/Kerikil

Tujuan dari analisis saringan ini adalah untuk memahami komposisi agregat dan menentukan proporsi agregat dengan ukuran butir yang berbeda dalam sampel. Prosedur Analisa saringan agregat kasar mengikuti pedoman yang diatur dalam SNI ASTM C136:2012. Perhitungan analisa saringan agregat kasar/kerikil dapat dilihat pada persamaan berikut

$$\text{Modulus halus butir} = (\% \text{komulatif tertahan})/100$$

11. Analisa Keausan Agregat Kasar/Kerikil Dengan Mesin Los Angles

Analisis keausan agregat kasar atau kerikil dengan mesin Los Angeles adalah suatu pengujian yang dilakukan untuk mengevaluasi ketahanan agregat kasar terhadap abrasi atau keausan. Prosedur Analisa keausan agregat kasar/kerikil mengikuti pedoman yang diatur dalam SNI 2417:2008. Perhitungan Analisa keausan agregat kasar/kerikil dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$\text{Keausan} = (a-b)/a \times 100\%$$

Keterangan :

a = Berat benda uji semula (gram)

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

12. Pemeriksaan Berat Jenis Semen

Pemeriksaan berat jenis semen adalah suatu pengujian yang dilakukan untuk menentukan berat jenis atau densitas semen. Berat jenis adalah perbandingan antara berat semen dan volume yang ditempati oleh semen tersebut. Prosedur pemeriksaan berat jenis semen mengikuti pedoman yang diatur dalam SNI 15-2531-2015. Perhitungan pemeriksaan berat jenis semen dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\text{Berat jenis semen} = B/((V2-V1))$$

B = Berat benda uji (gram)

V1 = Volume awal (ml)

V2 = Volume akhir (ml)

13. Pemeriksaan Waktu Pengikat Semen

Waktu pengikat semen adalah waktu yang diperlukan oleh semen untuk mencapai tahap-tahap pengikatan tertentu setelah pencampuran dengan air. Pengikatan semen adalah proses kimia yang terjadi saat semen bereaksi dengan air, membentuk pasta yang mengeras dan menguat seiring waktu. Prosedur pemeriksaan waktu pengikat semen mengikuti pedoman yang diatur dalam SNI 15-2049-2004.

Mix Design Beton

Mix design beton adalah proses penentuan komposisi campuran beton yang optimal untuk mencapai sifat-sifat yang diinginkan dalam beton, seperti kekuatan, ketahanan. Proses desain campuran ini melibatkan pemilihan proporsi yang tepat dari bahan-bahan komponen beton, termasuk semen, air, agregat kasar, agregat halus, dan bahan tambahan lainnya. Prosedur mix design beton mengikuti pedoman yang diatur dalam SNI 7656:2012.

Slump Test

Slump Test digunakan sebagai parameter untuk mengetahui sejauh mana adukan beton dapat dibentuk dengan mudah. Semakin tinggi nilai slump, semakin mudah adukan tersebut untuk dikerjakan (tingkat workability yang tinggi) (Van Gobel, 2019). Apabila tidak terjadi keruntuhan atau runtuh, maka nilai slump test merupakan indikasi tingkat kelembutan (softness) daripada kekakuan (stiffness) campuran tersebut. Keruntuhan (collapse) sering terjadi pada campuran beton yang memiliki sedikit pasir (lean), menunjukkan rendahnya kohesi dan kemampuan beton segar untuk mengalami deformasi plastis. Pengujian slump bermanfaat untuk mendeteksi perubahan dalam kadar air apabila material dan gradasi agregat seragam. Jika jumlah air konstan, maka pengujian slump dapat mengindikasikan perbedaan dalam gradasi atau perbandingan berat yang salah (Van Gobel, 2019). Prosedur uji slump test mengikuti pedoman yang diatur dalam SNI 1972-2008.

Perawatan Beton

Kehilangan kelembaban dapat menyebabkan kekeringan beton dan menyebabkan retakan pada permukaannya, yang akan mengurangi kekuatan beton dan menghambat reaksi kimiawi yang diperlukan (Rahmat Hidayat, 2017). Menurut (Rahmat Hidayat, 2017) untuk menjaga kelembaban dan suhu beton dalam proses perawatan agar menghasilkan beton yang kuat dan tahan lama dapat digunakan metode dibawah ini antara lain sebagai berikut :

1. *Water (Standart Curing)*

Beton direndam dalam air selama periode yang diperlukan untuk penggunaannya.

2. *Exposed Atmosfer*

Setelah beton dikeluarkan dari cetakan, dibiarkan terbuka dalam lingkungan suhu ruangan.

3. *Sealed atau Wrapping*

Permukaan beton dibungkus dan dilindungi dari kehilangan kelembaban dengan menggunakan bahan seperti karung basah.

4. *Steam Curing* (perawatan uap)

Metode perawatan ini sering digunakan untuk beton yang diproduksi di pabrik. Beton diperlakukan dengan uap pada suhu tertentu, biasanya berkisar antara 80 hingga 150°C, dengan tekanan udara sekitar 76 mm/Hg selama periode tertentu, seringkali 24 jam.

5. *Autoclave*

Beton dikenakan tekanan tinggi dalam ruang tertutup untuk mencapai mutu beton yang tinggi.

Pengujian Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan beton adalah parameter paling penting dalam menilai mutu beton dibandingkan dengan sifat-sifat lainnya. Faktor-faktor yang memengaruhi kekuatan tekan beton termasuk komposisi semen, agregat kasar dan halus, air, serta variasi campuran (Dady, 2015). Pengujian kuat tekan beton mengikuti pedoman yang diatur dalam SNI 1974:2011 dengan benda uji berbentuk silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini akan di lakukan saat umur beton mencapai 28 hari dengan menggunakan alat uji CTM (*Compression Testing Machine*). Perhitungan uji kuat tekan beton dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$Kuat\ tekan\ beton = P/A$$

Keterangan :

P = gaya tekan aksial (N)

A = luas penampang melintang benda uji (mm²)

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini proses pelaksanaan dimulai dengan merancang konsep penelitian, melakukan studi pustaka, mengumpulkan semua bahan baku seperti semen, agregat halus/pasir, agregat kasar/kerikil dan air. Serta mempersiapkan peralatan yang diperlukan. Selanjutnya, bahan-bahan tersebut menjalani berbagai pengujian termasuk kadar air agregat, kadar lumpur agregat, berat jenis dan penyerapan agregat, berat volume, analisa saringan agregat, analisa keausan untuk agregat kasar menggunakan mesin los angeles, serta berat jenis dan waktu pengikat semen. Langkah selanjutnya adalah membuat mix design beton berdasarkan SNI 7656:2012 dengan mutu beton yang disyaratkan f'c 24,9 MPa. Campuran ini kemudian digunakan dalam proses pencetakan beton dengan cetakan berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Pengujian kuat tekan dilakukan pada beton tersebut setelah mencapai umur 28 hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan Material Beton

Pemeriksaan material beton dilaksanakan untuk menilai sifat fisik yang membentuk komposisi beton. Proses ini memiliki peran penting yang bertujuan memastikan material beton yang dipergunakan memenuhi standar kualitas tertentu dan memiliki daya tahan yang sesuai dengan spesifikasi.

1. Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus/Pasir

Prosedur pemeriksaan kadar air agregat halus/pasir mengikuti pedoman yang diatur dalam SNI 1970:2011 dan hasil pemeriksaan kadar air agregat halus dapat dilihat pada table 1.1

Tabel 1.1 Hasil pemeriksaan kadar air agregat halus

Kadar Air Agregat Halus/Pasir (%)			
Lampung Tengah	Pesawaran	Pringsewu	Lampung Selatan
4,21 %	6,46 %	11,48 %	6,95 %

2. Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus/Pasir

Prosedur pemeriksaan kadar lumpur agregat halus/pasir mengikuti pedoman yang diatur dalam SNI ASTM C117:2012 dan Hasil pemeriksaan kadar air agregat halus dapat dilihat pada table 1.2

Tabel 1. 2 Hasil pemeriksaan kadar air agregat halus

Kadar Lumpur Agregat Halus/Pasir (%)			
Lampung Tengah	Pesawaran	Pringsewu	Lampung Selatan
3,34 %	4,16 %	7,28 %	4,80 %

3. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus/Pasir

Prosedur pemeriksaan berat jenis agregat halus/pasir mengikuti pedoman yang diatur dalam SNI 1970:2016 dan hasil pemeriksaan berat jenis agregat halus dapat dilihat pada table 1.3.

Tabel 1. 3 Hasil pemeriksaan berat jenis agregat halus

Sumber Agregat Halus/Pasir	Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus/Pasir			
	Berat Jenis	Berat Jenis	Berat Jenis	Penyerapan Air

	(S _d)	(S _s)	(S _a)	(A _w)
Lampung Tengah	2,4892 gr	2,5615 gr	2,7066 gr	3,4554 %
Pesawaran	2,3386 gr	2,4752 gr	2,7087 gr	5,9009 %
Pringsewu	2,1452 gr	2,3810 gr	2,8069 gr	10,9878 %
Lampung Selatan	2,3185 gr	2,4728 gr	2,7415 gr	6,6559 %

4. Pemeriksaan Berat Volume Agregat Halus/Pasir

Hasil pemeriksaan berat volume agregat halus/pasir dapat dilihat pada table 1.4.

Tabel 1. 4 Hasil pemeriksaan berat volume agregat halus

Berat Volume Agregat Halus/Pasir			
Lampung Tengah	Pesawaran	Pringsewu	Lampung Selatan
1,56 kg/m ³	1,47 kg/m ³	1,38 kg/cm ³	1,41 kg/cm ³

5. Analisa Saringan Agregat Halus/Pasir

Tujuan dari analisis saringan ini adalah untuk memahami komposisi agregat dan menentukan proporsi agregat dengan ukuran butir yang berbeda dalam sampel. Prosedur analisa saringan agregat halus/pasir mengikuti pedoman yang diatur dalam SNI ASTM C136:2012. Hasil pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus/Pasir dapat dilihat pada table 1.5.

Tabel 1. 5 Hasil analisa saringan agregat halus/pasir

Sumber Agregat	Zona	Modulus Kehalusan
Lampung Tengah	II	2,492 %
Pesawaran	II	2,637 %
Pringsewu	II	2,493 %
Lampung Selatan	I	2,885 %

6. Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar/Kerikil

Prosedur pemeriksaan kadar air agregat kasar/kerikil mengikuti pedoman yang diatur dalam SNI 1970:2011. Kadar air agregat kasar adalah sebesar 2,3541 %.

7. Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar/Kerikil

Prosedur pemeriksaan kadar lumpur agregat kasar/kerikil mengikuti pedoman yang diatur dalam SNI ASTM C117:2012. Kadar lumpur agregat kasar adalah sebesar 0,78%.

8. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar/Kerikil

Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui berat jenis dan penyerapan agregat kasar/kerikil yang akan digunakan sebagai campuran dalam pembuatan beton. Prosedur pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar/kerikil mengikuti pedoman yang diatur dalam SNI 1969:2016. Hasil pemeriksaan berat jenis agregat kasar dapat dilihat pada table 1.6.

Tabel 1. 6 Hasil pemeriksaan berat jenis agregat kasar

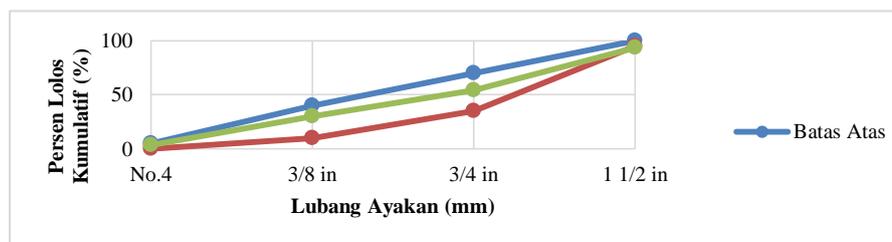
Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar/Kerikil			
Berat Jenis (S _d)	Berat Jenis (S _s)	Berat Jenis (S _a)	Penyerapan Air (A _w)
2,439 gr	2,458 gr	2,486 gr	0,772 %

9. Pemeriksaan Berat Volume Agregat Kasar/Kerikil

Perhitungan berat volume agregat didasarkan pada berat agregat kasar/kerikil kering, yang diukur setelah agregat halus/pasir dikeringkan dengan oven untuk menghilangkan kadar air yang ada. Berat Volume agregat halus adalah sebesar 1,43 kg/cm³.

10. Analisa Saringan Agregat Kasar/Kerikil

Tujuan dari analisis saringan ini adalah untuk memahami komposisi agregat dan menentukan proporsi agregat dengan ukuran butir yang berbeda dalam sampel. Prosedur Analisa saringan agregat kasar mengikuti pedoman yang diatur dalam SNI ASTM C136:2012. Hasil analisa saringan agregat kasar/kerikil dapat dilihat pada grafik 1.1 berikut:



Gambar 1.1 Grafik analisa saringan agregat kasar

11. Analisa keausan Agregat Kasar/Kerikil dengan mesin los angeles

Prosedur Analisa keausan agregat kasar/kerikil mengikuti pedoman yang diatur dalam SNI 2417:2008. Nilai keausan pada agregat kasar yang diuji menggunakan mesin los angeles adalah sebesar 16,420 %.

12. Pemeriksaan Berat Jenis Semen

Pemeriksaan berat jenis semen adalah suatu pengujian yang dilakukan untuk menentukan berat jenis atau densitas semen. Berat jenis adalah perbandingan antara berat semen dan volume yang ditempati oleh semen tersebut. Prosedur pemeriksaan berat jenis semen mengikuti pedoman yang diatur dalam SNI 15-2531-2015. Hasil perhitungan berat jenis semen pada penelitian ini adalah sebesar 3,09 gram/cm³

13. Pemeriksaan Waktu Pengikat Semen

Prosedur pemeriksaan waktu pengikat semen mengikuti pedoman yang diatur dalam SNI 15- 2049-2004. Hasil dari pemeriksaan waktu pengikat semen dapat dilihat pada Tabel 1.7.

Tabel 1. 7 Hasil pemeriksaan waktu pengikat semen

No.	Waktu	Tinggi Penetrasi
1	30 Menit	48 mm
2	45 Menit	48 mm
3	60 Menit	50 mm
4	75 Menit	49 mm
5	90 Menit	48 mm

Mix Design Beton

Tahapan perencanaan campuran beton dengan metode SNI 7656:2012. Rencana benda uji memiliki kekuatan tekan rata-rata pada umur 28 hari sebesar 25 MPa. Penempatannya memungkinkan slump sebesar 75 mm sampai dengan 100 mm dan menggunakan ukuran nominal maksimum agregat 37,5 mm.

1. Mix Design Beton Agregat Halus Lampung Tengah

Berdasarkan pemeriksaan material beton agregat halus Lampung tengah yang telah dilakukan, diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 1. 8 Hasil pemeriksaan material beton agregat halus Lampung Tengah

	Agregat Halus	Agregat Kasar
Modulus kehalusan	2,49	7,18
Berat jenis SSD	2,56	2,46
Penyerapan air (%)	3,46	0,77
Kadar air (%)	4,21	2,35
Berat isi volume	1,56	1,43
Kadar lumpur (%)	3,34	0,78

2. Mix Design Beton Agregat Halus Pesawaran

Berdasarkan pemeriksaan material beton agregat halus pesawaran yang telah dilakukan, diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 1. 9 Hasil pemeriksaan material beton agregat halus Pesawaran

	Agregat Halus	Agregat Kasar
Modulus kehalusan	2,64	7,18
Berat jenis SSD	2,48	2,46
Penyerapan air (%)	5,90	0,77
Kadar air (%)	6,46	2,35
Berat isi volume	1,47	1,43
Kadar lumpur (%)	5,56	0,78

3. Mix Design Beton Agregat Halus Pringsewu

Berdasarkan pemeriksaan material beton agregat halus pringsewu yang telah dilakukan, diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 1. 10 Hasil pemeriksaan material beton agregat halus Pringsewu

	Agregat Halus	Agregat Kasar
Modulus kehalusan	2,49	7,18

Berat jenis SSD	2,38	2,46
Penyerapan air (%)	5,90	0,77
Kadar air (%)	10,98	2,35
Berat isi volume	1,38	1,43
Kadar lumpur (%)	7,28	0,78

4. Mix Design Beton Agregat Halus Lampung Selatan

Berdasarkan pemeriksaan material beton agregat halus Lampung selatan yang telah dilakukan, diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 1. 11 Hasil pemeriksaan material beton agregat halus Lampung Selatan

	Agregat Halus	Agregat Kasar
Modulus kehalusan	2,89	7,18
Berat jenis SSD	2,47	2,46
Penyerapan air (%)	6,66	0,77
Kadar air (%)	6,95	2,35
Berat isi volume	1,41	1,43
Kadar lumpur (%)	4,8	0,78

Pembuatan Benda Uji

Pada penelitian ini jumlah benda uji yang akan dibuat sebanyak 20 benda uji beton dengan menggunakan cetakan berbentuk silinder yang memiliki diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Beberapa langkah dilakukan dalam proses pembuatan benda uji antara lain :

1. Pengadukan beton

Pengadukan beton menggunakan mesin pengaduk (*mixer*). pertama tuangkan agregat kasar kedalam *mixer*, kemudian agregat halus berikut dengan semen, lalu operasikan *mixer* untuk mencampur bahan yang sudah dimasukkan kedalamnya. Setelah semua bahan tercampur dengan merata masukan air secara bertahap sesuai dengan jumlah yang sudah ditentukan pada saat *mix design*. Lanjutkan pengadukan sampai semua bahan tercampur dengan merata. Setelah beton tercampur merata kemudian adukan beton tersebut dituang ke dalam pan. Setelah campuran beton merata, selanjutnya menuangkan adukan beton tersebut ke wadah untuk memudahkan pencetakan.

2. Pencetakan

Sebelum menuangkan beton ke dalam cetakan, terlebih dahulu dilakukan slump test. Setelah itu, adukan beton dimasukkan ke dalam cetakan yang telah disediakan menggunakan sekop. Setiap pengambilan dari adukan harus mewakili campuran tersebut, mengisi cetakan dengan adukan sebanyak 1/3, kemudian melakukan pemadatan dengan merojok atau menusuk menggunakan batang besi berdiameter 16 mm sebanyak 25 kali. Proses ini diulang untuk 2/3 dan 3/3 cetakan atau hingga cetakan penuh. Selanjutnya, beton dipadatkan dengan menggunakan palu karet hingga tidak ada gelembung udara yang keluar dari campuran. Setelah itu, permukaan cetakan diratakan dan Cetakan dilepas setelah 24 jam, dan tidak boleh lebih dari 48 jam setelah proses pencetakan.

Slump Test

Pengujian slump dilakukan menggunakan kerucut *Abrams* dengan cara menuangkan beton segar ke dalam kerucut sebanyak 3 lapis, di mana setiap lapisannya kira-kira 1/3 dari kapasitas kerucut. Pada setiap lapisan, dilakukan penusukan sebanyak 25 kali dengan tongkat penusuk menjangkau hingga bagian bawah setiap lapisan setelah proses pengisian selesai. Setelah itu, permukaan kerucut diratakan dan cetakan diangkat dalam waktu 5 ± 2 detik tanpa gerakan lateral atau torsional. Keseluruhan proses pengujian, mulai dari pengisian hingga pelepasan cetakan, harus diselesaikan tanpa gangguan dalam waktu tidak lebih dari 2 1/2 menit. Nilai dari *slump* diukur selisih tinggi awal dan tinggi setelah pengujian pada kerucut. Terlihat nilai *slump test* yang dihasilkan dari masing-masing variasi agregat halus pada **Tabel 1.12**

Tabel 1. 12 Nilai *slump test* masing-masing variasi agregat halus

Beton Normal Agregat Halus Lampung Tengah	Beton Normal Agregat Halus Pesawaran	Beton Normal Agregat Halus Pringsewu	Beton Normal Agregat Halus Lampung Selatan

750 mm	750 mm	800 mm	750 mm
--------	--------	--------	--------

Kuat Tekan Beton

Data rata-rata kuat tekan dari 5 benda uji beton untuk setiap variasi yang diuji di laboratorium Teknik Sipil Universitas Teknokrat Indonesia tercantum dalam Tabel 1.13 sd 1.16

Tabel 1.13 Hasil pengujian kuat tekan beton agregat halus lampung tengah

No	Umur (Hari)	Massa Benda uji (kg)	dimensi		Luas Bidang (mm ²)	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tekan (N/mm ²)	Rata-rata (N/mm ²)
			L (mm)	D (mm)				
I	28	12,20	300	150	17671,50	459,99	26,03	25,61
II	28	12,40	300	150	17671,50	444,26	25,14	
III	28	12,25	300	150	17671,50	451,86	25,57	
IV	28	12,35	300	150	17671,50	461,23	26,10	
V	28	12,30	300	150	17671,50	445,85	25,23	

Tabel 1.14 Hasil pengujian kuat tekan beton agregat halus pesawaran

No	Umur (Hari)	Massa Benda uji (kg)	dimensi		Luas Bidang (mm ²)	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tekan (N/mm ²)	Rata-rata (N/mm ²)
			L (mm)	D (mm)				
I	28	11,35	300	150	17671,50	420,05	23,77	22,51
II	28	12,50	300	150	17671,50	368,10	20,83	
III	28	12,35	300	150	17671,50	396,90	22,46	
IV	28	12,45	300	150	17671,50	381,88	21,61	
V	28	12,40	300	150	17671,50	421,82	23,87	

Tabel 1.15 Hasil pengujian kuat tekan beton agregat halus pringsewu

No	Umur (Hari)	Massa Benda uji (kg)	dimensi		Luas Bidang (mm ²)	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tekan (N/mm ²)	Rata-rata (N/mm ²)
			L (mm)	D (mm)				
I	28	12,45	300	150	17671,50	386,83	21,89	19,99
II	28	12,10	300	150	17671,50	334,52	18,93	
III	28	12,15	300	150	17671,50	356,43	20,17	
IV	28	12,40	300	150	17671,50	339,47	19,21	
V	28	12,15	300	150	17671,50	348,66	19,73	

Tabel 1.16 Hasil pengujian kuat tekan beton agregat halus lampung selatan

No	Umur (Hari)	Massa Benda uji (kg)	dimensi		Luas Bidang (mm ²)	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tekan (N/mm ²)	Rata-rata (N/mm ²)
			L (mm)	D (mm)				
I	28	12,05	300	150	17671,50	394,78	22,34	20,87
II	28	12,00	300	150	17671,50	366,86	20,76	
III	28	11,95	300	150	17671,50	350,07	19,81	
IV	28	12,10	300	150	17671,50	358,55	20,29	
V	28	12,05	300	150	17671,50	374,11	21,17	

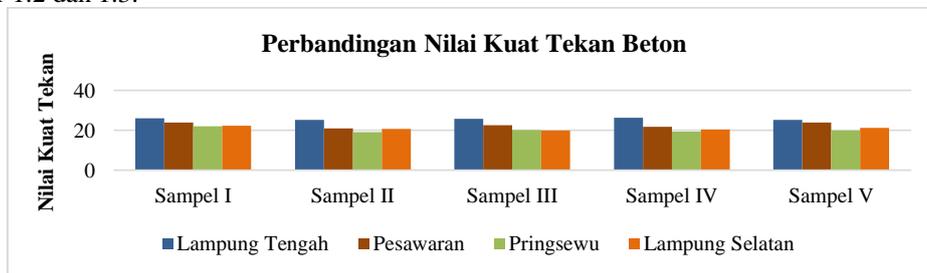
Pembahasan

Hasil pemeriksaan agregat halus diperoleh data seperti pada **Tabel 1.17**

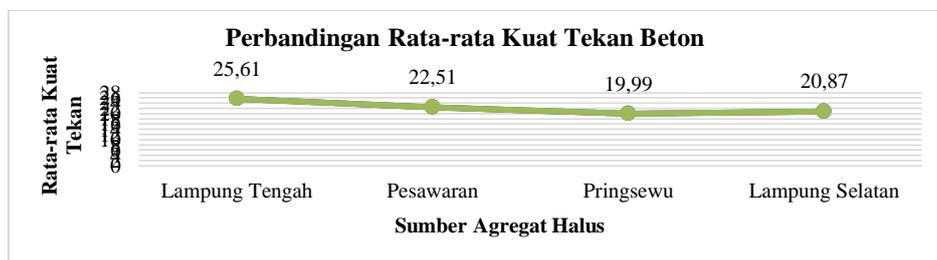
Tabel 1.17 Hasil pemeriksaan agregat halus

Sumber Agregat	Kadar Air	Kadar Lumpur	Berat Jenis	Berat Volume	Modulus Kehalusan
Lampung Tengah	4,21%	3,34%	2,5615 gr	1,56 kg/m ³	2,492 %
Pesawaran	6,46%	4,16%	2,4752 gr	1,47 kg/m ³	2,637 %
Pringsewu	11,48%	7,28%	2,3810 gr	1,38 kg/m ³	2,493 %
Lampung Selatan	6,95%	4,80%	2,4728 gr	1,41 kg/m ³	2,885 %

Berdasarkan pemeriksaan kadar air agregat halus Lampung Tengah sebesar 4,21%, agregat halus Pesawaran sebesar 6,46%, agregat halus Pringsewu sebesar 11,48% dan agregat halus Lampung Selatan sebesar 6,95%. Sementara itu kadar lumpur agregat halus di Lampung Tengah adalah 3,34%, di Pesawaran adalah 4,16%, Pringsewu adalah 7,28% dan Lampung Selatan adalah 4,80%. Berdasarkan hasil pengujian tersebut agregat halus di Lampung Tengah, Pesawaran, dan Pringsewu telah sesuai dengan batasan nilai maksimal 5% untuk kadar lumpur dalam agregat halus sedangkan agregat halus di Pringsewu tidak memenuhi ketentuan tersebut. Hasil dari pemeriksaan Berat Jenis Halus Lampung Tengah menunjukkan nilai berat jenis sebesar 2,5615 gr, Pesawaran sebesar 2,4752 gr, Pringsewu sebesar 2,3810 gr dan Lampung Selatan sebesar 2,4728 gr. Pemeriksaan Berat Volume Agregat Halus dilakukan dengan membandingkan berat contoh sampel dengan volume wadah menghasilkan nilai berat volume Lampung Tengah sebesar 1,56 kg/m³, Pesawaran sebesar 1,47 kg/m³, Pringsewu sebesar 1,38 kg/m³ dan Lampung Selatan sebesar 1,41 kg/m³. Hasil Analisa Saringan menunjukkan Modulus kehalusan agregat halus Lampung Tengah sebesar 2,492%, Pesawaran sebesar 2,637%, Pringsewu sebesar 2,493% dan Lampung Selatan sebesar 2,885%. Berdasarkan grafik hasil pengujian agregat halus Lampung Tengah, Pesawaran dan Pringsewu termasuk dalam gradasi agregat halus untuk zona 2 (pasir sedang), sedangkan agregat halus di Lampung Selatan termasuk dalam gradasi agregat halus untuk zona 1 (Pasir Halus). Hasil pengujian kuat tekan beton normal pada umur 28 hari dari 5 sampel beton yang diuji, diperoleh rata-rata nilai kuat tekan beton Agregat Halus Lampung Tengah sebesar 25,61 Mpa, Agregat Halus Pesawaran sebesar 22,51 Mpa, Agregat Halus Pringsewu sebesar 19,99 Mpa dan Agregat Halus Lampung Selatan sebesar 20,87 Mpa. Grafik perbandingan kuat tekan beton yang dihasilkan dari masing-masing agregat halus terdapat pada gambar 1.2 dan 1.3.



Gambar 1.2 Grafik perbandingan nilai kuat tekan beton



Gambar 1.3 Grafik perbandingan rata-rata nilai kuat tekan beton

SIMPULAN

Hasil penelitian mengenai Perbandingan Kuat Tekan Beton Berdasarkan Sumber Pengambilan Agregat Halus menghasilkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil kuat tekan beton normal dipengaruhi oleh karakteristik agregat halus yang digunakan. Perbedaan dalam karakteristik agregat halus menjadi faktor penyebab variasi hasil kuat tekan beton, meskipun perencanaan

kuat tekan beton sama. Agregat halus dari Lampung Tengah menunjukkan kuat tekan beton yang lebih tinggi dibandingkan dengan agregat halus dari Pesawaran, Pringsewu, dan Lampung Selatan.

2. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton yang menggunakan berbagai jenis agregat halus, ditemukan bahwa rata-rata kuat tekan beton bervariasi tergantung pada sumber agregat halusnya. Beton dengan menggunakan agregat halus dari Lampung Tengah memiliki rata-rata kuat tekan sebesar 25,61 MPa sementara beton yang menggunakan agregat halus dari Pesawaran memiliki rata-rata kuat tekan 22,51 MPa. Sedangkan untuk beton yang menggunakan agregat halus dari Pringsewu dan Lampung Selatan, yang masing-masing memiliki rata-rata kuat tekan sebesar 19,99 MPa dan 20,87 MPa.

DAFTAR PUSTAKA

- Asmara, F.J., Suhendra, S. dan Dwiretnani, A. (2021) "Analisis Perbandingan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton Yang Menggunakan Pasir Sungai Batang Asai Dan Pasir Sungai Batanghari," *Jurnal Talenta Sipil*, 4(1), hal. 1.
- Dady, Y.T. (2015) "Pengaruh Kuat Tekan Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang," *Jurnal Sipil Statik*, 3(5), hal. 341–350.
- Eveline, G., Kumaat dan Windah. (2015) "Pengujian Kuat Tarik Belah Dengan Variasi Kuat Tekan Beton," *Jurnal Sipil Statik*, 3(10), hal. 703–708.
- Imam, Lukman, H. dan Artiningsih, T.P. (2023) "Analisa Perbandingan Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Agregat Halus Pasir Citarik (Sukabumi) Dan Pasir Jebrod (Cianjur)," *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Sipil*, 1(1), hal. 1–14.
- Khairil Yanuar (2014) "Variasi Pemakaian Pasir Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi F'C 35," *Jurnal POROS TEKNIK*, 6(1), hal. 1–54.
- Knaofmone, R., Asrial, A. dan Messakh, J.J. (2022) "Comparison Study Of Concrete Compressive Strength With Natural Aggregate And Crushed Stone," *Jurnal Batakarang*, 3(1), hal. 12–18.
- M. Rizky Wahyudi (2022) *Analisa Perbandingan Pasir Pantai Kasan Dengan Pasir Pantai Labu Terhadap Kuat Tekan Beton*.
- Pane, F.P., Tanudjaja, H. dan Windah. (2015) "Pengujian Kuat Tarik Belah Dengan Variasi Kuat Tekan Beton," *Jurnal Sipil Statik*, 3(10), hal. 703–708.
- Rahmat Hidayat (2017) *Kuat Tekan Beton Dengan Variasi Agregat Halus yang Berasal Daari beberapa Tempat Di Sumatera Utara, Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.
- Sayfullah, Bahar, Mirna dan Susanto. (2022) "Perbandingan Kuat Tekan Beton Normal dengan Beton Yang Menggunakan Bahan Tambah Karbon Sisa Pembakaran Kayu," *Shell Civil Engineering Journal*, 7(2), hal. 70–80.
- Setiawan, D. dan Subhan, A. (2022) "Perbandingan Kuat Tekan Beton Antara Penggunaan Agregat Gunung Jebrod Dengan Agregat Sungai Cisokan," *Konstruksia*, 13(2), hal. 125–134.
- Simanjuntak Johan Oberlyn *et al.* (2021) "Sifat Dan Karakteristik Campuran Beton Menggunakan Batu Pecah Dan Batu Guli Dari Sungai Binjai," *Jurnal Visi Eksakta*, 2(2), hal. 239–254.
- Standart Nasional Indonesia. (2000). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (SNI 03-2843-2000)*. Standart Nasional Indonesia.
- Standart Nasional Indonesia. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)*. Standart Nasional Indonesia.
- Standart Nasional Indonesia. (2004). *Semen Portland (SNI 15-2049:2004)*. Standart Nasional Indonesia.
- Standart Nasional Indonesia. (2008). *Cara Uji Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles (SNI 2417:2008)*. Standart Nasional Indonesia.
- Standart Nasional Indonesia. (2008). *Cara Uji Slump Beton (SNI 1972:2008)*. Standart Nasional Indonesia.
- Standart Nasional Indonesia. (2011). *Cara Uji Kadar Air Total Agregat Dengan Pengeringan (SNI 1971:2011)*. Standart Nasional Indonesia.
- Standart Nasional Indonesia. (2011). *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder (SNI 1974:2011)*. Standart Nasional Indonesia.
- Standart Nasional Indonesia. (2012). *Metode Uji Bahan Yang Lebih Halus Dari Saringan 75 μ m (No.200) Dalam Agregat Mineral Dengan Pencucian (SNI ASTM C117:2012)*. Standart Nasional Indonesia.
- Standart Nasional Indonesia. (2012). *Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus Dan Agregat Kasar (SNI ASTM C136:2012)*. Standart Nasional Indonesia.
- Standart Nasional Indonesia. (2012). *Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat Dan*

- Beton Massa (SNI 7656:2012)*. Standart Nasional Indonesia.
- Standart Nasional Indonesia. (2015). *Semen Portland (SNI 2049:2015)*. Standart Nasional Indonesia.
- Standart Nasional Indonesia. (2015). *Metode Uji Densitas Semen Hidraulis (SNI 15-2531-2015)*. Standart Nasional Indonesia.
- Standart Nasional Indonesia. (2016). *Metode Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus (SNI 1970:2016)*. Standart Nasional Indonesia.
- Usman, S.D. (2022) "Studi Eksperimental Karakteristik Agregat dari Sungai Bone dan Sungai Bolango terhadap Proporsi Campuran Beton," *Rekayasa Jurnal Teknik Sipil*, 7(1), hal. 19–24.
- Van Gobel, F.M. (2019) "Nilai Kuat Tekan Beton Pada Slump Beton Tertentu," *RADIAL – jurnal peradaban sains, rekayasa dan teknoLogi Sekolah Tinggi Teknik (STITEK) Bina Taruna Gorontalo*, 5(1), hal. 22–33.