

# SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC002023113897, 18 November 2023

## Pencipta

Nama : **Adnan dan Juwixsan Arisandy**

Alamat : Jl. Jend. Sudirman, RT/RW: 001/002, Lapadde, Ujung, Parepare, 91112, Sulawesi Selatan, Indonesia, Ujung, Parepare, Sulawesi Selatan, 91112

Kewarganegaraan : Indonesia

## Pemegang Hak Cipta

Nama : **Adnan dan Juwixsan Arisandy**

Alamat : Jl. Jend. Sudirman, RT/RW: 001/002, Lapadde, Ujung, Parepare, 91112, Sulawesi Selatan, Indonesia, Ujung, Parepare, Sulawesi Selatan, 91112

Kewarganegaraan : Indonesia

Jenis Ciptaan : **Karya Ilmiah**

Judul Ciptaan : **BETON ADDITIVE MENGGUNAKAN LIMBAH BATU STONE CRUSHER**

Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia : 1 Oktober 2023, di Parepare

Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama hidup Pencipta dan terus berlangsung selama 70 (tujuh puluh) tahun setelah Pencipta meninggal dunia, terhitung mulai tanggal 1 Januari tahun berikutnya.

Nomor pencatatan : 000546852

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.

Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.

a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA  
Direktur Hak Cipta dan Desain Industri



Anggoro Dasananto  
NIP. 196412081991031002

Disclaimer:

Dalam hal pemohon memberikan keterangan tidak sesuai dengan surat pernyataan, Menteri berwenang untuk mencabut surat pencatatan permohonan.

# BETON ADDITIVE MENGGUNAKAN LIMBAH BATU STONE CRUSHER

*Adnan, Juwiksan A*

**Abstrak**, Limbah batu stone crusher merupakan limbah dari produksi batu pecah yang diambil dari batu gunung. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh substitusi limbah terhadap kuat tekan beton dengan penambahan superplasticizer. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental yang dilakukan di laboratorium struktur dan bahan Universitas Muhammadiyah Parepare pada bulan Desember 2022-Januari 2023. Hasil penelitian kuat tekan beton normal sebesar 25,01 MPa, BNA400 sebesar 25,48 MPa, L50A400 sebesar 22,93 MPa, dan L100A400 sebesar 21,14 MPa. Menunjukkan bahwa penggunaan superplasticizer 400 ml pada beton normal lebih optimal digunakan jika dibandingkan penggunaan 50% maupun 100% limbah dalam meningkatkan kualitas beton dengan masing-masing tambahan superplasticizer 400 ml. Sehingga penggunaan limbah batu stone crusher dengan tambahan additive superplasticizer 400 ml mendapatkan kuat tekan lebih besar dari 20 Mpa.

*Kata kunci: kuat tekan, limbah batu, superplasticizer, variasi*

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Industri konstruksi di Indonesia saat ini sedang berkembang sangat pesat. Salah satu yang telah melihat pertumbuhan yang signifikan adalah beton. Beton adalah bahan yang paling umum digunakan dalam pembangunan gedung apartemen. Beton biasanya merupakan campuran pasir, kerikil, semen dan air. Pembuatannya dimulai dari pondasi, kolom, struktur bangunan, jalan, jembatan dan trotoar serta proyek konstruksi lainnya dimana beton digunakan sebagai bahan dasar proyek konstruksi bangunan. Hal ini tentunya diawali dengan kebutuhan masyarakat akan perumahan, infrastruktur transportasi dan lain-lain, sehingga penggunaan beton untuk konstruksi melebihi kapasitas sumber daya alamnya (bahan untuk membuat beton). Menurut pandangan ini, sudah banyak penelitian sebelumnya dan upaya berinovasi untuk menciptakan komposisi baru, tentunya dalam pembuatan beton.

Inovasi yang sering dilakukan adalah penggantian bahan baku dalam produksi beton. Dengan mengganti pasir, kerikil, semen dan menambahkan bahan kimia yang meningkatkan kuat tekan beton namun dapat mengurangi penggunaan material. Salah satu inovasi penelitian ini adalah pemanfaatan limbah sebagai bahan campuran beton. Limbah tentunya menjadi masalah yang sangat mengganggu lingkungan karena tidak dimanfaatkan dengan baik sehingga menumpuk di tempat pembuangan. Banyak limbah yang saat ini digunakan oleh peneliti sebelumnya seperti serbuk kayu, limbah plastik, sabuk kelapa, limbah kaca dan masih banyak lagi. Salah satu bahan limbah yang digunakan dalam penelitian ini adalah puing-puing batuan. Limbah batu merupakan limbah dari industri batu yang dihancurkan oleh stone crusher yang jumlahnya tidak sedikit. Akumulasi puing-puing batu yang terus menerus dapat mempengaruhi daerah sekitarnya. Mungkin itu karena sulitnya menemukan TPA. Di Kabupaten Sidenreng Rappang Provinsi Sulawesi Selatan terdapat industri yang memproduksi batu pecah atau secara alami banyak menghasilkan limbah batu. Limbah batu merupakan salah satu limbah yang harus diolah. Kegunaan *stone crusher* adalah untuk menghancurkan batu alam menjadi dimensi yang lebih kecil sesuai spesifikasi yang dibutuhkan. Batuan buangan sendiri memiliki banyak variasi kadar yang berbeda yang dapat digunakan sebagai bahan pengganti atau sebagai pengganti bahan dasar dalam pembuatan beton agregat halus.

Namun, beberapa penelitian dan pernyataan sebelumnya tentang limbah batu sebagai campuran pembuatan beton menunjukkan bahwa itu tidak cocok untuk digunakan dalam beton struktural. Menanggapi pernyataan tersebut, peneliti menambahkan bahwa penggunaan superplasticizer dalam campuran beton diharapkan dapat meningkatkan kekuatan beton.

Penelitian ini menemukan kuat tekan beton sebagai alternatif limbah batuan sebagai bahan pengganti atau sebagai pengganti bahan dasar dalam produksi beton agregat halus dengan penambahan bahan kimia superplasticizer, dan diharapkan penambahan superplasticizer ini dapat meningkatkan kuat tekan beton, karena limbah pemecah batu hampir semua ditemukan pada penelitian sebelumnya bahwa limbah pemecah batu tidak cocok digunakan dalam konstruksi bangunan karena kuat tekannya rendah.

### **Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Bagaimana pengaruh substitusi limbah batu *stone crusher* terhadap kuat tekan beton akibat dari penambahan *superplasticizer (No Drop Plaston)*?
- Bagaimana hasil persentase perbandingan setiap variasi substitusi agregat halus (pasir) alami dengan agregat limbah batu *stone crusher* yang ditambah bahan *additive Superplasticizer (No Drop Plaston)*?

### **Tujuan Penelitian**

Melihat latar belakang serta rumusan masalah yang ada, tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah :

- Mengetahui pengaruh substitusi limbah batu *stone crusher* terhadap kuat tekan beton akibat dari penambahan *superplasticizer (No Drop Plaston)*.
- Mengetahui hasil persentase perbandingan setiap variasi substitusi agregat halus (pasir) alami dengan agregat limbah batu *stone crusher* yang ditambah bahan *additive Superplasticizer (No Drop Plaston)*.

### **Batasan Masalah**

Pada penelitian ini perlu dilakukan batasan masalah mengingat banyaknya permasalahan yang terdapat pada teknologi beton sehingga pembahasan menjadi tidak meluas dan memiliki batasan-batasan yang jelas. Adapun yang menjadi batasan masalah adalah sebagai berikut :

- Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium struktur dan bahan, Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Parepare.
- Perencanaan campuran beton berdasarkan SNI 7656: 2012 (Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa).
- Tinjauan analisisnya adalah kuat tekan beton.
- Kuat tekan beton rencana 25 Mpa.
- Ketentuan bahan pada penelitian ini antara lain :
  - Semen yang digunakan adalah *portland Cement Type I*.
  - Agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir).
  - Bahan tambah yang digunakan yaitu limbah batu (*stone crusher*) dan *superplasticizer (No Drop Plaston)*.
  - Air yang digunakan dari laboratorium struktur dan bahan universitas muhammadiyah parepare.
- Benda uji berbentuk silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi (h) 30. Jumlah benda uji :
  - Jumlah variasi yang digunakan ada 4 (empat) yaitu beton normal, beton normal + *Superplasticizer (No Drop plaston)* 400 ml, limbah batu *stone crusher* 50% +

*Superplasticizer (No Drop plaston)* 400 ml, limbah batu *stone crusher* 100% + *Superplasticizer (No Drop plaston)* 400 ml,

- Jumlah bendah uji berupa silinder sebanyak 36 sampel untuk setiap komposisi dan setiap uji mutu.
- Perencanaan *mix desain* sesuai (SNI 7656: 2012)
- Nilai Slump Rencana 75-100 mm
- Tes kuat tekan beton umur 3, 14, dan 28 hari.

### **Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini antara lain :

- Mengurangi pencemaran limbah batu *stone crusher* yang dihasilkan oleh industri batu spil yang berlokasi jalan parepare-sidrap, kecamatan watang pulu, kabupaten Sidenreng Rappang, untuk mengoptimalkan penggunaannya.
- Menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya yang membahas mengenai limbah batu *stone crusher* sebagai bahan alternatif untuk mengurangi penggunaan agregat halus (pasir).

### **Sistematika Penulisan**

Secara garis besar sistematika penulisan yang dapat disajikan sebagai berikut:

**PENDAHULUAN**, berisi tentang gambaran secara umum dan hal yang melatarbelakangi penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

**TINJAUAN PUSTAKA**, dijelaskan tentang teori-teori yang berhubungan dan mendukung secara ilmiah dengan penelitian yang dilakukan serta sebagai landasan teori dalam penelitian.

**METODE PENELITIAN**, berisi penjelasan tentang metode yang akan digunakan dalam penelitian seperti jenis penelitian, lokasi dan waktu penelitian, alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian, teknik pengumpulan data, teknik analisis data, serta bagan alir penelitian.

**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**, berisi tentang hasil penelitian yang dilakukan melalui uji laboratorium dijabarkan dalam bentuk tabel, grafik, maupun gambar.

**PENUTUP**, berisi tentang kesimpulan dari seluruh rangkaian penelitian yang telah dilakukan serta saran-saran yang berupa sumbangan pikiran terkait dengan permasalahan penelitian.

## **TINJAUAN PUSTAKA**

### **Beton**

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 2493: 2011) Beton didefinisikan sebagai campuran semen, air, agregat kasar dan halus dan, jika perlu, aditif dalam proporsi tertentu, yang awalnya plastis kemudian secara bertahap mengeras seperti batu. Campuran ini, selagi masih plastis, dituangkan ke dalam cetakan dan dikerjakan untuk mempercepat reaksi hidrasi campuran semen-air yang menciptakan selubung beton. Beton diperoleh dengan mencampurkan semen, air, agregat dengan atau tanpa bahan tambahan tertentu. Bahan penyusun beton dicampur secara merata menjadi campuran plastis dengan komposisi tertentu untuk dituangkan ke dalam cetakan dengan bentuk yang diinginkan.

Pada umumnya beton terdiri dari 15% semen, 8% air, 3% udara dan sisanya pasir dan kerikil. Setelah diawetkan, campuran tersebut memiliki sifat yang berbeda tergantung pada proses produksinya. Rasio campuran, pencampuran, pengangkutan, pemadatan, penanganan dan beberapa hal tersebut mempengaruhi sifat-sifat beton (Wuryati & Candra, 2001).

## Macam-macam beton

Menurut (Tjokrodinuljo, 1996), macam-macam beton sebagai berikut:

1. Beton normal, Beton normal adalah beton dengan berat 2200 kg/ sampai 2500 kg/ dan terbuat dari campuran semen portland atau semen terhidrolisis lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambahan (SNI 7656-2012).
2. Beton ringan, Beton ringan adalah beton dengan berat kurang dari 1800 (kg/m)<sup>3</sup>. Nilai kuat tekan lebih rendah dari beton biasa dan bukan merupakan penghantar panas yang baik.
3. Beton massa, Beton massa adalah beton yang dituang dalam jumlah banyak yaitu rasio volume terhadap permukaan besar. Biasanya dianggap sebagai massa beton jika dimensinya lebih dari 60 cm.
4. Ferosemen, Ferosemen adalah suatu bahan gabungan yang diperoleh dengan memberikan kepada mortal semen suatu tulangan yang berupa anyaman. *Ferosemen* dapat diartikan beton bertulang.
5. Beton serat, Beton serat adalah beton komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat. Bahan serat dapat berupa serat abses, serat tumbuh-tumbuhan (rami, bamboo, ijuk), serat platic (*polypropylene*) atau potongan kawat logam.
6. Beton non pasir, Beton non pasir adalah suatu bahan sederhana dan jenis beton ringan yang diperoleh menghilangkan bagian halus agregat pada pembuatannya. Rongga dalam beton mencapai 20-25%.
7. Beton siklop, Beton ini sama dengan beton biasa, bedanya digunakan agregat dengan ukuran besar-besar, ukurannya bisa mencapai 20 cm. Namun, proporsi agregat yang lebih besartidak boleh lebih dari 20%
8. Beton hampa (*vacuum concrete*), Beton ini dibuat seperti beton biasa, namun setelah tercetak padat kemudian air sisa reaksi disedot dengan cara khusus, disebut cara *vacuum (vacuum method)*. Dengan demikian air yang tinggal hanyalah air yang dipakai sebagai rekasi dengan semen sehingga beton yang diperoleh sangat kuat.
9. Mortal, Mortal sering disebut juga *mortel* atau *spesi* ialah adukan yang terdiri pasir, bahan perekat, kapur dan PC.

## Kelebihan dan kekurangan beton

Menurut (Mulyono, 2004), beton mempunyai kelebihan dan kekurangan dari beton sebagai struktur bangunan diantaranya sebagai berikut :

Kelebihan dari beton diantaranya sebagai berikut:

- Beton segar dapat dengan mudah diangkut maupun dicetak dalam bentuk apapun dan ukuran seberapa pun sesuai dengan kebutuhan konstruksi.
- Beton termasuk bahan yang awet, tahan api dan air, tahan terhadap pengkaratan atau pembusukan oleh lingkungan, sehingga biaya perawatannya murah.
- Beton memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan kebanyakan bahan lain dunia konstruksi.
- Beton memiliki ketahanan terhadap temperatur yang tinggi.
- Beton bertulang tidak memerlukan biaya pemeliharaan yang tinggi.

Kekurangan dari beton diantaranya sebagai berikut:

- Bentuk yang dibuat sulit untuk diubah.
- Pelaksanaan pekerjaan butuh ketelitian yang tinggi.
- Mempunyai beban yang berat.
- Daya pantul suara yang besar.

## Bahan Material Penyusun Beton

(Murdock & Brook, 1999) menyatakan bahan material penyusun beton adalah ikatan keras yang ditimbulkan oleh reaksi kimia antara semen dan air, serta agregat kasar dimana semen yang mengeras itu ber-adhesi dengan baik maupun kurang baik. Agregat biasanya berupa kerikil, batu pecah, sisa-sisa bahan mentah tambang, agregat normal buatan, pasir, atau bahan sejenisnya lainnya.

“Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik atau semen portland, agregat kasar, agregat halus, air dan atau menggunakan bahan tambah” (Mulyono, 2004). Berikut merupakan bahan tambah penjelasan dari bahan penyusun pembuatan beton, sebagai berikut:

- **Semen portland (Pc)**

Semen portland adalah kombinasi kimia antara kalsium (Ca), silika (Si), aluminium(Al), dan besi (Fe). Dikendalikan secara ketat dan sejumlah kecil bahan lain seperti *gypsum* yang ditambahkan dalam proses penggilingan akhir untuk mengatur waktu pengikatan (*setting time*) beton. Kapur dan silika mengisi sekitar 85% dari massa. Bahan yang umum digunakan dalam pembuatan semen adalah batu kapur, kerang, dan marl yang dikombinasikan dengan serpih, tanah liat, terak tanur tinggi, pasir silika, dan biji besi.

Nama “portland semen” diusulkan oleh Joseph Asphin pada tahun (1884). Nama itu diusulkan karena berbentuk bubuk yang dicampur dengan air, pasir dan batu-batuan yang ada dipulau Portland, inggris. Pertama kali semen portland diproduksi dengan pabrik di Amerika Serikat oleh David Saylor dikota coplay, pennsylvania, pada tahun (1875).

Menurut Standar Nasional Indonesia Indonesia (SNI 15-2049-2004) “Mutu dan Cara Uji Semen *Portland*”, semen Portland didefinisikan sebagai semen hidrolik yang dihasilkan dengan menggiling *klinker* yang terdiri dari *kalsium silikat hidrolik* yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk *kalsium sulfat* sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya. “Selain itu juga untuk mengisi rongga-rongga antara agregat sehingga menjadi suatu masa padat atau kompak walaupun jumlah berkisar 10% dari volume beton” (Tjokrodinuljo, 2007).

“Semen yang telah dicampur dengan air akan membentuk adukan yang disebut pasta semen. Dalam campuran beton, semen bersama air sebagai kelompok aktif sedangkan pasir dan kerikil sebagai kelompok pasif adalah kelompok yang berfungsi sebagai pengisi”(Tjokrodinuljo, 1996).

Semen memiliki macam senyawa kimia aktif seperti kapur, silika, oksidasi besi, dan alumina, senyawa tersebut akan bereaksi dengan air dan membentuk pasta yang akan mengeras setelah beberapa saat.

**Tabel 1.** Senyawa penyusun semen portland (Sumber: Mulyono, 2004)

Bahan penyusun	Komposisi (%)
kapur (CaO)	60 – 65
Silika (SiO <sub>2</sub> )	20 -25
Oksidasi	07-12
Alumina	07-12

Konsentrasi senyawa yang terkandung dalam semen tersebut, yang dapat membentuk jenis dan tipe semen, jenis semen yang beredar di pasaran adalah semen portland putih, semen portland mengacu pada standar nasional Indonesia (SNI 14-2049-2004), komposisi portland semen mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI 15-7064-2004) dan Semen

Portland Pozzolan mengacu pada Standar Nasional Indonesia SNI 15-0302-2004, menurut (Mulyono, 2004).

Menurut *American Standard Teting and Material (ASTM) C 150-94* dan Standar Industri Indonesia (SII 0031-81) semen buatan Indonesia dibedakan menjadi lima jenis, yaitu:

- **Semen portland tipe I (*Ordinary Portland Cement*)**

Semen ini biasa digunakan untuk keperluan konstruksi umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus terhadap panas hidrasi dan kekuatan tekan awal. Cocok dipakai pada tanah dan air dengan kandungan sulfat 0,01% - 0,10% dan dapat digunakan pada bangunan tempat tinggal.

- **Semen portland tipe 2 (dua) (*Modified Portland Cement*)**

Semen ini sering digunakan untuk konstruksi bangunan beton massal yang membutuhkan ketahanan sulfat (titik tanah dan air mengandung 0,1% hingga 0,2% sulfat) dan panas hidrasi sedang, seperti pada saluran irigasi dan pondasi jembatan

- **Semen portland tipe 3 (tiga) (*High Early Strength Portland Cement*)**

Semen ini sering digunakan pada konstruksi bangunan yang membutuhkan kuat tekan awal yang tinggi pada fase awal setelah pembentukan ikatan, misalnya untuk pembuatan jalan beton, untuk bangunan di air yang tidak memerlukan ketahanan sulfat. Semen dengan panas hidrasi tinggi untuk digunakan pada beton dengan kekuatan awal tinggi (*quick setting*). Kekuatan yang dicapai dalam 24 jam sebanding dengan kekuatan beton semen biasa dalam 7 (tujuh) hari. Hanya dalam waktu sekitar 3 (tiga) hari, kuat tekannya setara dengan 28 kuat tekan beton dengan semen biasa.

- **Semen portland tipe 4 (empat) (*Low Heat Portland Cement*)**

Semen dengan panas hidrasi rendah umumnya digunakan untuk pengecoran dalam jumlah yang sangat besar.

- **Semen portland tipe 5 (lima) (*Sulphate Resistant Portland Cement*)**

Semen ini sering digunakan untuk membangun konstruksi di atas tanah atau air yang mengandung sulfat lebih dari 0,20 %. Sangat cocok untuk pabrik pengolahan limbah industri, jembatan, terowongan, pelabuhan dan pembangkit listrik tenaga nuklir.

Saat ini, semen Portland yang paling banyak digunakan di pasaran adalah *Composite Portland Cement (PCC) -SNI 15-7064-2004* dan *Portland Pozzolan Cement (PCC) -SNI-15-0302-2004*. Kedua semen ini termasuk semen campuran seperti ASTM C-595.

- **Agregat**

Agregat merupakan butiran mineral alami yang berfungsi menjadi pengisi pada adonan beton. Sekitar 70% volume beton diisi dengan agregat. "Agregat memiliki pengaruh yang besar terhadap sifat-sifat beton, sehingga pemilihan agregat merupakan bagian penting dari produksi beton"(Tjokrodinuljo, 1996). Sifat agregat yang paling penting adalah kekuatan tekan dan kekuatan hancur, yang dapat mempengaruhi daya rekat pada pasta semen, porositas dan sifat penyerapan air. Tujuan penggunaan agregat dalam campuran beton adalah untuk menciptakan kuat tekan yang tinggi pada beton, mengurangi susut setelah pengerasan beton, mencapai struktur beton yang padat dengan skala butiran halus, menciptakan kekerasan untuk menahan tekanan dan goresan serta cuaca. Penggunaan agregat juga bertujuan untuk mengatur workability campuran beton plastis yang memiliki keteduhan yang baik, serta menurunkan nilai ekonomis karena penggunaan agregat menghemat penggunaan semen.

Agregat ini harus diklasifikasikan agar seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai satu kesatuan yang utuh, homogen dan padat, dimana agregat kecil berperan sebagai pengisi ruang diantara agregat besar (Nawy et al., 2001). Agregat dapat dibedakan menjadi dua kategori menurut asalnya, yaitu agregat alami dan agregat buatan. Agregat alami adalah pasir dan kerikil yang diperoleh langsung dari permukaan atau melalui penggalian sebelumnya dan juga langsung dari dasar sungai, sedangkan agregat buatan adalah agregat yang dihancurkan yang diperoleh dengan cara menghancurkan batuan menjadi ukuran yang lebih kecil dengan cara peledakan, pematahan, penggilingan dan penyaringan. Agregat yang digunakan dikelompokkan atau dipisahkan menurut ukurannya, yaitu agregat halus dan agregat kasar.

- **Agregat halus**

Agregat halus adalah pasir alam yang terbentuk dari penguraian alami batu-batu besar menjadi batu-batuan kecil. Agregat halus didefinisikan sebagai butiran batu dengan ukuran maksimum 5,0 mm atau tertahan nomor 4 (empat). Degradasi alami ini menghasilkan butiran agregat halus yang berbentuk bulat dan bertekstur kasar.

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 03-6821-2002), syarat umum butiran halus yang digunakan sebagai bahan pencampur adalah butiran halus terdiri dari butiran tajam dan keras yang tidak mudah rusak oleh cuaca panas atau hujan. Butir halus dalam agregat yang baik bersifat abadi, artinya tidak terdegradasi atau hancur oleh cuaca. Sifat pengawetan agregat halus dapat diuji dengan larutan garam jenuh. Saat menggunakan natrium sulfat, yang paling hancur adalah 10%. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (berat kering). Jika kandungan silase agregat melebihi 5%, pasir harus dicuci terlebih dahulu.

Berdasarkan SNI 03-6820-2002, agregat halus adalah agregat yang berasal dari alam atau hasil alam dengan ukuran butir tidak lebih dari 4,76 mm, sedangkan agregat halus olahan adalah agregat halus yang diperoleh dengan cara menghancurkan dan memisahkan butir dengan cara diayak atau dibuat dengan cara lain dari batu.

**Tabel 2.** Batasan gradasi untuk agregat halus (Sumber: SNI 03-2834-2000)

Ukuran saringan				SNI 03-2834-2000			
(ayakan)				Pasir kasar	Pasir sedang	Pasir agak halus	Pasir halus
Mm	SNI	ASTM	Inch	Gradasi No. 1	Gradasi No.2	Gradasi No.3	Gradasi No.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

- **Agregat kasar**

Agregat kasar merupakan bahan pengisi dalam campuran beton. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 03-2847-2019), agregat kasar adalah agregat dengan ukuran butir 5,00-40 mm. Agregat kasar dapat berupa kerikil sebagai hasil penggalian alami batuan atau sebagai batu pecah yang diambil dari batuan pecah. Menurut SK SNI-04-1989-F, syarat umum agregat kasar yang digunakan sebagai campuran beton adalah sebagai berikut:

- Agregat kasar berupa kerikil yang berasal dari batu-batuan alami, atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pecahan batu.
- Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori.
- Agregat kasar bersifat kekal artinya tidak pecah atau jancur oleh pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
- Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih 1% apabila kadar lumpur melampaui 1% maka agregat kasar harus dicuci.
- Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang reaktif sehingga dapat sampai cetakan, sepertiga tebal pelat beton, tiga perempat jarak bersih antara tulangan.

Agregat untuk pembuatan beton memiliki ukuran dan bentuk yang sangat bervariasi. Ukuran dan bentuk dari agregat adalah suatu hal yang penting dalam karakteristik agregat. Dalam hal ini terdapat istilah *roundness* yang merupakan ukuran relatif yang besarnya sudut-sudut dari tepi agregat. *Roundness* pada umumnya dikontrol oleh kekuatan dan ketahanan dari batu induk. Bentuk dari agregat tergantung pada kondisi alami dari batu induk dan juga tipe penghancurannya serta *rasio* reduksinya, yaitu *rasio* ukuran dari material yang dimasukkan ke dalam alat penghancur dengan agregat yang dihasilkan.

Berdasarkan SNI ASTM C123:2012 agregat kasar adalah agregat yang tertahan disaringan ukuran 4,75 mm (No.4).

**Tabel 3.** Batas-batas gradasi agregat kasar untuk maksimal nominal 19 mm (Sumber: SNI 7656-2012)

Ukuran ayakan (mm)	Pemisahan ukuran
	Persentase (%) berat yang melewati setiap saringan
25	100
19	90-100
9,5	20-55
4,75	0-10
2,36	0-5

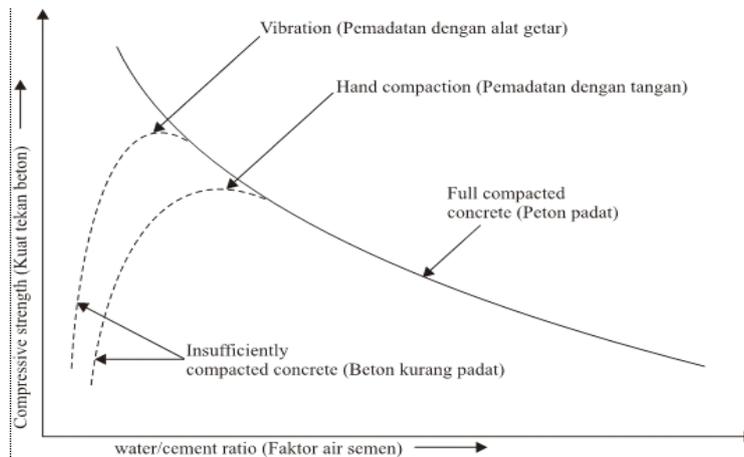
- **Air**

Air merupakan salah satu bahan dasar pembuatan beton yang harganya paling murah diantara bahan lainnya. Dengan bantuan air, semen diubah menjadi bubur semen, yang mengikat agregat. Air diperlukan dalam produksi beton untuk memulai proses kimia semen, membasahi agregat dan memberikan kenyamanan saat bekerja dengan beton. Air minum biasanya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air yang mengandung senyawa berbahaya yang tercemar garam, minyak, gula atau bahan kimia lainnya bila digunakan dalam campuran beton dapat menurunkan mutu beton bahkan dapat mengubah sifat beton (Mulyono, 2004).

Air untuk perawatan beton, dapat juga dipakai air yang dipakai untuk pengadukan, tetapi harus yang tidak menimbulkan noda atau endapan yang merusak warna permukaan hingga tidak sedap dipandang. Besi dan zat organik dalam air umumnya sebagai penyebab utama pengotoran atau perubahan warna, terutama jika perawatannya cukup lama (Tjokrodinuljo, 1996).

Fungsi air adalah untuk melembabkan agregat dan membuatnya lebih nyaman untuk dikerjakan, namun penggunaan air juga dapat mempengaruhi kuat tekan beton. Penggunaan faktor air semen (FAS) yang terlalu tinggi dapat meningkatkan kebutuhan air, sehingga beton akan memiliki banyak rongga udara selama pengeringan, yang berdampak pada rendahnya

kuat tekan beton. Penggunaan faktor air semen rendah (FAS) dapat meningkatkan kuat tekan beton, tetapi meringankan pekerjaan lebih sulit dan membutuhkan bahan tambahan kimia. Penjelasan nilai FAS tersebut dapat dilihat pada Gambar 1. dibawah ini.



Gambar 3.7. Hubungan kuat tekan dengan faktor air semen beton (Neville dan Brook, 1987)

**Gambar 1.** Grafik hubungan faktor air air semen dengan kuat tekan (Tjokrodinuljo, 2007)

(Mulyono, 2004) menyatakan bahwa air yang digunakan dalam penelitian biasanya dapat berupa air tawar (dari sungai, danau, telaga, danau, dan lain-lain), air laut atau air limbah asalkan memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Air minum segar biasanya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air laut biasanya mengandung 3,5% garam (sekitar 78% natrium klorida dan 15% magnesium klorida). Garam air laut mengurangi kualitas beton hingga 20%.

Air laut tidak boleh digunakan sebagai bahan pembuatan beton prategang atau beton bertulang, karena dapat meningkatkan risiko karat. Selain itu, air limbah industri yang mengandung asam basa tidak boleh digunakan.

Air yang memenuhi persyaratan air minum adalah air yang memenuhi persyaratan untuk campuran beton, tetapi air yang dimaksudkan untuk campuran beton adalah air yang digunakan untuk dicampur dengan air suling untuk kekuatan beton yang digunakan lebih dari 90% kekuatan beton.

(Suratmin et al., 2007) menyatakan dalam penggunaan air untuk beton sebaiknya air memiliki persyaratan sebagai berikut.

- Mengandung tidak lebih dari 2 gram/liter lumpur atau benda terapung lainnya.
- Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gr/ltr.
- Mengandung tidak lebih dari 0,5 gram/liter klorida (Cl).

• **Bahan Tambah**

Menurut ACI 116R, *Admixture* adalah material selain air, agregat, semen hidrolik dan serat yang digunakan sebagai komposisi beton atau mortal yang ditambahkan segera sesaat sebelum proses pengadukan beton. Bahan tambah yang digunakan biasanya dalam jumlah yang sangat sedikit dan harus dalam pengawasan ketat.

*Admixtures* biasanya ditambahkan ke campuran beton dalam jumlah kecil, sehingga tingkat kontrolnya harus lebih tinggi dari pekerjaan beton biasa. Oleh karena itu, keberadaan aditif harus diverifikasi untuk menunjukkan bahwa penambahan aditif pada beton tidak menimbulkan efek samping seperti peningkatan bahan kering atau penurunan elastisitas (Murdock & Brook, 1999).

Bahan yang digunakan dalam pembuatan beton dibedakan menjadi 2 (dua) yaitu bahan tambah yang bersifat kimiawi (*chemical admixture*) dan bahan tambah bersifat mineral (*additive*). Pada penelitian ini digunakan 2 (dua) bahan tambah dalam produksi beton yaitu limbah batu *stone crusher* dan superplasticizer.

- **Limbah batu (*stone crusher*)**

Limbah batu merupakan limbah dari batu gunung yang dihancurkan menggunakan mesin *stone crusher*. Batu gunung yang dihancurkan menghasilkan berbagai varian ukuran. Limbah batu merupakan bahan hasil sampingan dalam industri pemecahan batu yang jumlahnya tidak sedikit. Saat ini limbah batu tidak begitu dipergunakan dalam konstruksi mengingat karena penggunaan pasir sebagai agregat halus umum digunakan untuk campuran beton.

Keberadaan limbah batu dalam campuran beton dapat berfungsi sebagai bahan pengisi dan menggantikan pasir. Disamping itu limbah batu juga dapat berfungsi sebagai bahan perekat karena termasuk kategori *pozzolan* buatan (bahan campur semen). Kedua hal tersebut dapat mendukung kekuatan beton yang diinginkan karena dengan gradasi dan daya rekat yang baik, limbah batu dapat meningkatkan daya rekat semen sehingga kekuatan beton juga meningkat.



**Gambar 2.** Limbah batu (sumber: dokumen pribadi, 2022)

Puing-puing batu biasanya berwarna gelap (hitam-abu-abu) dan terdiri dari butiran yang cukup besar. Limbah batu berbentuk pipih, butiran kecil atau tidak beraturan.

- **Superplasticizer**

*Superplasticizer* merupakan bahan tambah pencampur beton (*admixtures*) yang ditambahkan saat pengadukan dan atau saat pelaksanaan pengecoran (*placing*) untuk memperbaiki kinerja kekuatannya. Prinsip mekanisme kerja dari *superplasticizer* secara umum yaitu partikel semen dalam air cenderung untuk berkoheisi satu sama lainnya dan partikel semen akan menggumpal (*flokulasi*).

Menurut (Subarki, 2005), menyatakan pada umumnya pemakaian *Superplasticizer* dalam campuran beton memberikan keuntungan yaitu pada pembuatan beton kinerja tinggi umumnya menggunakan faktor air semen yang rendah yang berakibat *workability* pada campuran beton yang digunakan dapat meningkatkan *workability* campuran beton tersebut, jika dibandingkan dengan campuran beton yang mempunyai faktor air semen normal, penambahan *Superplasticizer* mempunyai sifat-sifat yang lebih baik dan memperlambat proses hidrasi pada semen dengan jalan menghambat hidrasi silika dan hidrasi aluminat sehingga dapat memperlambat *setting time*.

Menurut Pauli dan Anton (2014), superplasticizer digunakan dalam campuran beton berkualitas tinggi karena dapat mengurangi kadar air hingga 30%, yang sangat meningkatkan workability campuran beton dengan slump 7,5 hingga 20 cm. Kelemahan super softener adalah fluiditasnya yang baik dan hanya bisa bertahan sekitar 30-60 menit, setelah itu air berkurang dengan sangat cepat. Ini disebut kerugian kecelakaan.

Menurut standar ASTM C494/C494M-13 (2013), jenis dan definisi bahan tambah kimia ini dibedakan delapan tipe yaitu: Tipe A (*Water Reducing*), Tipe B (*Retarder*), Tipe C (*Accelerator*), Tipe D (*Water Reducer Retarder*), Tipe E (*Water Reducer Accelerator*), Tipe F (*Super Plasticizer*), Tipe G (*High Range Water Reducer*).

- **Tipe A “*Water-Reducing Admixtures*”**

*Water-Reducing Admixtures* adalah bahan tambah yang mengurangi jumlah air pencampur untuk menghasilkan beton dengan konsistensi dan kekuatan tertentu. Selain itu juga digunakan dengan tidak mengurangi kadar semen dan nilai slump untuk memproduksi beton dengan nilai perbandingan atau menggunakan rasio faktor air semen yang rendah.

- **Tipe B “*Retarding Admixtures*”**

*Retarding Admixtures* adalah bahan tambah yang berfungsi untuk menghambat waktu pengikatan beton. Penggunaannya untuk menunda waktu pengikatan beton misalnya karena kondisi cuaca yang panas, atau 27 memperpanjang waktu untuk pematangan yang dilakukan di lapangan ketika pengecoran berlangsung. Tipe B biasa digunakan pada beton yang dicor pada kondisi cuaca yang sangat panas.

- **Tipe C “*Accelerating Admixtures*”**

*Accelerating Admixtures* adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan meningkatkan kekuatan awal beton. Bahan ini digunakan untuk mengurangi lamanya waktu pengeringan (hidrasi) dan mempercepat pencapaian kekuatan pada beton.

- **Tipe D “*Water Reducing dan Retarding Admixtures*”**

*Water Reducing and Retarding Admixtures* berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal. Bahan ini digunakan untuk menambah kekuatan beton. Bahan ini juga akan mengurangi kandungan semen yang sebanding dengan pengurangan kandungan air yang digunakan dalam penelitan sehingga dapat memudahkan dalam pekerjaan.

- **Tipe E “*Water Reducing, Accelerating Admixtures*”**

*Water Reducing and Accelerating Admixtures* adalah bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton yang konsistensinya tertentu dan mempercepat pengikatan awal.

- **Tipe F “*Water Reducing dan High Range Admixture*”**

*Water Reducing dan High Range Admixtures* adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih.

- **Tipe G “*Water Reducing High Range Retarding Admixtures*”**

*Water Reducing, High Range Retarding Admixtures* adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih dan juga untuk menghambat pengikatan beton. Jenis bahan tambah ini merupakan gabungan *Superplasticizer* dengan

menunda waktu pengikatan beton. Biasanya digunakan untuk kondisi pekerjaan yang sempit karena sedikitnya sumber daya yang mengelola beton yang disebabkan oleh keterbatasan ruang kerja yang dimiliki pada saat pembuatan beton.

- **Tipe S “Specific Performance Admixture”**

*Specific performance admixture* adalah bahan tambah yang memberikan karakteristik kinerja yang diinginkan selain mengurangi kandungan air atau mengubah waktu setting beton, atau keduanya, tanpa efek yang merugikan pada sifat beton segar, beton keras dan daya tahan beton sebagai kinerja yang ditentukan, termasuk bahan tambah terutama digunakan dalam pembuatan produk beton *dry cast*.

*Superplasticizer* yang diproduksi terdapat berbagai macam antara lain : viscocrete yang menggunakan bahan dasar *polycarboxylates*. *Superplasticizer* ini merupakan teknologi baru dari beton aditif menghasilkan beton yang sangat cair, beton tanpa pemadatan (*self compacted*), mutu sangat tinggi dengan pengurangan air yang digunakan hingga 30%.



**Gambar 3.** Superplasticizer (No drop plaston) (sumber: dokumen pribadi, 2022)

*No drop plaston* merupakan zat aditif (*water reducer*) dan termasuk produk jenis *Superplasticizer*. *No drop plaston* ditambahkan pada campuran mortar atau beton dengan tujuan untuk meningkatkan *workability* beton, mutu beton, dan mencegah agar beton tidak bocor. Kegunaan lain dari *no drop plaston* yaitu mempermudah dalam proses pencampuran beton serta dapat mencegah terjadinya karatan pada tulangan besi/baja.

Aturan penggunaan *no drop plaston* dalam campuran beton yaitu 200-600 mililiter (ml) untuk 1 (satu) sak semen (semen dengan berat 40 kg). *Rasio* perbandingan antara semen dengan air harus seminimal mungkin, karena penambahan *no drop plaston* dalam campuran beton dapat mengurangi jumlah air yang digunakan yaitu 20-30% dari campuran beton normal (tanpa zat aditif) pada umumnya.

Adapun cara penggunaan *no drop plaston* dalam campuran beton, sebagai berikut:

- Agregat dimasukkan kedalam mesin molen (mesin *mixer*) sesuai dengan rancangan *mix design* yang telah direncanakan, kemudian aduk sampai rata sekitar 1-2 menit.
- Masukkan air kedalam mesin sebanyak 70-80% dari total kebutuhan air, kemudian aduk selama 2-3 menit sampai rata.
- *No drop plaston* dilarutkan kedalam sedikit air bersih, kemudian dimasukkan kedalam mesin dan diaduk selama 2-3 menit.
- Tambahkan air secukupnya jika diperlukan untuk mengatur keenceran beton.
- Kemudian campuran beton segar siap untuk diaplikasikan pada tempat yang diinginkan.

- **Sifat-Sifat Beton**

Pada umumnya beton terdiri dari sekitar 15% semen, 8% air, 3% udara, dan sisanya agregat kasar dan agregat halus. Campuran setelah perawatan memiliki sifat yang berbeda tergantung pada metode pembuatan, rasio pencampuran, metode pencampuran, metode pengangkutan, metode tekanan, metode pemadatan, metode pengawetan, dan mempengaruhi sifat-sifat beton.

Sifat-sifat beton pada umumnya dipengaruhi oleh kualitas bahan, cara pengerjaan, dan cara perawatannya. Karakteristik semen mempengaruhi kualitas beton dan kecepatan pengerasannya. Gradasi agregat halus mempengaruhi pengerjaannya, sedangkan gradasi agregat kasar mempengaruhi kekuatan beton. Kualitas dan kuantitas air mempengaruhi pengerasan dan kekuatan (Murdock & Brook, 1999). Sifat-sifat beton dapat dipengaruhi oleh proporsi campuran, kualitas bahan, cara pelaksanaan, dan perawatan beton. Sifat-sifat beton dapat ditinjau dalam 2 (dua) keadaan, yaitu sifat beton sebelum mengeras dan sifat beton sesudah mengeras.

- **Sifat beton sebelum mengeras**

Sifat beton yang baru selesai dicampur dan proses pengikatannya belum dimulai biasanya ditinjau dari sifat mudah dikerjakan. Maksud sifat mudah dikerjakan mempunyai 3 (tiga) sifat, yaitu sebagai berikut.

- Kompaktibilitas, yaitu kemudahan beton untuk dipadatkan dengan baik dan rongga-rongga udara dapat dikeluarkan.
- Mobilitas, yaitu kemudahan beton untuk dapat mengalir ke dalam cetakan dan sekitar tulangan.
- Stabilitas, yaitu kemudahan beton untuk tetap sebagai massa yang homogen, stabil selama pemadatan tanpa terjadi pemisahan (*segregasi*) butiran dari bahan utamanya.

Secara keseluruhan arti *workability* adalah sifat beton segar yang menentukan sifat pengerjaan dengan kehilangan keseragaman seminimal mungkin. Beton yang mudah dikerjakan adalah beton yang saat dicetak tetap plastis, kohesif, tidak keropos, dan mempunyai konsistensi yang baik.

Menurut (Kardiyono TJ., 1992). Ada 2 (dua) yang diperhatikan dalam menentukan tingkat *workability* adalah terjadinya hal-hal sebagai berikut.

- Segregasi adalah terlepasnya butiran campuran beton yang berbeda akibat penggunaan air pencampur yang berlebihan dan getaran yang berkepanjangan. Komponen komposisi beton cenderung terpisah sendiri ketika partikel berat mengendap dan partikel ringan berpindah ke permukaan campuran.
- Bleeding adalah peristiwa keluarnya air pada permukaan beton setelah dipadatkan tetapi belum mengeras akibat pencampuran air yang berlebihan. Kondisi kebocoran dapat dilihat langsung pada permukaan beton.

- **Sifat beton sesudah mengeras**

Beton dalam keadaan yang telah mengeras, mempunyai sifat-sifat diantaranya:

- **Kekuatan (*strength*)**, Sifat kekuatan beton setelah mengeras, meliputi kekuatan desak, kekuatan tarik, dan kekuatan geser. Beton mempunyai kuat desak lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan lainnya. Berdasarkan kondisi tersebut maka dalam perencanaan, beton hanya diperhitungkan untuk menahan gaya desak. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai kuat desak beton adalah:
  - Mutu bahan (semen, agregat, dan air)
  - Proporsi campuran
  - Pelaksanaan
  - perawatan

- daya tahan (*durability*)

Beton dikatakan mempunyai daya tahan yang baik apabila dapat bertahan pada kondisi tertentu tanpa mengalami kerusakan selama bertahun-tahun. Kondisi yang dapat mengurangi daya tahan beton disebabkan oleh faktor dari luar dan dari dalam beton itu sendiri. Faktor dari luar misalnya cuaca, temperatur, dan zat-zat reaktif dari alam maupun dari industri. Sedangkan faktor dari dalam adalah akibat reaksi antara penyusun beton dengan senyawa alkali dan permeabilitas.

- **Jenis-jenis Pemeriksaan Material**

Pengujian material bertujuan untuk mengetahui sifat atau karakteristik dari material yang digunakan, serta untuk memperoleh variabel-variabel yang diperlukan dalam perhitungan mix design beton. Pada penelitian ini dilakukan 31 pengujian terhadap material penyusun beton yaitu semen, agregat halus dan agregat kasar.

- **Pengujian bahan semen**

- **Pemeriksaan berat jenis semen**

Beat jenis semen adalah perbandingan antara berat volume kering semen pada suhu kamar dengan berat volume air suling pada 4°C, yang volumenya sama dengan volume semen. Menurut SK SNI 15-2531-1991, Berat jenis semen berkisar antara 3.00 – 3.20 t/m<sup>3</sup>. Tujuan metode ini untuk mendapatkan nilai berat isi semen portland, yang digunakan untuk pengendalian mutu semen.

- **Konsistensi normal semen**

Konsistensi normal semen adalah nilai prosentase jumlah air yang dibutuhkan untuk membentuk pasta semen pada kondisi kebasahan standar guna menunjukkan kualitas semen portland (Sandor Popovics). Metode pengujian konsistensi normal sesuai standar SNI 03-6826-2002 dengan metode Trial and Error menggunakan sejumlah pasta semen yang dibuat dengan prosentase air yang berbeda-beda. Tujuan metode ini adalah untuk mendapatkan nilai konsistensi normal semen Portland dengan alat Vicat untuk menentukan mutu semen portland. Konsistensi normal dicapai apabila jarum vikat dapat menembus pasta ( $10 \pm 1$ ) dalam waktu 30 detik setelah dilepaskan.

- **Pengujian waktu mengikat awal dan mengeras semen**

Waktu ikat permulaan (waktu ikat awal) adalah jangka waktu mulainya pengukuran pasta pada konsistensi normal sampai pasta kehilangan sebagian sifat plastis (mengeras). Waktu pengikatan awal pada semen berkisar antara 60-120 menit. Tujuan pengujian ini adalah untuk mendapatkan waktu ikat awal semen setelah kontak dengan air dan waktu ikat akhir ketika jarum vikat tidak mampu lagi menembus permukaan pasta.

- **Pengujian bahan agregat halus**

- **Pengujian analisa saringan atau gradasi agregat halus**, Pada percobaan ini untuk susunan butir agregat dari yang besar sampai halus untuk keperluan desain beton.
- **Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus**, Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan bulk apparent specific gravity dan absorpsi dari agregat halus (pasir) menurut ASTM C-128.
- **Pengujian berat volume agregat halus**, Untuk menentukan berat isi agregat halus (pasir) baik dalam kondisi lepas maupun kondisi padat.

- **Penujian kadar air agregat halus**, Untuk menentukan kadar air agregat halus (pasir) dengan cara pengeringan. Kadar air agregat adalah perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dalam keadaan kering. Percobaan ini digunakan untuk menyesuaikan berat kadar air beton apabila terjadi perubahan kadar kelembaban beton. kadar air agregat halus.
- **Penujian kadar lumpur agregat halus**, Untuk mengetahui kadar lumpur pada pasir dengan cara pencucian. Hitung kadar lumpur.
- **Pengujian kadar organik agregat halus**, Untuk menentukan kadar bahan organik di dalam pasir yang akan digunakan dalam adukan beton. Bahan organik yang tercampur pada pasir akan berpengaruh pada kekuatan beton.
- **Pengujian bahan agregat kasar**
  - **Pengujian analisa saringan atau gradasi agregat kasar**, Untuk mengetahui susunan butir agregat kasar dari yang besar sampai halus untuk keperluan desain beton.
  - **Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar**, Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan bulk apparent specific gravity dan absorpsi dari agregat kasar (kerikil) menurut ASTM C-128.
  - **Percobaan berat volume agregat kasar**, Untuk menentukan berat isi agregat kasar (kerikil) baik dalam kondisi lepas maupun kondisi padat.
  - **Pengujian kadar air agregat kasar**, Untuk menentukan kadar air agregat kasar (kerikil) dengan cara pengeringan. Kadar air agregat adalah perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dalam keadaan kering. Percobaan ini digunakan untuk menyesuaikan berat kadar air beton apabila terjadi perubahan kadar kelembaban beton.
  - **Pengujian kadar lumpur agregat kasar**, Untuk mengetahui kadar lumpur (lempung) pada kerikil dengan cara pencucian.
  - **Pengujian abrasi atau keausan agregat kasar**, Untuk mengetahui keausan agregat yang diakibatkan oleh faktor-faktor mekanis.

- **Perencanaan Campuran Beton**

Perencanaan campuran beton adalah suatu proses teoritis untuk menentukan jumlah masing-masing bahan yang dibutuhkan dalam campuran beton, hal ini dilakukan agar proporsi memenuhi persyaratan. Pada tahap ini dibuat desain campuran berdasarkan ( SNI 7656-2012).

**Menghitung kuat tekan rata-rata beton**, berdasarkan kuat tekan yang disyaratkan dan nilai margin. Nilai k biasanya diambil 1,64 untuk bagian tolak atau cacat yang ijin 5% nilai k.s dinamakan nilai tambah margin yang merupakan juga nilai keamanan dalam perancangan.

$$F'_{cr} = f_c + m f'_{cr} \dots \dots \dots (19)$$

$$= f_c + k.S \dots \dots \dots (20)$$

Keterangan :

$f'_{cr}$  = kekuatan tekan rencana rata-rata

$f'_c$  = kekuatan tekan rencana

S = nilai standar deviasi

K = konstanta yang diturunkan dari distribusi normal

**Tabel 4.** Nilai K untuk beberapa keadaan (Sumber: SNI 7656-2012)

No	Keadaan	Nilai K
1	Untuk 10% defektif	1,28
2	Untuk 5% defektif	1,64
3	Untuk 2,5% defektif	1,96
4	Untuk 1% defektif	2,33

**Tabel 5.** Nilai deviasi standar (Sumber: SNI 7656-2012)

Isi pekerjaan		Deviasi standar (Mpa)		
Sebutan	Volume beton (m <sup>3</sup> )	Baik sekali	Baik	Dapat diterima
Kecil	1000	4,5 S 5,5	5,5 S 6,5	6,6 S 8,5
Sedang	1000 – 3000	3,5 S 4,5	4,5 S 5,5	6,5 S 7,5
Besar	3000	2,5 S 3,5	3,5 S 4,5	4,5 S 6,5

**Tabel 6.** Kadar semen minimum dan faktor air-semen maksimum (Sumber: SNI 7656-2012)

Kondisi Lingkungan	Jumlah semen minimum per beton kg	Nilai faktor air-semen maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
• Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
• Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton diluar bangunan		
• Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
• Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton yang masuk ke dalam tanah		
• Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
• Mendapat pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah		Lihat tabel
Beton yang kontinu berhubungan dengan air		
• Air tawar		
• Air laut		

- Menetapkan faktor air semen (FAS), berdasarkan pada tabel 6 dan 7.

**Tabel 7.** Nilai faktor air-semen (Sumber: SNI 7656-2012)

Kekuatan tekan pada 28 hari (Mpa)	FAS (Faktor Air Semen)	
	Beton tanpa kandungan udara	Beton dengan kandungan udara
40	0,42	
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

- Berdasarkan jenis strukturnya, nilai slump dan ukuran maksimum agregat,

**Tabel 8.** Nilai slump (Sumber: SNI 7656-2012)

Jenis Pekerjaan	Slump (mm)	
	Maksimu*	Minimum
Dinding, pelat fondasi dan fondasi telapak bertulang	75	25
Fondasi telapak tidak bertulang, kaison dan konstruksi di bawah tanah	75	25
Balok, dinding bertulang	100	25
Kolom gedung	100	25
Perkerasan dan pelat	75	25
Pembetonan masal	75	25

- Menetapkan jumlah air berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai slump.

**Tabel 9.** Perkiraan air campuran dan persyaratan kandungan udara dalam beton (Sumber: SNI 7656-2012)

Slump	Kebutuhan air							
	Ukuran maksimum butir agregat (mm)							
	9,5	12,5	19	25	37,5	50	75	150
25-50	207	199	190	179	166	154	130	113
75-100	238	216	205	193	181	169	145	124
150-175	243	228	216	202	190	178	160	-
Kandungan udara								
Dalam beton (%)	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3	0,2

- Menghitung berat semen yang diperlukan berdasarkan hasil langka dua dan empat diatas.
- Menentukan volume agregat kasar yang diperlukan persatuan volume beton berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai modulus halus agregat halus, dilihat pada tabel 11.

**Tabel 10.** volume agregat kasar / beton (Sumber: SNI 7656-2012)

Ukuran agregat maksimum (mm)	Volume agregat kasar kerig / untuk berbagai modulus halus butir			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,80	0,78	0,76
15	0,87	0,85	0,83	0,81

Modulus halus didefinisikan sebagai persentase kumulatif dari total partikel yang tertahan pada satu set layar dibagi dengan seratus. Penempatan lubang layar adalah 3,8mm; 19mm; 9.6mm; 4.8mm; 2.4mm; 1.2mm; 0,6mm; 0,3 mm; 0,15 mm Semakin tinggi nilai modulus halus, semakin besar butir agregatnya. Pada umumnya pasir memiliki kehalusan 1,5-3,8, sedangkan kerikil memiliki kehalusan 5-8. Koefisien kehalusan campuran pasir-kerikil bervariasi antara 5 dan 6,5.

- **Menghitung volume agregat halus yang diperlukan**, berdasarkan jumlah air, semen dan agregat kasar yang diperlukan serta udara yang terperangkap dalam adukan ( table 2.13 ), dengan cara hitungan volume absolute. Volume agregat halus = 1- ( vol. Air + vol. Kerikil + vol. Semen + vol. Udara terperangkap ). Lihat tabel 11.

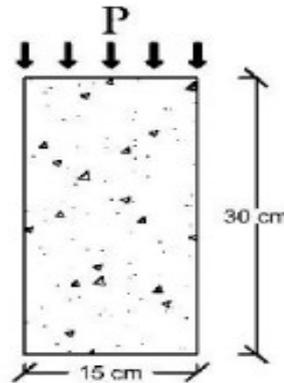
**Tabel 11.** Perkiraan awal berat beton segar (Sumber: SNI 7656-2012)

Ukuran nominal maksimum agregat (mm)	Perkiraan awal berat beton, kg/	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
9,5	2280	2200
12,5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37,5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

- Menghitung berat masing-masing bahan susun beton.
- Lakukan koreksi proporsi campuran berdasarkan kondisi agregat saat pelaksanaan.
- **Pengujian Sifat Mekanik Beton**  
Sifat-sifat mekanis yang ada pada beton dibagi menjadi 2 (dua), yaitu sifat mekanis jangka pendek dan jangka panjang. Sifat mekanis jangka pendek, yaitu kuat tekan beton. Sedangkan untuk sifat mekanis jangka panjang, yaitu rangkai dan susut pada beton.
- **Pengujian Kuat Tekan beton**  
Uji kuat tekan beton adalah besarnya tegangan per satuan luas yang akan menyebabkan suatu balok beton runtuh bila dibebani dengan gaya tekan yang melebihi kuat

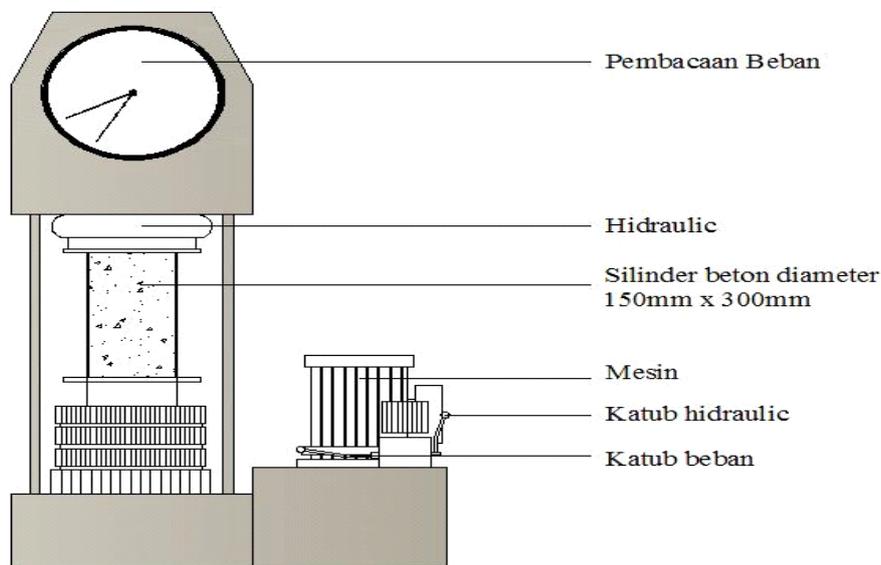
tekan beton itu sendiri oleh mesin pengujian. Standar nasional Indonesia (SNI 03-1974-2011) mendefinisikan kuat tekan beton sebagai besarnya tegangan per satuan luas yang akan menyebabkan contoh beton runtuh ketika dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan.

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini sebagai pengujian kuat tekan beton berbentuk silinder dengan tinggi 30 cm dan diameter 15 cm.



**Gambar 4.** Sketsa benda uji beton

Menurut (Dipohusodo, dkk., 1994) nilai kuat tekan beton tergantung pada umur dan biasanya ditentukan pada saat beton berumur 28 hari setelah dicor. Pada umumnya kuat tekan beton umur 7 hari mencapai 70%, umur 14 hari 85% - 90% dari kuat tekan beton umur 28 hari. Selama tahap konstruksi, beton yang akan dicampur harus disiapkan sedemikian rupa sehingga frekuensi terjadinya beton dengan kuat tekan lebih besar dari kuat tekan yang dibutuhkan dapat diminimalkan.



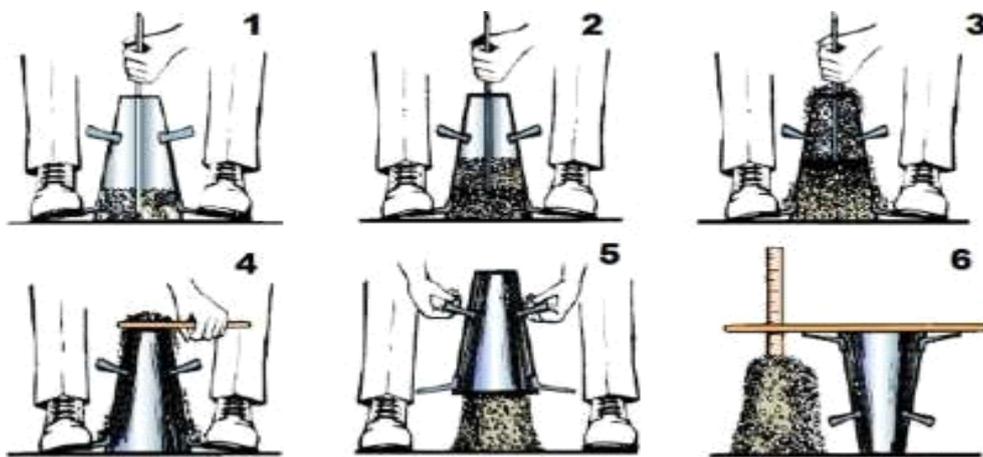
**Gambar 5.** Sketsa pengujian kuat tekan beton (sumber: panduan praktikum bahan konstruksi)

- **Pengujian workability (*Slump*)**

Uji slump merupakan suatu uji empiris atau metode yang digunakan untuk menentukan konsistensi atau kekakuan dari campuran beton segar (*fresh concrete*). Uji slump dapat menunjukkan kekurangan, kelebihan, atau kecukupan air yang digunakan dalam pembuatan beton tersebut.

Nilai slump ditentukan oleh besarnya penurunan adukan beton dalam slump setelah alat slump diangkat. Nilai slump yang dihasilkan jika lebih besar dari nilai slump rencana maka adukan encer dan nilai workability akan semakin tinggi, dan sebaliknya jika nilai slump lebih kecil dari nilai slump rencana maka adukan kental dan nilai workability akan semakin rendah. *Slump* adalah salah satu ukuran kekentalan adukan beton yang dinyatakan dalam mm dan ditentukan dengan alat kerucut *abrams* (SNI 03-1972-1990) tentang Metode Pengujian Slump Beton Semen *Portland*). Kelecekan (*workability*) adalah sifat-sifat fisik adukan beton yang menentukan sejumlah usaha pekerjaan mekanikal (*mechanical works*), atau sejumlah energi tertentu yang dibutuhkan untuk menghasilkan beton yang padat dan monolit tanpa segregasi.

Uji slump ini mengacu pada standar nasional indonesia (SNI 1972-2008). Beton dengan nilai *slump* kurang dari 15 mm mungkin tidak cukup plastis dan beton yang nilai slump lebih dari 230 mm mungkin tidak cukup kohesif untuk pengujian ini, lihat gambar 5.



**Gambar 6.** Sketsa kerucut abrams (Sumber: SNI 1972-2008)

- **Perawatan beton**

Pengerasan beton merupakan tahap akhir dari pekerjaan beton, yaitu dengan menjaga agar permukaan beton segar selalu basah sejak saat pemadatan hingga proses hidrasi selesai sepenuhnya (sekitar 28 hari). Kelembaban permukaan beton harus dipertahankan agar air dalam beton segar tidak keluar. Berkat ini, proses hidrasi semen (reaksi semen-air) dijamin sempurna. Jika hal ini tidak dilakukan maka air akan menguap dari permukaan beton segar akibat udara panas sehingga menyebabkan air mengalir dari beton segar dan beton segar kekurangan air menjadi basah sehingga mengakibatkan retakan pada permukaan beton. konkrit (Suratmin et al., 2007).

Kekuatan beton bertambah seiring bertambahnya umur (Suratmin et al., 2007), yang dimaksud disini umur dihitung dari tekanan beton. Peningkatan kekuatan beton pada awalnya cepat, lama kelamaan peningkatannya melambat dan peningkatannya relatif kecil setelah umur 28 hari. Standar kekuatan beton (kecuali umur dinyatakan secara khusus) adalah kekuatan beton pada umur 28 hari.

- **Kajian Hasil Penelitian Terdahulu**

Beberapa penelitian yang sebelumnya dilakukan untuk menunjang proses penyelesaian serta sebagai bahan informasi maupun bahan acuan.

- Kajian tahun 2019 oleh Abdullah Afif, Magister Teknik Sipil Universitas Islam Yogyakarta, Indonesia, berjudul "Pengaruh penggantian abu batu pada agregat halus dan penambahan superplasticizer terhadap sifat beton mutu tinggi". Tujuan dari penelitian ini

adalah untuk mengetahui kuat tekan dan tarik beton dengan variasi 20%, 25%, 30%, 35-40% sebagai pengganti agregat halus dan Viscobeton 3115N sebagai bahan tambahan. Lima silinder dengan ukuran 15 cm x 30 cm digunakan sebagai benda uji, dan mutu beton yang digunakan adalah 45 MPa. Nilai slump yang diperoleh berdasarkan pengujian adalah 4,5 cm, 4,3 cm, 4,1 cm, 4 cm, 3,8 dan 3,6 cm. pada campuran beton, penambahan bahan aditif tidak mengurangi komposisi campuran beton yang direncanakan.

- Tahun 2017, Jordy Harjono yang kuliah di Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta mempelajari “Pengaruh Abu Batu Sebagai Pengganti Agregat Halus Terhadap Sifat Mekanik Beton”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai modulus elastisitas, kuat tekan, kuat tarik putus dan penyerapan air pada beton dengan variasi fly ash 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100%. pengganti agregat halus dan Viscobeton-1003 sebagai aditif. Sampel yang dibuat pada penelitian ini berjumlah 54 buah, dengan rincian 6 silinder dengan diameter 15 cm x 30 cm dan 3 silinder dengan diameter 7 cm x 14 cm pada masing-masing varian dengan grade beton 20. MPa. Sampel yang diperoleh kemudian diuji untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas beton, kuat tekan beton, kuat tarik belah beton dan daya serap air beton. Dari hasil penelitian diperoleh nilai modulus Young untuk variasi 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100° adalah 18340.401 MPa, 20467.862 MPa, 23942.147. MPa, 16530.589MPa, 13550.579MPa dan 15021.273MPa. Nilai kuat tekannya adalah 23,12 MPa, 23,51 MPa, 25,38 MPa, 21,37 MPa, 19,50 MPa dan 19,05 MPa. Nilai kuat tarik saat putus adalah 9,98 MPa, 11,08 MPa, 10,82 MPa, 10,78 MPa, 8,81 MPa dan 8,08 MPa. Walaupun hasil penelitian menunjukkan persentase penyerapan air pada beton normal masih lebih rendah dibandingkan dengan beton dengan fly ash dengan nilai 10,906%, 11,425%, 11,318%, 12,223%, 11,978 dan 12,111%. Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa setiap penambahan dari 0% sampai 40% meningkatkan dan dari 60% sampai 100% meningkatkan rasio campuran abu batu terhadap berat pasir, mengakibatkan penurunan kekuatan beton.
- Kajian tahun 2017 oleh Muhammad Ikbal, Magister Teknik Sipil Universitas Islam Yogyakarta, Indonesia berjudul “Pengaruh Penambahan Superplasticizer Viscocrete 3115N Terhadap Kuat Tekan Optimal Self Compacting Concrete”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kandungan Viscobeton 3115N yang optimal untuk kekuatan self compacting concrete dengan fluktuasi 0,8%, 0,9%, 1%, 1,1% dan 1,2% pada beton serta pengaruh superplasticizer dalam menentukan flowabilitas beton yang memadat sendiri. menyegel beton. Untuk sampel digunakan silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 63 sampel, 60 sampel beton SCC dan 3 sampel beton normal, dengan kuat tekan rencana 43 MPa. Pada penelitian ini, kuat tekan tertinggi diperoleh pada dosis 0,9% yang setara dengan 46,32 MPa pada umur 28 hari. Semakin tinggi kandungan superplasticizer, semakin tinggi kemampuan mengalir dari SCC yang diukur dengan uji aliran.

## **METODE PENELITIAN**

- **Jenis Penelitian**

Jenis penelitian ini yang digunakan adalah penelitian kuantitatif. Penelitian kuantitatif adalah metode penelitian yang melibatkan banyak angka, dimulai dengan mengumpulkan data, menafsirkannya, dan menyajikan hasilnya melalui gambar, tabel, atau grafik. Bahan penelitian kemudian dianalisis menurut metode uji laboratorium. Metode penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen membandingkan 4 (empat) varian campuran untuk menentukan kekuatan beton.

- **Alat dan Bahan**
- **Alat yang digunakan**

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang valid, maka diperlukan sebagai peralatan dengan kondisi yang baik sebagai alat bantu dalam melakukan pembuatan dan pengujian benda uji. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- **Timbangan**

Timbangan 20 kg digunakan untuk menimbang berat benda uji yang digunakan untuk penelitian. Selain mengukur kebutuhan material dalam pembuatan sampel uji.



**Gambar 7.** Timbangan (sumber: laboratorium struktur dan bahan)

- **Botol Le Chatelier**

Penggunaan alat ini berfungsi pada saat pengujian penyerapan agregat halus, berat jenis jenuh, berat jenis kering dan berat jenis SSD.



**Gambar 8.** Botol le chatelier (sumber: laboratorium struktur dan bahan)

- **Piknometer**

Piknometer berfungsi untuk menentukan kebutuhan air sesuai dengan rancangan atau rencana dalam penelitian ini. Gelas ukur ini memiliki volume 1000 ml.



**Gambar 9.** Piknometer (sumber: laboratorium struktur dan bahan)

- **Gelas ukur**

Gelas ukur digunakan untuk mengukur kebutuhan jumlah air yang diperlukan dalam satu campuran adukan beton, dan menakar bahan tambah yaitu *superplasticizer*. Dalam

penelitian ini gelas ukur juga digunakan untuk pengujian berat jenis agregat halus dan agregat kasar. Gelas ukur yang digunakan memiliki kapasitas 250 ml.



**Gambar 10.** Gelas ukur (sumber: laboratorium struktur dan bahan)

- **Ayakan saringan**

Ayakan saringan yang digunakan untuk memisahkan agregat sesuai ukuran ayakan untuk pengujian analisa lolos saringan dan modulus halus butir.



**Gambar 11.** Ayakan saringan (sumber: laboratorium struktur dan bahan)

- **Cetakan silinder**

Cetakan beton silinder berukuran diameter 14 cm dan tinggi 30 cm, dimana berfungsi sebagai cetakan pembuatan sampel uji beton



**Gambar 12.** Cetakan silinder (sumber: laboratorium struktur dan bahan)

- **Alat ukur**

Yang dimaksud dalam penelitian ini adalah alat ukur dimensi, bisa berupa penggaris maupun kalliper. Alat ukur digunakan untuk mengukur dimensi dari suatu benda seperti cetakan, benda uji dan pengukuran lain dalam pengujian.



**Gambar 13.** Alat ukur (sumber: laboratorium struktur dan bahan)

- **Oven**, Oven digunakan untuk menguji kandungan kadar air, kadar lumpur dalam agregat halus dan agregat kasar yang digunakan dalam penelitian.



**Gambar 14.** Oven (sumber: laboratorium struktur dan bahan)

- **Los Angeles**, Mesin los angeles merupakan salah satu mesin untuk pengujian keausan/abrasi agregat kasar. Tujuannya untuk mengetahui angka keausan yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus terhadap berat semula dalam persen.



**Gambar 15.** Los angeles (sumber: laboratorium struktur dan bahan)

- **Mixer**, Mesin digunakan dalam penelitian ini adalah mesin pengaduk dengan mesin bertenaga listrik.



**Gambar 16.** Mixer (sumber: laboratorium struktur dan bahan)

**Kerucut abram**, Digunakan untuk mengetahui nilai *slump* sebelum beton dimasukkan ke dalam cetakan



**Gambar 17.** Kerucut abram (sumber: laboratorium struktur dan bahan)

- **Alat lainnya**, Alat lainnya yang digunakan dalam penelitian ini adalah penggaris, ember, kuas, sendok, mangkuk, dll.
- **Bahan yang digunakan**  
Adapun bahan yang digunakan adalah sebagai berikut.
- Semen *portland* type 1, Semen yang digunakan untuk pembuatan beton menggunakan semen *portland Composite Cemen* (PCC).



**Gambar 18.** Semen portland Composite Cemen (PCC).

- Agregat kasar dan agregat halus digunakan pada penelitian ini.



**Gambar 19.** Agregat kasar (kerikil) dan Agregat Halus (pasir sungai)  
(sumber: dokumen pribadi, 2022)

- Air yang digunakan dari laboratorium struktur dan bahan universitas muhammadiyah parepare. Air yang digunakan harus tampak jernih secara visual, tidak berwarna dan tidak berbau.
- Bahan tambah yang digunakan yaitu limbah batu (*stone crusher*) dan *superplasticizer*.



**Gambar 20.** Limbah batu *stone crusher* dan *Superplasticizer (No Drop Plaston)* (sumber: dokumen pribadi, 2022)

- **Prosedur Standar Penelitian**

**Persiapan material,** Sebelum melakukan penelitian, bahan dan peralatan harus disiapkan terlebih dahulu. Persiapan bahan harus dibutuhkan untuk menyediakan bahan-bahan dengan mutu atau kualitas yang baik. Persiapan yang digunakan harus dilakukan berupa membersihkan material dari kotoran yang menempel agar tidak dapat merusak dari hasil dari penelitian.

Material yang harus dipersiapkan seperti semen, agregat, air dan bahan tambah yang digunakan yaitu limbah batu (*stone crusher*) dan *superplasticizer (No Drop Plaston)*. Setelah mempersiapkan bahan-bahan, selanjutnya dipersiapkan juga alat-alat yang mendukung penelitian seperti alat untuk pengujian material dan alat untuk pengujian sampel benda uji.

- **Prosedur pelaksanaan pengujian semen**

- 1. Pemeriksaan berat jenis semen**

Prosedur pelaksanaan pengujian gradasi butiran pasir sebagai berikut:

- Botol le chatelier (piknometer) diisi dengan kerosin atau naptha sampai antara skala 0 sampai 1, keringkan bagian dalam botol diatas permukaan cairan.
- Masukkan botol kedalam air sebagai usaha menjaga suhu yang konstan untuk menghindari variasi suhu botol yang lebih besar dari 0,2°C.
- Setelah suhu air sama dengan suhu cairan dalam botol, baca skala pada botol (V1)
- Masukkan contoh semen demi sedikit kedalam botol jangan sampai terjadi ada semen yang menempel pada dinding botol di atas cairan, sampai gelembung uadara tidak timbul lagi dipermukaan.
- Kemudian baca skala pada botol (V2).

- 2. Konsistensi normal semen portland**

Prosedur pelaksanaan pengujian konsistensi semen adalah sebagai berikut:

- Campur semen dengan air suling 14% (70 cc) lalu aduk sampai rata selama 3 menit hingga membentuk pasta semen.

- Bila pasta semen telah tercampur rata, kemudian dibentuk menjadi bola dengan cara dilempar dari tangan kiri ke tangan kanan atau sebaliknya pada jarak 15 cm sebanyak 6 (enam) kali.
- Kemudian masukkan bola pasta ke dalam konikel, ratakan permukaan dengan cara ditekan menggunakan tangan.
- Letakkan konikel pasta semen pada kaca datar. Jarum vikal besar ditempelkan pada permukaan semen tepat di bagian tengah dan lepaskan jarum dengan memutar pengikat E di jarum vikal tersebut selama 30 detik.
- Ulangi catatan, jumlah air dapat ditambah bila penurunan jarum kurang dari 10 mm atau sebaliknya jumlah air dikurangi bila terjadi penurunan jarum lebih besar dari 10 mm.
- Tentukan kadar air normal pada penurunan 10 mm berdasarkan grafik.

### 3. Pengujian waktu mengikat awal dan mengeras semen portland

Prosedur pelaksanaan pengujian gradasi butiran pasir sebagai berikut:

- Campur semen dengan air suling sesuai dengan konsistensi normal yang didapatkan sebelumnya lalu aduk hingga rata selama 3 (tiga) menit hingga menjadi pasta.
- Catat waktu saat pasta semen telah tercampur rata.
- Kemudian pasta semen yang sudah rata tersebut dibentuk bola dengan cara dilempar dari tangan kiri ke tangan kanan atau sebaliknya pada jarak 15 cm sebanyak 6 (enam) kali.
- Kemudian masukkan bola pasta ke dalam konikel dan permukaan diratakan dengan cara ditekan.
- Jarum vikal kecil ditempelkan pada bidang muka semen tepat dibagian tengahnya. Setelah 45 menit lepaskan jarum dengan memutar pengikat E di jarum vikal tersebut dan ukur penurunannya.
- Setelah 15 menit dari perjatuhan pertama, jarum vikal ditarik kembali dan dijatuhkan pada permukaan yang baru (permukaan yang belum tertusuk jarum). Demikian seterusnya dilakukan dalam interval 15 menit hingga jarum tidak dapat masuk lagi ke dalam pasta semen (turun 0 mm). Perlu diperhatikan jarak antara tusukan jarum adalah 3 mm dari tusukan sebelumnya.
- Waktu mengikat semen ditentukan pada jarum vikal turun sebesar 25 mm. Sedangkan waktu mengeras ditentukan bila jarum vikal turun sebesar 0 mm

- **Prosedur pelaksanaan agregat halus dan limbah batu (*stone crusher*)**

#### 1. Percobaan analisa saringan atau gradasi agregat halus (pasir) dan limbah batu (*stone crusher*)

- Ambil contoh agregat dengan cara perempat sebanyak 1000 gram.
- Oven selama 24 jam.
- Timbang pasir kering oven sebanyak 1000 gram. Kondisi suhu kamar.
- Timbang saringan satu persatu, lalu susun menurut ukuran saringan. Mulai dari yang terkecil, lubang saringan terkecil dan seterusnya sampai lubang saringan terbesar.
- Masukkan benda uji pada saringan teratas kemudian tutup. Pasang saringan pada mesin saringan lalu hidupkan motor pengguncang selama 15 menit.
- Biarkan selama 5 menit untuk memberi kesempatan debu-debu mengendap.
- Buka saringan tersebut, kemudian timbang masing-masing saringan beserta isinya.
- Hitung berat agregat yang tertahan pada masing-masing saringan.
- Hitung persentase berat tertahan, kumulatifkan untuk mendapatkan faktor kehalusan.
- Hitung persentase lolos.

- Plot kedalam grafik hasil perhitungan lolos.
  - Finess modulus adalah jumlah kumulatif persen dari suatu perhitungan analisa ayakan agregat pada seri lubang 0,15 mm, 0,30 mm, 0,60 mm sampai dengan saringan maksimum pada seri ayakan berbanding 1:2 dibagi 100.
2. Percobaan berat jenis dan penyerapan agregat halus (pasir) dan limbah batu (stone crusher)
    - Timbang pasir sebesar 500 gram.
    - Timbang pasir seberat 500 gram.
    - Rendam selama  $\pm 24$  jam.
    - Setelah direndam  $\pm 24$  jam, keringkan pasir hingga mencapai keadaan kering permukaan (SSD). Untuk mengetahui kondisi SSD tercapai, ambil kerucut kuningan tempatkan di tempat yang rata kemudian masukkan sampel 1/3 bahagian, gunakan penumbuk untuk memadatkan tumbuk 8 kali dengan tinggi jatuh kurang lebih 5 cm. Untuk lapis kedua ditumbuk 8 kali dan lapis ketiga 7 kali.
    - Timbang kondisi SSD sebanyak 500 gram, ambil 2 sampel.
    - Timbang piknometer (dalam keadaan kosong).
    - Isi piknometer dengan aquades, lalu timbang piknometer yang berisi aquades tersebut, tuangkan kembali aquades apabila sudah ditimbang.
    - Masukkan pasir kondisi SSD sebanyak 500 gram tadi ke dalam piknometer, lalu tambahkan aquades, kocok selama  $\pm 5$  menit.
    - Diamkan selama 24 jam untuk mengeluarkan gelembung udara didalamnya.
    - Setelah 24 jam, timbang piknometer + pasir + aquades.
    - Timbang talang (wadah) kosong
    - Tuangkan pasir dari piknometer ke dalam talang (wadah) tersebut lalu oven selama 24 jam.
    - Keluarkan sampel dari oven, dinginkan lalu timbang untuk mendapatkan berat kering.
  3. Percobaan berat volume agregat haus (pasir) dan limbah batu (stone crusher)
    - Ukuran volume bohler.
    - Timbang berat Bohler
    - Masukkan agregat halus (pasir) ke dalam Bohler  $\pm 1/3$  bagian lalu tumbuk dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali.
    - Ulangi prosedur (3) untuk lapis ke-2.
    - Untuk lapisan terakhir, masukkan agregat hingga melebihi permukaan atas Bohler lalu tusuk kembali sebanyak 25 kali.
    - Ratakan permukaannya dengan alat perata.
    - Timbang berat Bohler + pasir.
  4. Percobaan kadar air agregat halus (pasir) dan limbah batu (*stone crusher*)
    - Timbang talang kosong yang digunakan
    - Pasir ditimbang untuk memperoleh berat basah (kondisi lapangan).
    - Setelah itu dioven selama 24 jam dengan suhu 100 °C.
    - Setelah  $\pm 24$  jam, dinginkan lalu timbang kembali untuk mendapatkan berat kering.
  5. Percobaan kadar lumpur agregat halus (pasir) dan limbah batu (*stone crusher*)
    - Oven pasir sebanyak 500 gram selama 24 jam.
    - Setelah 24 jam timbang kembali pasir tersebut untuk mendapatkan berat kering.
    - Setelah ditimbang cucilah pasir dengan cara :
      - a. Masukkan kedalam saringan no. 200 dan diberi air pencuci secukupnya, sehingga benda uji terendam.
      - b. Guncang-guncangkan saringan tadi selama  $\pm 5$  menit.
      - c. Ulangi prosedur 3a dan 3b diatas, hingga air pencuci menjadi jernih (lumpur hilang).

- Setelah dicuci dikeringkan lagi dengan oven selama 24 jam dengan suhu 100°C.
  - Setelah dioven, timbang kembali pasir tersebut untuk mendapatkan berat kering.
6. Percobaan kadat organik agregat halus (pasir)
    - Botol bening diisi dengan pasir 1/3 bagian dan NaOH 3% 1/3 bagian juga.
    - Setelah itu botol tersebut dikocok selama  $\pm$  10 menit.
    - Setelah dikocok, diamkan selama 24 jam kemudian diamati perubahan warna yang terjadi.
    - Bandingkan warna tersebut dengan standard warna kandungan organik.
- **Prosedur pelaksanaan agregat kasar (kerikil)**
    1. Percobaan analisa saringan atau gradasi agregat kasar (kerikil)
      - a. Ambil contoh agregat dengan cara perempat sebanyak 2000 gram.
      - b. Oven selama 24 jam.
      - c. Timbang agregat kering oven sebanyak 2000 gr. Kondisi suhu kamar.
      - d. Timbang saringan satu persatu, lalu susun menurut ukuran saringan. Mulai dari pan, lubang saringan terkecil dan seterusnya sampai lubang saringan terbesar.
      - e. Masukkan benda uji pada saringan teratas kemudian tutup. Pasang saringan pada mesin saringan lalu hidupkan motor pengguncang selama 15 menit.
      - f. Biarkan selama 5 menit untuk memberi kesempatan debu-debu mengendap.
      - g. Buka saringan tersebut, kemudian timbang masing-masing saringan beserta isinya.
      - h. Hitung berat agregat yang tertahan pada masing-masing saringan.
      - i. Hitung persentase berat tertahan, kumulatifkan untuk mendapatkan faktor kehalusan.
      - j. Hitung persentase lolos.
      - k. Plot ke dalam grafik hasil perhitungan lolos.
    2. Percobaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar (kerikil)
      - a. Ambil kerikil sebanyak 5000 gram.
      - b. Rendam selama  $\pm$  24 jam.
      - c. Setelah  $\pm$  24 jam, keringkan kerikil hingga mencapai keadaan kering permukaan (SSD).
      - d. Timbang kondisi SSD sebanyak 5000 gram di udara.
      - e. Timbang keranjang kosong dalam air.
      - f. Timbang keranjang + sampel SSD dalam air.
      - g. Keluarkan sampel dari keranjang dan oven selama  $\pm$  24 jam.
        - Keluarkan sampel dari oven, dinginkan lalu timbang untuk mendapatkan berat kering.
    3. Percobaan berat volume agregat kasar
      - Kondisi lepas
        - Ukur volume bohler.
        - Timbang Bohler dalam keadaan kosong.
        - Isi Bohler dengan kerikil sampai penuh.
        - Ratakan permukaan Bohler dengan alat perata.
        - Timbang berat bohler + kerikil.
      - Kondisi padat
        - Ukur volume bohler.
        - Timbang berat Bohler
        - Masukkan agregat kasar (kerikil) ke dalam Bohler  $\pm$  1/3 bagian lalu tumbuk dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali.
        - Ulangi prosedur (3) untuk lapis ke-2.
        - Untuk lapisan terakhir, masukkan agregat hingga melebihi permukaan atas Bohler lalu tusuk kembali sebanyak 25 kali.
        - Ratakan permukaannya dengan alat perata.
        - Timbang berat Bohler + kerikil.
    4. Percobaan kadar air agregat kasar (kerikil)
      - Timbang talang kosong digunakan.
      - Kerikil ditimbang untuk memperoleh berat basah (kondisi lapangan).

- Setelah itu dioven selama 24 jam dengan suhu 100°C.
  - Setelah ± 24 jam, dinginkan lalu timbang kembali untuk mendapatkan berat kering.
5. Percobaan kadar lumpur agregat kasar (kerikil)
- Oven kerikil sebanyak 1000 gram selama 24 jam.
  - Setelah 24 jam, timbang kembali kerikil tersebut untuk mendapatkan berat kering.
  - Setelah ditimbang cucilah kerikil dengan cara :
    - a. Masukkan kedalam saringan no. 200 dan diberi air pencuci secukupnya, sehingga benda uji terendam.
    - b. Guncang-guncangkan saringan tadi selama ± 5 menit.
    - c. Ulangi prosedur 3a dan 3b diatas, hingga air pencuci menjadi jernih (lumpur hilang).
  - Setelah dicuci dikeringkan lagi dengan oven selama 24 jam dengan suhu 100°C.
  - Setelah dioven, timbang kembali kerikil tersebut untuk mendapatkan berat kering.
6. Percobaan pemeriksaan abrasi atau keausan agregat kasar (kerikil)
- Ambil benda uji (kerikil) yang akan diperiksa, lalu cuci sampai bersih.
  - Keringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 110°C.
  - Ambil sampel sebanyak 5000 gram.
  - Masukkan sampel pada drum abrasi beserta bola baja.
  - Tutup kembali drum abrasi.
  - Atur angka pada counter sesuai jumlah putaran yang diinginkan.
  - Tekan tombol start, sehingga drum berputar.
  - Setelah drum berhenti, pasang talang dibawah drum.
  - Buka tutup tekan tombol inching sehingga drum terbalik, sehingga agregat dan bola baja tertampung pada talang.
  - Saring agregat dengan saringan no. 12 dan agregat yang tertahan dicuci sampai bersih.
  - Keringkan dengan oven selama 24 jam.
  - Timbang berat keringnya.

• **Percobaan pemeriksaan beton segar (*concrete mixer test*)**

Prosedur pelaksanaan percobaan beton segar (*concrete mixer test*) adalah sebagai berikut:

- Bersihkan bagian dalam *concrete mixer*.
- Timbang bahan yang akan digunakan sesuai hasil perhitungan *mix design*.
- Jalankan *mixer concrete*.
- Masukkan agregat ke dalam *mixer*.
- Masukkan air sedikit demi sedikit sampai air yang telah sediakan masuk semua sambil *mixer* jalan terus.
- Setelah semua bahan dimasukkan, jalankan *mixer* sampai 2 menit berikutnya (sampai campuran kelihatan mengkilat).
- Lakukan pengukuran nilai slump.
- Setelah nilai slump tercapai, tuangkan campuran ke dalam talang.
- Beton segar dimasukkan ke dalam cetakan silinder.
- Tiap sepertiga bagian silinder terisi, padatkan dengan tongkat pemadat.
- Padatkan dengan vibrator.
- Ratakan permukaan beton dalam cetakan.
- Diamkan selama 24 jam.
- Setelah 24 jam, buka cetakan dengan hati-hati, usahakan beton tidak menerima getaran.
- Beton yang telah dibuka dari cetakan langsung direndam dalam bak perendaman.

- **Percobaan pemeriksaan nilai slump (*slump test*)**

Prosedur pelaksanaan percobaan pemeriksaan nilai slump (*slump test*) adalah sebagai berikut:

- Ambil adukan beton dari mixer.
- Letakan corong slump di atas talang injak kedua kakinya.
- Masukkan adukan beton kedalam corong slump sepertiga bagiannya, lalu tusuk-tusuk dengan batang pemadat secara merata sebanyak 25 kali.
- Lakukan hal yang sama untuk lapis kedua dan lapis ketiga atau tiap sepertiga bagian silinder.
- Ratakan permukaan corong.
- Angkat corong dengan hati-hati dalam posisi tegak lurus, lalu ukur penurunan yang terjadi (selisih antara tinggi awal dan akhir). Besarnya penurunan ini disebut nilai slump.

- **Percobaan pemeriksaan berat isi beton segar**

Prosedur pelaksanaan percobaan pemeriksaan berat isi beton segar adalah sebagai berikut:

- Timbang dan catat berat takaran.
- Masukkan beton segar ke dalam takaran dibagi dalam 3 (tiga) lapis tiap lapisnya dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali.
- Timbang takaran dan isinya (B).

- **Percobaan pengujian kuat tekan beton keras**

Prosedur pelaksanaan percobaan pemeriksaan berat isi beton segar adalah sebagai berikut:

- Ambil benda uji dari perendaman.
- Keringkan hingga mencapai kondisi SSD (kering permukaan).
- Timbang benda uji.
- Letakkan benda uji pada meja penekan. Periksa manometer yang digunakan pada skala nol.
- Bundel distel pada posisi penekanan lalu hidupkan mesinnya.
- Amati pergerakan manometer, catat nilai maksimum beban yang dapat ditahan oleh benda uji. Setelah dibagi dengan luas penampang benda uji, diperoleh nilai kuat tekan karakteristik beton tersebut.

- **Teknik Pengumpulan Data**

Teknik pengumpulan data dilaksanakan dengan menggunakan penelitian kuantitatif dengan melakukan beberapa pengujian terhadap benda uji di laboratorium. Teknik pengumpulan data terdiri atas 2 (dua) yaitu sebagai berikut:

- **Data primer**

Data yang diperoleh melalui eksperimen di Laboratorium Struktur dan Bahan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare. Penelitian ini berfokus pada variasi dari substitusi limbah batu dengan bahan tambah *superplasticizer (No Drop Plaston)*. Adapun data primer yang diperlukan dibagi 2 (dua) jenis yaitu:

- Karakteristik bahan

Data yang diperlukan pada karakteristik bahan didapatkan pada pengujian sebagai berikut:

- Karakteristik agregat halus
  - Gradasi butiran agregat halus
  - Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus
  - Pemeriksaan berat volume agregat halus
  - Pemeriksaan kandungan lumpur

- Pemeriksaan kadar air
- Pemeriksaan zat organik
- Karakteristik agregat limbah beton
  - Gradasi butiran agregat halus
  - Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus
  - Pemeriksaan berat volume agregat halus
  - Pemeriksaan kandungan lumpur
  - Pemeriksaan kadar air
  - Pemeriksaan zat organik
- Karakteristik agregat kasar
  - Gradasi butiran agregat kasar
  - Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar
  - Pemeriksaan berat volume dalam agregat kasar
  - Pemeriksaan kandungan lumpur
  - Pemeriksaan kadar air
  - Pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi los angeles
- Karakteristik semen
  - Pemeriksaan berat jenis semen
  - Konsistensi normal semen portland
  - Pengujian waktu mengikat awal dan mengeras semen portland
- Karakteristik beton

Data yang diperlukan pada karakteristik beton didapatkan pada pengujian sebagai yaitu Kuat tekan selinder.

- **Data sekunder**

Data sekunder sebagai pendukung merupakan gambaran pada daerah studi. Pengumpulan data sekunder merupakan pengumpulan data secara tidak langsung dari sumber/objek. Data diperoleh dari tulisan seperti buku teori, buku laporan, peraturan-peraturan, dan dokumen baik yang berasal dari instansi terkait maupun hasil kajian literature.

- **Benda uji**

Campuran tanah-semen dan air sebanyak yang direncanakan dan dipadatkan dalam silinder cetakan tertentu. Adapun contoh gambar 3.1 benda uji yang dibuat



**Gambar 21.** Benda uji silinder 300 mm × 150 mm  
(sumber: Struktur dan bahan, 2022)

**Tabel 12.** Variasi campuran limbah beton dan superplasticizer untuk kuat tekan beton

No	Variasi campuran beton	Umur beton (hari)			Jumlah
		3	14	28	
1	BN	3	3	3	9
2	BN + SP 400 ml	3	3	3	9
3	LB 50% + SP 400ml	3	3	3	9
4	LB 100% + SP 400ml	3	3	3	9
Total sampel					36

Keterangan:

BN : Beton Normal

LB : Limbah Batu

SP : *Superplasticizer (No Drop Plaston)*

- **Teknik Analisis Data**

Pada tahapan analisis dilakukan terhadap data hasil pengujian benda uji beton. Dalam penelitian ini analisis yang dilakukan adalah analisis perbandingan sebab akibat yang berkaitan dengan kuat tekan selanjutnya dipaparkan ke dalam grafik.

- **Bagan Alir penelitian**

Penelitian dimulai dengan survay material, pengujian bahan, pembuatan benda uji, perawatan benda uji, pengujian sampel, analisis data, pembahasan hasil pengujian, kesimpulan dan saran. Berikut disajikan diagram alir penelitian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

- **Hasil Pengujian Agregat**

Pengujian agregat berdasarkan pada SNI (Standar Nasional Indonesia) dilakukan terhadap agregat kasar, agregat halus dan agregat limbah batu *stone crusher*. Hasil pengujian agregat ditunjukkan pada rekapitulasi percobaan-percobaan yang dilakukan di Laboratorium;

- **Agregat Halus**

**Tabel 13.** Rekapitulasi pengujian agregat halus

No.	Karakteristik Agregat	Interval	Hasil Pengamatan		Nilai Rata-Rata	Ket.
			I	II		
1	Kadar lumpur	Maks 5%	2.0%	3.0%	2,50%	Memenuhi
2	Kadar organik	< No. 3	No. 2	No. 2	No. 2	Memenuhi
3	Kadar air	2% - 5%	1.83%	2.67%	2.25%	Memenuhi
4	Berat volume					
	a. Kondisi lepas	1,4 - 1,9 kg/liter	1.21	1.69	1.45	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,4 - 1,9 kg/liter	1.65	1.73	1.69	Memenuhi
5	Absorpsi	0,2% - 2%	2.04%	1.63%	1.83%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik					
	a. Bj. Nyata	1,6 - 3,3	2.62	2.69	2.65	Memenuhi
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2.49	2.58	2.53	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2.54	2.62	2.58	Memenuhi
7	Modulus kehalusan	1,50 - 3,80	2.95	2.95	2.95	Memenuhi

Dari pengujian agregat halus diatas didapatkan hasil sebagai berikut.

- **Kadar lumpur agregat**

Hasil yang didapatkan dari pengujian kadar lumpur agregat halus diatas yaitu 2,50%, hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu lebih kecil dari 5% yang menunjukkan bahwa material agregat halus tersebut dapat digunakan untuk campuran beton tanpa melalui proses pencucian terlebih dahulu.

- **Kadar organik agregat**

Hasil yang didapatkan dari pengujian kadar organik agregat halus diatas sampel menunjukkan warna kekeruhan di angka No.2 pada standar warna yang menunjukkan bahwa material agregat halus tersebut memiliki tingkat kadar organik terbilang rendah sehingga dapat digunakan dalam campuran beton tanpa perlu dicuci terlebih dahulu.

- **Kadar air agregat**

Hasil yang didapatkan dari pengujian kadar air agregat halus di atas yaitu 2.25%, hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu berada diantara interval 2,00%-5,00% yang menandakan bahwa material agregat halus (pasir) tersebut dapat digunakan untuk campuran beton.

- **Berat volume agregat**

Hasil yang didapatkan dari pengujian berat volume agregat halus kondisi lepas diatas yaitu 1.45 sedangkan pengujian berat volume agregat halus kondisi padat yaitu 1.69, dari ke 2 (dua) hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu berada diantara interval 1,4-1,9 kg/liter yang menandakan bahwa material agregat halus (pasir) tersebut dapat digunakan untuk campuran beton.

- **Penyerapan air agregat**

Hasil yang didapatkan dari pengujian penyerapan air agregat halus di atas yaitu 1,83%, hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu berada diantara interval dari 0,2%-2% yang menandakan bahwa material agregat halus (pasir) tersebut dapat digunakan untuk campuran beton.

- **Berat jenis agregat**

Hasil yang didapatkan dari pengujian berat jenis nyata diatas yaitu 2.65, berat jenis kering yaitu 2.53, dan berat jenis kering permukaan yaitu 2.58, dari ke 3 (tiga) hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu berada diantara interval 1,6-3,3 kg/liter yang menandakan bahwa material agregat halus (pasir) tersebut dapat digunakan untuk campuran beton.

- **Modulus kehalusan agregat**

Hasil yang didapatkan dari pengujian modulus kehalusan agregat halus diatas yaitu 2.95, hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu berada diantara interval 1,50-3,80 yang menandakan bahwa material agregat halus (pasir) tersebut dapat digunakan untuk campuran beton.

- **2. Agregat limbah batu *stone crusher***

Dari pengujian agregat kasar diatas didapatkan hasil sebagai berikut.

- **Kadar Lumpur**

Hasil yang didapatkan dari pengujian kadar lumpur agregat limbah abu batu *stone crusher* diatas yaitu 4%, hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu lebih kecil dari 5% yang menunjukkan bahwa material agregat limbah batu tersebut dapat digunakan untuk campuran beton tanpa melalui proses pencucian terlebih dahulu.

- **Kadar organik agregat**

Hasil yang didapatkan dari pengujian kadar organik agregat limbah abu batu *stone crusher* diatas sampel menunjukkan warna kekeruhan di angka No.2 pada standar warna yang menunjukkan bahwa material agregat limbah batu tersebut memiliki tingkat kadar organik

terbilang rendah sehingga dapat digunakan dalam campuran beton tanpa perlu dicuci terlebih dahulu.

- **Kadar air agregat**

Hasil yang didapatkan dari pengujian kadar air agregat limbah abu batu *stone srusher* di atas yaitu 5%, hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu berada diantara interval 2,00%-5,00% yang menandakan bahwa material agregat limbah batu tersebut dapat digunakan untuk campuran beton.

- **Berat volume agregat**

Hasil yang didapatkan dari pengujian berat volume agregat limbah abu batu *stone crusher* kondisi lepas diatas 1.65 sedangkan pengujian berat volume agregat halus kondisi padat yaitu 1.75, dari ke 2 (dua) hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu berada diantara interval 1,4-1,9 kg/liter yang menandakan bahwa material agregat limbah batu tersebut dapat digunakan untuk campuran beton.

- **Penyerapan air agregat**

Hasil yang didapatkan dari pengujian penyerapan air agregat limbah abu batu *stone crusher* di atas yaitu 2 %, hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu berada diantara interval dari 0,2%-2% yang menandakan bahwa material agregat limbah batu tersebut dapat digunakan untuk campuran beton.

- **Berat jenis agregat**

Hasil yang didapatkan dari pengujian berat jenis nyata diatas yaitu 3.28, berat jenis kering yaitu 3.10, dan berat jenis kering permukaan yaitu 3.15, dari ke 3 (tiga) hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu berada diantara interval 1,6-3,3 kg/liter yang menandakan bahwa material agregat limbah batu tersebut dapat digunakan untuk campuran beton.

- **Modulus kehalusan agregat**

Hasil yang didapatkan dari pengujian modulus kehalusan agregat halus diatas yaitu 2.73, hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu berada diantara interval 1,50-3,80 yang menandakan bahwa material agregat limbah batu *stone crusher* tersebut dapat digunakan untuk campuran beton.

**Tabel 14.** Rekapitulasi hasil pengujian agregat limbah batu *stone crusher*

NO	KARAKTERISTIK AGREGAT	INTERVAL	HASIL PENGAMATAN		NILAI RATA-RATA	KET.
			I	II		
1	Kadar lumpur	Maks 5%	3,60%	4,20%	4%	Memenuhi
2	Keausan	< No. 3	24,2%	22.0%	23%	Memenuhi
3	Kadar air	2% - 5%	4%	5%	5%	Memenuhi
4	Berat volume					
	a. Kondisi lepas	1,4 - 1,9 kg/liter	1.65	1.65	1.65	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,4 - 1,9 kg/liter	1.75	1.75	1.75	Memenuhi
5	Absorpsi	0,2% - 2%	2%	2%	2%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik					
	a. Bj. Nyata	1,6 - 3,3	3.30	3.27	3.28	Memenuhi
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	3.13	3.06	3.10	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	3.18	3.13	3.15	Memenuhi
7	Modulus kehalusan	1,50 - 3,80	2.73	2.73	2.73	Memenuhi

- Agregat kasar (kerikil)

**Tabel 15.** Rekapitulasi pengujian agregat kasar (kerikil)

NO	KARAKTERISTIK AGREGAT	INTERVAL	HASIL PENGAMATAN		NILAI RATA-RATA	KET.
			I	II		
1	Kadar lumpur	Maks 1%	0.5%	1.00%	0.75%	Memenuhi
2	Keausan	Maks 50%	17.2%	15.0%	16.6%	Memenuhi
3	Kadar air	0,5% - 2%	2.04%	1.52%	1.78%	Memenuhi
4	Berat volume					
	a. Kondisi lepas	1,6-1,9 kg/liter	1.67	1.72	1.70	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,6-1,9 kg/liter	1.89	1.86	1.87	Memenuhi
5	Absorpsi	Maks 4 %	2.25%	2.15%	2.20%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik					
	a. Bj. Nyata	1,6 - 3,3	2.59	2.60	2.59	Memenuhi
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2.45	2.46	2.45	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2.50	2.51	2.51	Memenuhi
7	Modulus kehalusan	6,0 - 8,0	6.61	6.69	6.65	Memenuhi

Dari pengujian agregat limbah beton diatas didapatkan hasil sebagai berikut.

- Kadar Lumpur, Dari pengujian kadar lumpur agregat kasar diatas didapatkan hasil 0.75% yang nilainya lebih kecil dari 1 % sehingga agregat limbah beton dapat dijadikan bahan campuran beton.
- Keausan Agregat, Dari pengujian tingkat keausan agregat kasar menggunakan mesin *Los Angeless* diatas didapatkan hasil 16.1 % yang nilainya lebih kecil dari 50 % sehingga agregat kasar dapat dijadikan bahan campuran beton.
- Kadar Air, Dari pengujian kadar air diatas didapatkan hasil 1.70% yang nilainya lebih besar dari 2 % sehingga agregat limbah beton perlu dikeringkan sebelum dapat digunakan pada campuran beton.
- Berat Volume, Dari pengujian berat volume rongga agregat kasar didapatkan hasil 1.70 sedangkan pada pengujian berat volume padat didapatkan hasil 1,87 yang keseluruhan nilainya masih dalam interval 1,6 – 1,9 kg/liter sehingga agregat kasar dapat dijadikan bahan campuran beton.
- Penyerapan Air, Dari pengujian penyerapan air agregat kasar diatas didapatkan hasil 2,20 % yang nilainya diatas interval maksimum 4 % sehingga jumlah air yang diperlukan harus diperhitungkan kembali sebelum agregat limbah beton dapat dijadikan bahan campuran beton.
- Berat Jenis, Dari pengujian berat jenis nyata didapatkan hasil 2,69. Berat jenis kering didapatkan nilai sebesar 2,45. Dan untuk berat jenis kering permukaan didapatkan hasil pengujian sebesar 2,51 yang keseluruhan nilainya masih dalam interval 1,6–3,3 sehingga agregat kasar dapat dijadikan bahan campuran beton.
- Modulus Kehalusan, Berdasarkan spesifikasi karakteristik agregat kasar SNI, interval untuk modulus kehalusan yaitu berada antara 6,0-8,0. Sedangkan hasil yang diperoleh dari penelitian yaitu 6,65 adalah sesuai dengan spesifikasi. Jadi agregat tersebut dapat digunakan dalam campuran beton.

- **Perencanaan Campuran Beton (Mix Design)**

Perencanaan campuran beton dihitung menggunakan metode SNI 7656:2012 dengan hasil data sebagai berikut :

Diketahui data material:

Mutu beton	= 25 Mpa
Slump	= 75 – 100 mm
Ukuran agregat maksimum	= 20
Berat kering oven agregat kasar	= 1.872
Berat jenis semen tanpa tambahan udara	= 3.08
Modulus kehalusan agregat halus	= 2.95
Berat jenis (SSD) agregat halus	= 2.58
Berat jenis (SSD) agregat kasar	= 2.51
Penyerapan air agregat halus	= 1.83%
Penyerapan air agregat kasar	= 2.20%
Kadar Air agregat halus	= 2.25%
Kadar Air agregat kasar	= 1.78%
Berat Jenis SSD limbah batu	= 3.15

Perhitungan

Kuat desar rencana:

$$F'c = 25 \text{ Mpa} = 25 \text{ Kg/cm}^2$$

- **Margin**

Hitung kuat tekan rata-rata beton, dengan kuat tekan rata-rata yang disyaratkan dan nilai margin tergantung dari tingkat pengawasan mutu.

**Tabel 16.** Tabel nilai deviasi (kg/cm<sup>2</sup>) untuk berbagai volume pekerjaan dan mutu pelaksanaan di lapangan (Sumber: SNI 03-2834-2000)

Volume pekerjaan		Mutu pelaksanaan		
Klasifikasi	m <sup>3</sup>	Baik sekali	Baik	Cukup
Kecil	<.1000	45 < s ≤ 55	55 < s ≤ 65	65 < s ≤ 85
Sedang	1000-3000	35 < s ≤ 45	45 < s ≤ 55	55 < s ≤ 75
Besar	>3000	25 < s ≤ 35	35 < s ≤ 45	45 < s ≤ 65

$$\text{Standar deviasi (Sr)} = 50$$

$$\text{Margin (m)} = 1,64 \cdot 50 = 82 \text{ Kg/cm}^2$$

- **Kuat beton rencana (f'cr)**

$$= f_c^{'+m} = \text{Kg/cm}^2$$

$$= f_{cr}/g \text{ Mpa}$$

- **Volume air yang diperlukan tiap m<sup>3</sup> adukan beton**

Adapun tabel volume air yang diperlukan tiap m<sup>3</sup> adukan beton

**Tabel 17.** Volume air yang diperlukan tiap m<sup>3</sup> adukan beton untuk berbagai nilai slump dan ukuran agregat maksimum (Sumber: SNI 7656:2012).

Air (kg/) untuk ukuran nominal agregat maksimum batu pecah								
Slump (mm)	9,5 mm	12,7 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
<b>Beton tanpa tambahan udara</b>								
25-50	207	199	190	179	166	154	130	113
75-100	228	216	205	193	181	169	145	124
150-175	243	228	216	202	190	178	160	-
> 175	-	-	-	-	-	-	-	-
Banyaknya udara dalam beton (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
25-50	181	175	168	160	150	142	122	107
75-100	202	193	184	175	165	157	133	119
150-175	216	205	197	184	174	166	154	-
> 175	-	-	-	-	-	-	-	-
Jumlah kadar udara yang disarankan untuk tingkat paparan sebagai berikut: ringan (%)								
	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0
Sedang (%)	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,4	3,0
Berat(%)	7,5	7,0	6,0	6,0	5,0	4,5	4,5	4,0

Bila ditabel tidak ditemukan data maka dilakukan perhitungan interpolasi berdasarkan ukuran agregat maksimum dan nilai slump dengan ukuran agregat maksimum yaitu 20 yang berada diantara 19-25 mm

Rumus interpolasi:

- Kebutuhan air

Diketahui:

$$\begin{array}{ll} X = ? & Y = 20 \\ X_1 = 193 & Y_1 = 25 \\ X_2 = 205 & Y_2 = 19 \end{array}$$

- Kadar udara

Diketahui:

$$\begin{array}{ll} X = ? & Y = 20 \\ X_1 = 1,5\% & Y_1 = 25 \\ X_2 = 2\% & Y_2 = 19 \end{array}$$

**Tabel 18.** Perhitungan interpolasi berdasarkan ukuran agregat maksimum dan nilai slump

Air			Udara	
25	193	Dari tabel	25	1,5%
20	?		20	?
19	205	Dari tabel	19	2%
x (air) =	203	Kg	x (udara) =	1,9%

- **Penentuan faktor air semen (FAS)**

**Tabel 19.** Faktor air semen (litr/kg semen) untuk berbagai jenis konstruksi dan keadaan cuaca (Sumber: SNI 7656:2012).

Kekuatan beton umur 28 hari, Mpa*	Rasio air-semen (berat)	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
40	0,42	-
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

Diketahui:

$$\begin{array}{ll}
 X = ? & Y = \\
 X1 = 0,47 & Y1 = 35 \\
 X2 = 0,54 & Y2 = 30
 \end{array}$$

FAS (faktor air semen)	
40	0,42
35,03	?
35	0,47
x (FAS) =	kg

- **Berat semen tiap 1 m<sup>3</sup> beton**

$$\begin{array}{ll}
 W \text{ air} & = 203 \text{ Kg} \\
 W \text{ semen} & = 411,7842890 \text{ kg/m}^3 \\
 & = 0,411784289 \text{ ton} \\
 \text{Vol. semen} & = 0,133696198 \text{ m}^3
 \end{array}$$

- **Berat kerikil tiap 1 m<sup>3</sup> beton**

**Tabel 20.** Volume agregat tiap satuan volume adukan beton (Sumber: SNI 7656:2012).

Ukuran nominal agregat maksimum (mm)	Volume agregat kasar kering oven* per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan dari agregat halus			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

- Kerikil A (2,80)

Diketahui:

$$\begin{array}{ll} X = ? & Y = 20 \\ X1 = 0,62 & Y1 = 19 \\ X2 = 0,67 & Y2 = 25 \end{array}$$

- Kerikil B (3,00)

Diketahui:

$$\begin{array}{ll} X = ? & Y = 20 \\ X1 = 0,60 & Y1 = 19 \\ X2 = 0,65 & Y2 = 25 \end{array}$$

- Kerikil A (2.80) dan B (3.00)

Diketahui:

$$\begin{array}{ll} X = ? & Y = 2,95 \\ X1 = 0,6083 & Y1 = 3,00 \\ X2 = 0,6283 & Y2 = 2,80 \end{array}$$

A		B		A dan B	
19	0,62	19	0,60	3,0	0,608
20	?	20	?	2,95	?
25	0,67	25	0,65	2,80	0,620
x=	0.6283 kg	x=	0,6083 kg	x=	0,6136 kg

Berat kering oven (SSD) = 1,871698113

$$\begin{aligned} W \text{ Kerikil} &= \text{Volume} \times \text{SSD} \\ &= 0,6136 \times 1,871698113 = 1,148442767 \text{ ton} \\ &= W \text{ Kerikil} \times 1000 \\ &= 1,148442767 \times 1000 = 1148,4422767 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$V \text{ Kerikil} = 0,458225786 \text{ m}^3$$

- **Berat absolute pasir 1 m<sup>3</sup> beton**

$$\begin{aligned} \text{Vol. Air} &= 203 \text{ kg} \\ &= 0,20300 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vol. padat semen} &= 411,7842890 \text{ kg} \\ &= 0,13370 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vol. absolute Ag. Kasar} &= 1148,4422767 \text{ kg} \\ &= 0,45823 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vol. udara terperangkap} &= 1,9\% \\ &= 1 \text{ m}^3 \times 1,9\% = 0,01917 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Jumlah Vol. padat selain Ag. Halus

$$\begin{aligned} \text{Maka vol. total} &= \text{Vol. air} + \text{vol. semen} + \text{vol. ag. Kasar} + \text{vol. udara} \\ &= 0,203 + 0,13370 + 0,45823 + 0,01917 \\ &= 0,81409 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vol. Ag. Halus} &= 1 - \text{Vol. total} \\ &= 1 - 0,81409 \\ &= 0,18591 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Ag halus kering} &= \text{Vol. Ag. Halus} \times (\text{BJ Ag. Halus} \times 1000) \\ &= 0,18591 \times (2,58 \times 1000) \\ &= 479,2675719 \text{ kg} \end{aligned}$$

- **Perkiraan berat pasir tiap 1 m<sup>3</sup> beton**

**Tabel 21.** Perkiraan (estimasi) awal berat/volume beton segar

Ukuran nominal maksimum agregat (mm)	Perkiraan awal berat beton, kg/	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
9,5	2280	2200
12,5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37,5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 X &= ? & Y &= 20 \\
 X_1 &= 2380 & Y_1 &= 25 \\
 X_2 &= 2345 & Y_2 &= 19
 \end{aligned}$$

Berat Beton 1 m <sup>3</sup>	
25	2380
20	?
19	2345
X =	2350,83 kg

Berdasarkan data diatas maka perkiraan berat beton adalah 2350,83; Sehingga :

$$\begin{aligned}
 \text{Air (Berat bersih)} &= 203,0 \\
 \text{Semen} &= 411,7842890 \\
 \text{Agregat kasar} &= 1148,442767 \\
 \text{Jumlah} &= 1763,227056 \\
 \text{Maka berat Ag. Halus adalah} &= 2350,83 - 1763,227056 \\
 &= 587,602944 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- **Koreksi terhadap kadar air**

CATATAN : Pengujian kadar air terhadap material dilakukan sebelum hendak melakukan proses pencampuran untuk pengujian kadar air bisa dilihat pada SNI 03-1971-1990.

Kadar air didapat :

$$\begin{aligned}
 \text{Ag. Kasar} &= 1.78\% \\
 \text{Ag. Halus} &= 2.25\%
 \end{aligned}$$

Sehingga berat (massa) penyesuaian berdasarkan kadar air adalah

$$\begin{aligned}
 \text{Ag. Kasar (Basah)} &= \text{Ag. Kasar (Basah)} \times \text{Kadar Air Ag. Kasar} \\
 &= 1148,442767 \times 1,78\% \\
 &= 20,463292 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Ag. Halus (Basah)} &= \text{Ag. Halus (Basah)} \times \text{Kadar Air Ag. Halus} \\
 &= 587,602944 \times 2,25\% \\
 &= 12,911208 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maka Tot. berat massa} &= \text{Ag. Kasar (Basah)} + \text{Ag. Halus (Basah)} \\
 &= 20,463292 + 12,911208 \\
 &= 33,374500 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Air yang diserap tidak menjadi bagian dari air pencampur dan harus dikeluarkan dari penyesuaian dalam air yang ditambahkan. Maka :

$$\begin{aligned} \text{Air yang diberikan Ag. Kasar} &= \text{Penyerapan air Ag. Kasar} \times \text{Ag. Kasar (Basah)} \\ &= 1.83\% \times 1148,442767 \\ &= 21,055737 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Air yang diberikan Ag. Halus} &= \text{Penyerapan air Ag. Halus} \times \text{Ag. Halus (Basah)} \\ &= 2,20\% \times 587,602944 \\ &= 12,911208 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka Tot. Penyerapan air} &= \text{Air diberikan Ag. Kasar} + \text{Air diberikan Ag. Halus} \\ &= 21,055737 + 12,911208 \\ &= 33,9669445 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dengan demikian kebutuhan air yang ditambahkan adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Air}_{\text{koreksi}} &= \text{Air} - \text{Tot. berat massa} + \text{Tot. penyerapan air} \\ &= 203 - 33,6914046 + 33,9669445 \\ &= 203,27553988 \text{ kg} \end{aligned}$$

Maka perkiraan 1 m<sup>3</sup> beton adalah sebagai berikut

$$\text{Air koreksi} = 203,27553988 \text{ kg}$$

$$\text{Semen} = 412,343220 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Ag. Kasar} &= \text{Berat ag. kasar} + \text{berat kadar air ag. kasar} - \text{berat penyerapan ag. Kasar} \\ &= 1148,442767 + 20,463292 - 21,055737 \\ &= 1.147,85032 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ag. Halus} &= \text{Berat ag. halus} + \text{berat kadar air ag. halus} - \text{berat penyerapan ag. halus} \\ &= 587,602944 + 13,228113 - 12,911208 \\ &= 587,9198488 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah} &= \text{Air} + \text{semen} + \text{ag. Kasar} + \text{ag. Halus} \\ &= 203,27553988 + 412,343220 + 1.147,85032 + 587,9198488 \\ &= 2.351,38893 \text{ kg} \end{aligned}$$

**Tabel 22.** Kebutuhan campuran bahan untuk 1 m<sup>3</sup> beton

	Berdasarkan Koreksi terhadap kadar air (kg)	Berdasarkan perkiraan massa beton (kg)	Berdasarkan volume absolute (kg)
Air (berat bersih)	203,27553988	203,0	203
Semen	412,343220	411,784289	411,784289
Ag. Kasar (kering)	1.147,850322	1.148,442767	1.148,442767
Ag. Halus (kering)	587,9198488	587,602944	479,2675729

Perbandingan berat = W semen : W pasir : W kerikil : W air

1	1,16	2,79	0.49
---	------	------	------

• **Kebutuhan Bahan Pembuatan Benda Uji Silinder Beton :**

Kebutuhan beton berbentuk silinder = 12 silinder beton

$$\text{Diameter (d)} = 0,15 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (h)} = 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Volume 1 silinder} = 0,005301438 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Vol. total silinder} &= \text{Volume 1 silinder} \times \text{Jumlah beton silinder} \\ &= 0,005301438 \text{ m}^3 \times 12 \\ &= 0,063617251 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Agar tidak terjadi kekurangan bahan diperlukan penambahan volume silinder sebesar 25 %

Volume tambahan = vol. total silinder x 25%  
= 0,063617251 m<sup>3</sup> x 25%  
= 0,015904313 m<sup>3</sup>

Maka Vol. total = Vol. total silinder + Vol. Tambahan  
= 0,063617251 m<sup>3</sup> + 0,015904313 m<sup>3</sup>  
= 0,079521564 m<sup>3</sup>

**Tabel 23.** Kebutuhan bahan untuk 12 silinder beton

	Berdasarkan koreksi terhadap kadar air (kg)	Berdasarkan perkiraan massa beton (kg)	Berdasarkan volume absolute (kg)
W semen	32,7901778 kg	32,7457307 kg	32,7457307 kg
W pasir	46,7523059 kg	46,7271051 kg	38,1121069 kg
W kerikil	91,2788529 kg	91,3259651 kg	91,3259651 kg
W air	16,1647889 kg	16,1428775 kg	16,1428775 kg

• **Kebutuhan masing-masing campuran beton untuk benda Uji :**

- Untuk beton normal

kebutuhan beton berbentuk silinder = 12 silinder beton

Diameter (d) = 0,15 m

Tinggi (h) = 0,3 m

Volume 1 silinder = 0,005301438 m<sup>3</sup>

Vol. total silinder = Volume 1 silinder Jumlah beton silinder

= 0,005301438 m<sup>3</sup> × 12

= 0,063617251 m<sup>3</sup>

Agar tidak terjadi kekurangan bahan, diperlukan penambahan volume silinder sebesar 25 %

Volume tambahan = vol. total silinder x 25%

= 0,063617251 m<sup>3</sup> x 25%

= 0,015904313 m<sup>3</sup>

Maka Vol. total = Vol. total silinder + Vol. Tambahan

= 0,063617251 m<sup>3</sup> + 0,015904313 m<sup>3</sup>

= 0,079521564 m<sup>3</sup>

**Tabel 24.** Kebutuhan bahan untuk beton normal

	kebutuhan persatu kubik beton	kebutuhan persatu selinder beton	kebutuhan 12 selinder
W semen	411,7842890 kg	10,915244 kg	32,745731 kg
W pasir	587,6029437 kg	15,575702 kg	46,727105 kg
W kerikil	1.148,442767 kg	30,441988 kg	91,325965 kg
W air	203,0 kg	5,380959 kg	16,142878 kg

- Untuk beton dengan tambahan *superplasticizer* 400 ml

kebutuhan beton berbentuk silinder = 12 silinder beton

Diameter (d) = 0,15 m

Tinggi (h) = 0,3 m

Volume 1 silinder = 0,005301438 m<sup>3</sup>

Vol. total silinder = Volume 1 silinder Jumlah beton silinder

= 0,005301438 m<sup>3</sup> × 12

= 0,063617251 m<sup>3</sup>

Agar tidak terjadi kekurangan bahan, diperlukan penambahan volume silinder sebesar 25 %

$$\begin{aligned} \text{Volume tambahan} &= \text{vol. total silinder} \times 25\% \\ &= 0,063617251 \text{ m}^3 \times 25\% \\ &= 0,015904313 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka Vol. total} &= \text{Vol. total silinder} + \text{Vol. Tambahan} \\ &= 0,063617251 \text{ m}^3 + 0,015904313 \text{ m}^3 \\ &= 0,079521564 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Kebutuhan *superplasticizer* 400 ml
- Banyaknya *superplasticizer* = 10 ml/kg
- Kebutuhan air
- $$\begin{aligned} \text{Berat air} &= 75\% \text{ dari total kebutuhan air} \\ &= 203 \text{ kg} \times 75\% \\ &= 152,25 \text{ kg} \end{aligned}$$

**Tabel 25.** Kebutuhan bahan untuk beton normal + *superplasticizer* 400 ml

	kebutuhan persatu kubik beton	kebutuhan persatu selinder beton	kebutuhan 12 selinder
W semen	411,7842890 kg	10,915244 kg	32,7457307 kg
W pasir	587,6029437 kg	15,575702 kg	46,7271051 kg
W kerikil	1.148,442767 kg	30,441988 kg	91,3259651 kg
W air	152,250 kg	4,035719 kg	12,1071581 kg
W <i>superplasticizer</i>	4,1178429 kg	0,109152 kg	0,3274573 kg
W semen	411,7842890 kg	10,915244 kg	32,7457307 kg

- Kebutuhan variasi 50% beton limbah batu *stone crusher* + *Superplasticizer* 400 ml

kebutuhan beton berbentuk silinder = 12 silinder beton

Diameter (d) = 0,15 m

Tinggi (h) = 0,3 m

Volume 1 silinder = 0,005301438 m<sup>3</sup>

$$\begin{aligned} \text{Vol. total silinder} &= \text{Volume 1 silinder} \times \text{Jumlah beton silinder} \\ &= 0,005301438 \text{ m}^3 \times 12 \\ &= 0,063617251 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Agar tidak terjadi kekurangan bahan, diperlukan penambahan volume silinder sebesar 25 %

$$\begin{aligned} \text{Volume tambahan} &= \text{vol. total silinder} \times 25\% \\ &= 0,063617251 \text{ m}^3 \times 25\% \\ &= 0,015904313 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka Vol. total} &= \text{Vol. total silinder} + \text{Vol. Tambahan} \\ &= 0,063617251 \text{ m}^3 + 0,015904313 \text{ m}^3 \\ &= 0,079521564 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Kebutuhan volume limbah batu *stone crusher*

$$\begin{aligned} \text{Vol. limbah batu} &= \text{Vol. pasir} \times 50\% \\ &= 0,18591 \text{ m}^3 \times 50\% \\ &= 0,09296 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vol. pasir tersisa} &= \text{Vol. pasir} - \text{vol. Limbah batu} \\ &= 0,18591 \text{ m}^3 - 0,09296 \text{ m}^3 \\ &= 0,09296 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat limbah batu} &= \text{Vol. limbah batu} \times (\text{BJ limbah batu} \times 1000) \\ &= 0,09296 \text{ m}^3 \times 3,15 \text{ kg/m}^3 \times 1000 \\ &= 293,26183 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Berat pasir = Vol. pasir × (BJ pasir × 1000)  
= 0,09296 × (2,56 × 1000)  
= 0,09296 m<sup>3</sup> × 2.577,94 kg/m<sup>3</sup>  
= 239,63379 Kg

- Kebutuhan *Superplasticizer (No Drop Platon)*  
Banyak nya superplasticizer = 10 ml/kg
- Kebutuhan air  
Berat air = 75% dari total kebutuhan air  
= 203 kg × 75% = 152.25 kg

**Tabel 26.** Kebutuhan variasi 50% beton limbah batu + *Superplasticizer* 400 ml

	kebutuhan persatu kubik beton	kebutuhan persatu selinder beton	kebutuhan 11 selinder
W semen	411,78429 kg	10,9152 kg	32,74573 kg
W pasir	239,63379 kg	6,35202 kg	19,05605 kg
W kerikil	1148,4428 kg	30,4420 kg	91,32597 kg
W limbah beton	293,26183 kg	7,77355 kg	23,32064 kg
W air	152,25000 kg	4,03572 kg	12,10716 kg
W superplasticizer	4,11784 kg	0,10915 kg	0,32746 kg

- Kebutuhan variasi 100% beton limbah batu *stone crusher* + *Superplasticizer* 400 ml  
kebutuhan beton berbentuk silinder = 12 silinder beton  
Diameter (d) = 0,15 m  
Tinggi (h) = 0,3 m  
Volume 1 silinder = 0,005301438 m<sup>3</sup>  
Vol. total silinder = Volume 1 silinder Jumlah beton silinder  
= 0,005301438 m<sup>3</sup> × 12  
= 0,063617251 m<sup>3</sup>

Agar tidak terjadi kekurangan bahan, diperlukan penambahan volume silinder sebesar 25 %

Volume tambahan = vol. total silinder x 25%  
= 0,063617251 m<sup>3</sup> x 25%  
= 0,015904313 m<sup>3</sup>

Maka Vol. total = Vol. total silinder + Vol. Tambahan  
= 0,063617251 m<sup>3</sup> + 0,015904313 m<sup>3</sup>  
= 0,079521564 m<sup>3</sup>

- Kebutuhan volume limbah batu *stone crusher*

Vol. limbah batu = Vol. pasir × 100%  
= 0,18591 × 100%  
= 0,18591 m<sup>3</sup>

Vol. pasir tersisa = Vol. pasir – vol. Limbah batu  
= 0,18591 m<sup>3</sup> – 0,18591 m<sup>3</sup> = 0 m<sup>3</sup>

Berat limbah batu = Vol. limbah batu × (BJ limbah batu × 1000)  
= 0,18591 × (3,15 × 1000)  
= 0,18591 m<sup>3</sup> × 3.154,85669 kg/m<sup>3</sup>  
= 586,52367 Kg

Berat pasir = Vol. pasir tersisa × (BJ pasir × 1000)  
= 0 × (2,58 × 1000)  
= 0 m<sup>3</sup> × 2.577,93606 kg/m<sup>3</sup> = 0 Kg

- Kebutuhan superplasticizer  
Banyak nya superplasticizer = 10 ml/kg
- Kebutuhan air  
Berat air = 75% dari total kebutuhan air  
= 203 kg × 75% = 152,3 kg

**Tabel 27.** Kebutuhan variasi 100% beton limbah batu + *Superplasticizer* 400 ml

	kebutuhan persatu kubik beton	kebutuhan persatu selinder beton	kebutuhan 12 selinder
W semen	411,784289 kg	10,91524 kg	32,74573 kg
W pasir	0,00 kg	0,00 kg	0,00 kg
W kerikil	1.148,44277 kg	30,44199 kg	91,32597 kg
W limbah batu	586,523675 kg	15,54709 kg	46,64128 kg
W air	152,250000 kg	4,035719 kg	12,10716 kg
W superplasticizer	4,11784 kg	0,10915 kg	0,32746 kg

- **Nilai Slump**

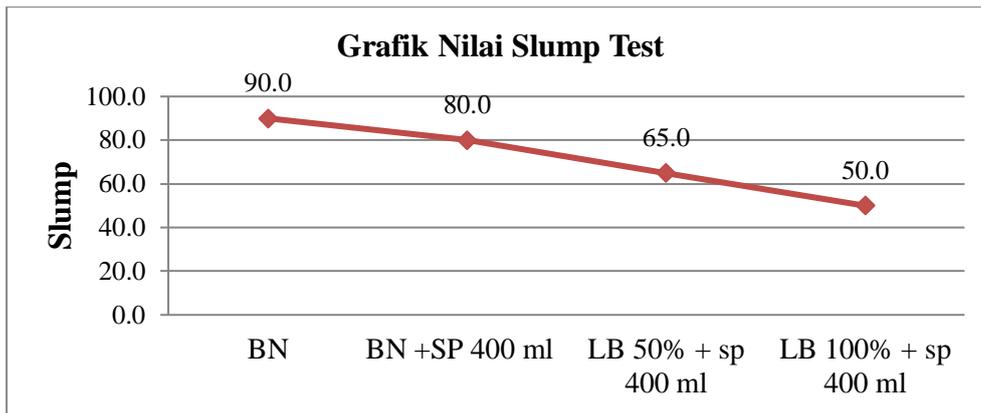
Pengujian nilai *Slump test* dilakukan dengan menggunakan kerucut *abrams*, dengan membasahi kerucut *abrams* terlebih dahulu kemudian menempatkannya ditempat yang rata. Kemudian diisi dengan beton segar sebanyak 3 lapis, setiap lapisan diisi 1/3 dari volume kerucut *abrams* dan ditusuk sebanyak 25 kali dan penusukan dilakukan hingga mencapai bagian bawah dari setiap lapisan setelah pengisian kerucut selesai bagian atasnya diratakan. Dalam waktu sekitar 30 detik kerucut diangkat lurus vertikal secara perlahan, kemudian tentukan nilai *slump* dengan cara mengukur tinggi campuran selisih dengan tinggi kerucut.

**Tabel 28.** Hasil pengujian nilai Slump test (Sumber: Hasil olah laboratorium 2022)

No	Variasi Campuran beton	Waktu campur (menit)	Slump rencana (mm)	Slump rata-rata lapangan (mm)
1	BN	10	75 – 100	90,0
2	BN + SP 400 ml			80,0
3	LB 50% + SP 400ml			65,0
4	LB 100% + SP 400ml			50,0

Berdasarkan tabel 17. diatas memberikan penjelasan tentang perbandingan nilai *Slump test* antara masing-masing variasi. Dimana pada beton normal dan beton dengan campuran *superplasticizer (no drop plaston)* didapatkan nilai *Slump test* yang memenuhi slump rencana, sedangkan pada penggunaan limbah batu dengan persentase yang berbeda dengan adanya campuran *superplasticizer (no drop plaston)* maka nilai *Slump test* terjadi penurunan dan tidak memenuhi *slump* rencana.

Jika dilihat pada gambar 22, menunjukkan bahwa nilai *slump* pada beton dengan adanya penggunaan *superplasticizer* pada beton normal maupun dengan penggunaan limbah batu sebagai substitusi agregat halus lebih kecil dari nilai slump pada beton normal, hal ini menunjukkan bahwa dari setiap adanya variasi campuran superplasticizer dan juga semakin banyak persentase penggunaan limbah batu sebagai substitusi agregat halus akan semakin rendah nilai slump, semakin rendah nilai slump maka semakin kecil workability suatu pekerjaan, akan tetapi semakin tinggi nilai kuat tekan beton.



**Gambar 22.** Perbandingan nilai slump pada setiap variasi

- **Kuat Tekan**

Setelah melakukan pembuatan dan perawatan benda uji, selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan benda uji tersebut. Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat benda uji berumur 3 hari, 14 hari dan 28 hari dengan sebanyak 12 sampel yang terdiri dari 4 variasi campuran yaitu beton normal, beton normal+ *superplasticizer* 400 ml, limbah batu 50%+*Superplasticizer* 400ml dan limbah batu 100%+*Superplasticizer* 400 ml. Untuk masing-masing variasi campuran dibuat 3 sampel untuk kuat tekan silinder dengan ukuran benda uji 150 x 300 mm. Sebelum melakukan uji kuat tekan beton maka terlebih dahulu melakukan penimbangan benda uji untuk setiap variasi yang akan dijadikan sampel uji.

Adapun hasil dari pengujian kuat tekan yang terdiri dari beton normal, beton normal+ *superplasticizer* 400 ml, limbah batu 50%+*Superplasticizer* 400ml dan limbah batu 100%+*Superplasticizer* 400 ml dengan 3, 14, 28 hari perawatan yaitu sebagai berikut:

- **Beton normal**

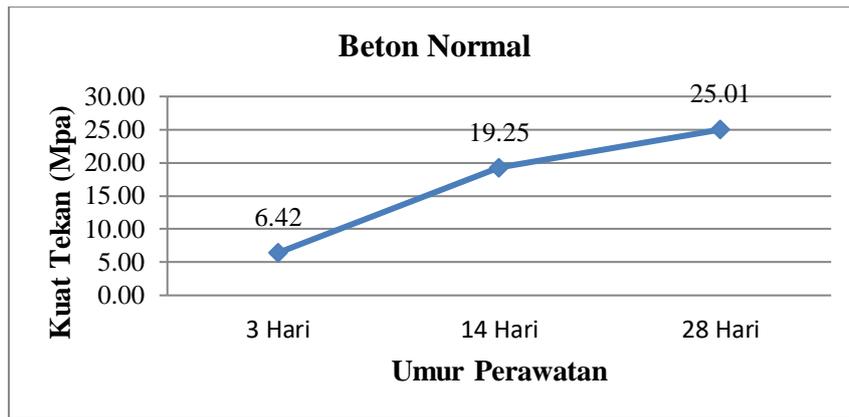
Berdasarkan hasil penelitian, kuat tekan rata-rata pada beton normal yang didapat pada pengujian 3, 14 dan 28 hari ialah sebagai berikut:

**Tabel 29.** Rekap hasil kuat tekan beton normal

No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'c (MPa)
1	3 Hari	11,841	113,33	6,42
2	14 Hari	12,427	340	19,25
3	28 Hari	12.192	442,57	25,01

Pada pengujian sampel uji dengan beton normal dengan silinder ukuran 15 x 30 cm dengan jumlah sampel 3 buah didapat kuat tekan dengan rata-rata 6,42 MPa untuk umur 3 hari, 19,25 MPa untuk umur 14 hari, dan 25,01 MPa untuk umur 28 hari, memenuhi kuat tekan yang diinginkan dengan grafik.

Pada grafik pada gambar 23, dapat dijelaskan bahwa beton normal mengalami peningkatan kuat tekan dari umur 3 hari ke umur 14 hari sebesar 12,83 Mpa atau 33,350% sedangkan untuk umur 14 hari ke 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 5,76 Mpa atau 76,962%.



**Gambar 23.** Grafik pengujian kuat tekan beton normal

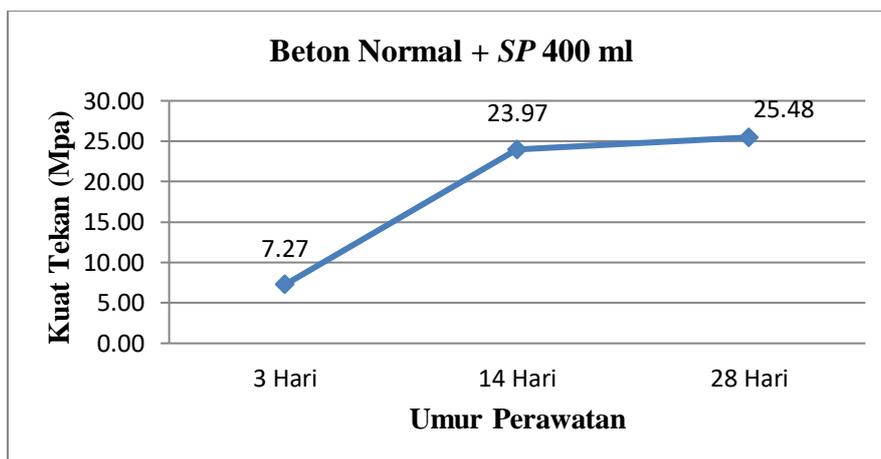
- **Beton normal + *superplasticizer* 400 ml**

Berdasarkan hasil penelitian, kuat tekan rata-rata pada beton 25% limbah beton yang didapat pada pengujian 3, 14 dan 28 hari ialah sebagai berikut:

**Tabel 30.** Rekap hasil kuat tekan beton normal + *superplasticizer* 400 ml

No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'c (MPa)
1	7 Hari	12,523	128,33	7,27
2	14 Hari	12,578	423,33	23,97
3	28 Hari	12,603	450,00	25,48

Pada pengujian sampel uji dengan 50% Limbah batu dengan ukuran 15 x 30 cm dengan jumlah sampel 3 buah didapat kuat tekan dengan rata-rata 7,27 MPa untuk umur 3 hari, 23,97MPa untuk umur 14 hari, dan 25,48 MPa untuk umur 28 hari, tidak memenuhi kuat tekan yang direncanakan dengan grafik sebagai berikut:



**Gambar 24.** Grafik pengujian kuat tekan beton normal tambahan *superplasticizer* 400 ml

Pada grafik 24, diatas dapat dijelaskan bahwa beton dengan 25% limbah beton mengalami peningkatan kuat tekan dari umur 3 hari ke umur 14 hari sebesar 16,7Mpa atau 30,329% sedangkan untuk umur 14 hari ke 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 1,51 Mpa 94,093%.

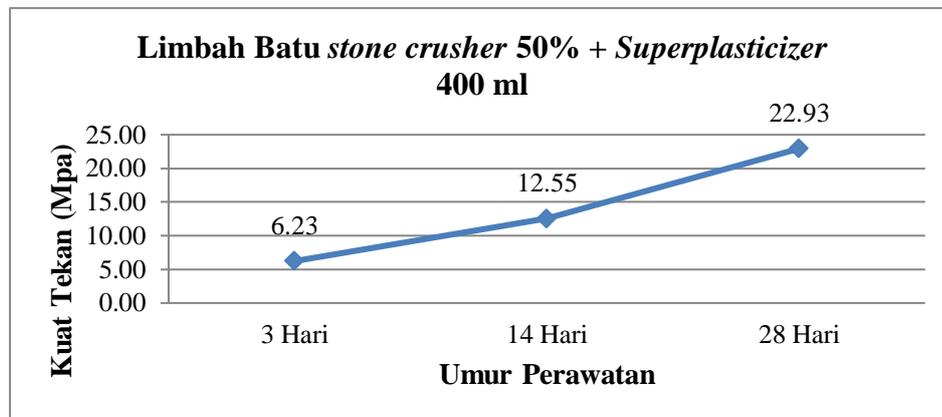
- **Limbah beton 50% + Superplasticizer 400 ml**

Berdasarkan hasil penelitian, kuat tekan rata-rata pada Limbah batu 50% + Superplasticizer 400 ml yang didapat pada pengujian 3, 14 dan 28 hari ialah sebagai berikut:

**Tabel 31.** Rekap hasil kuat tekan beton Limbah batu 50% + Superplasticizer 400 ml

No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'c (MPa)
1	7 Hari	12,337	110	6,23
2	14 Hari	12,538	221,16	12,55
3	28 Hari	12,522	405	22,93

Pada pengujian sampel uji dengan Limbah batu 50% + Superplasticizer 400 ml dengan ukuran 15 x 30 cm dengan jumlah sampel 3 buah didapat kuat tekan dengan rata-rata 6,23 Mpa untuk umur 3 hari, 12,55 MPa untuk umur 14 hari, dan 22,93 MPa untuk umur 28 hari, dimana telah memenuhi kuat tekan yang direncanakan dengan grafik sebagai berikut:



**Gambar 25.** Grafik pengujian kuat tekan Limbah beton stone crusher 50% + Superplasticizer 400 ml

Pada grafik 25, diatas dapat dijelaskan bahwa Limbah batu 50% + Superplasticizer 400 ml mengalami peningkatan kuat tekan dari umur 3 hari ke umur 14 hari sebesar 6,32 Mpa atau 49,641% sedangkan untuk umur 14 hari ke 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 10,38 Mpa atau 54,731%.

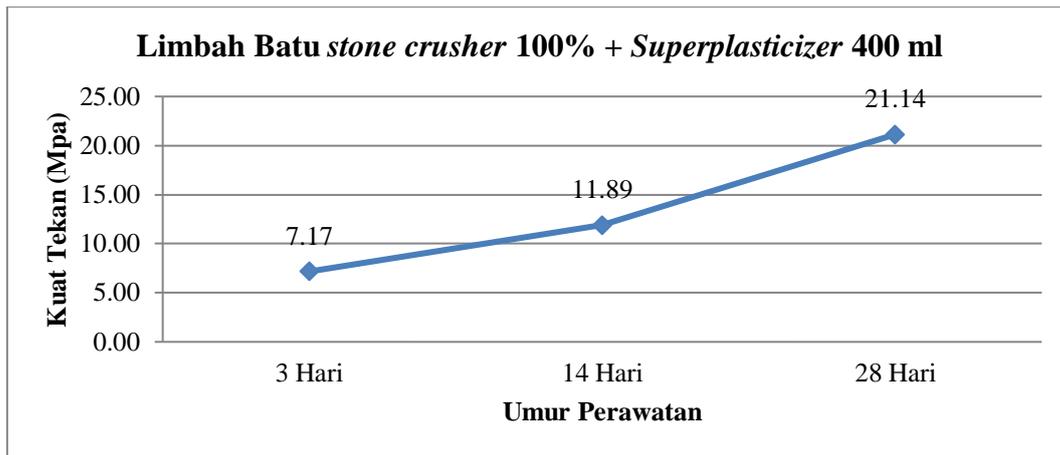
- **Limbah batu stone crusher 100% + Superplasticizer 400 ml**

Berdasarkan hasil penelitian, kuat tekan rata-rata pada Limbah batu 100% + Superplasticizer 400 ml yang didapat pada pengujian 3, 14 dan 28 hari ialah sebagai berikut:

**Tabel 32.** Rekap hasil kuat tekan Limbah beton 100% + Superplasticizer 400 ml

No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'c (MPa)
1	3 Hari	12,530	126,67	7,17
2	14 Hari	12,110	210	11,89
3	28 Hari	12,513	373,33	21,14

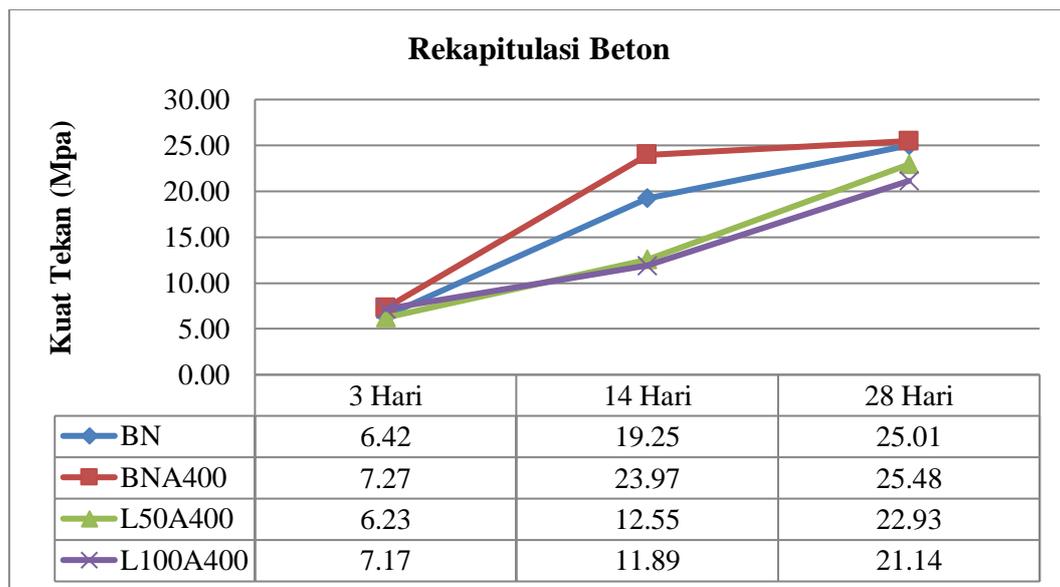
Pada pengujian sampel uji dengan Limbah batu 100% + Superplasticizer 400 ml dengan ukuran 15 x 30 cm dengan jumlah sampel 3 buah didapat kuat tekan dengan rata-rata 7,17 MPa untuk umur 3hari, 11,89 MPa untuk umur 14 hari, dan 21,14 MPa untuk umur 28 hari, tidak memenuhi kuat tekan yang direncanakan dengan grafik sebagai berikut:



**Gambar 26.** Grafik pengujian kuat tekan Limbah batu stone crusher 100% + Superplasticizer 400 ml

Pada grafik 26, diatas dapat dijelaskan bahwa Limbah batu 100% + Superplasticizer 400 ml mengalami peningkatan kuat tekan dari umur 3 hari ke umur 14 hari sebesar 4,72 Mpa atau 60,302% sedangkan untuk umur 14 hari ke 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 9,25 Mpa atau 56,244%.

Berikut adalah grafik gabungan pengaruh limbah batu dan superplasticizer:



**Gambar 27.** Grafik gabungan pengaruh limbah beton dan superplasticizer

Pada grafik 27, diatas dapat dijelaskan bahwa beton umur 3 hari mengalami peningkatan kuat tekan dari beton normal sebesar 11,69% pada beton normal + superplasticizer 400, kemudian mengalami penurunan 16,69% pada limbah batu *stone crusher* 50% + Superplasticizer 400 ml dan mengalami penurunan 13,11% pada limbah batu *stone crusher* 100% + Superplasticizer 400 ml.

Pada beton umur 14 hari mengalami peningkatan kuat tekan dari beton normal sebesar 1,84% pada beton normal + superplasticizer 400, kemudian mengalami penurunan 90,99% pada limbah batu *stone crusher* 50% + Superplasticizer 400 ml dan mengalami penurunan 5,55% pada limbah batu (*stone crusher* 100% + Superplasticizer 400 ml).

Pada beton umur 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan dari beton normal sebesar 1,84% pada beton normal + superplasticizer 400, kemudian mengalami penurunan 11,12% pada limbah batu *stone crusher* 50% + Superplasticizer 400 ml dan mengalami penurunan 8,47% pada limbah batu *stone crusher* 100% + Superplasticizer 400 ml.

Dari penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa penambahan limbah batu 50% dan 100% dengan masing-masing *additive* 400 ml dapat menurunkan kuat tekan beton, hal ini disebabkan karena kualitas agregat limbah batu *stone crusher* cenderung lebih rendah dibandingkan agregat alami sehingga menyebabkan kualitas beton menurun.

Pada beton normal ditambahkan *superplasticizer* 400 ml dapat meningkatkan kembali kuat tekan beton yang sebelumnya mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena sifat dari *superplasticizer* yang dapat meningkatkan kualitas beton.

Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan beton normal dengan *additive superplasticizer* 400 ml lebih optimal digunakan dibandingkan penggunaan limbah batu *stone crusher* 50% dan 100% dengan masing-masing *additive superplasticizer* 400 ml dapat menurunkan kualitas beton.

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

### **Kesimpulan**

Dari hasil penelitian yang telah dibahas diatas, dapat ditarik kesimpulan, yaitu sebagai berikut:

- Penggunaan limbah batu sebagai bahan substitusi agregat halus tidak berpengaruh signifikan terhadap capaian kuat tekan karakteristik beton sehingga layak digunakan sebagai bahan substitusi agregat halus.
- Penggunaan *superplasticizer* pada beton normal mempercepat progres pengerasan beton hingga mampu mencapai 94%  $f_c$  pada umur 14 hari. Sedangkan penggunaan *superplasticizer* pada beton limbah batu tidak berpengaruh signifikan terhadap peningkatan progres pengerasan beton, bahkan progresnya lebih lambat dari progres pengerasan beton normal tanpa aditiv pada umur 14 hari.

### **Saran**

- Perlu dilakukan penelitian lanjutan penggunaan limbah batu *stone crusher* sebagai substitusi agregat halus tanpa penambahan *additive*.
- Disarankan penelitian selanjutnya menggunakan bahan *additive* yang berbeda untuk menghasilkan mutu beton yang lebih maksimal.
- Disarankan penggunaan campuran limbah batu (*stone crusher*) dengan variasi lebih sedikit dari 50% guna untuk meningkatkan kuat tekan beton

## DAFTAR PUSTAKA

- Afif, A. (2019). *Pengaruh Abu Batu Sebagai Substitusi Agregat Halus Dan Penambahan Superplasticizer Terhadap Karakteristik Beton Mutu Tinggi (Abu Batu Effect As Substitution Of Fine Aggregate And Addition Of Superplasticizer Characteristics On High Quality Concrete)*. Universitas Islam Indonesia.
- Asrullah, d.r. (2021). Analisis kuat tekan beton Fc' 25 Mpa dengan penambahan abu batu dan semen mortar utama type-400. *jurnal teknik sipil UNPASL/ Vol. 11 |No. 2 |Nopember 2021*.
- American Standard Testing and Material, 1997, *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*, ASTM Committee C-9. West Conshohocken.
- Bayu Zamzam Nurjaman, R. W. (2019). Pengaruh Penggunaan Agregat Abu Batu sebagai Pengganti Agregat Halus Alami Terhadap Sifat-sifat Beton. *Jurnal konstruksi, Vol. 19, No. 1, 2019*.
- Chairani Sabrina Mecha, T.M. (2018). Pengaruh penambahan superplasticizer dan Abu Batu sebagai Filler untuk Meningkatkan Kuat Tekan Beton Normal. *Menara: Jurnal Teknik Sipil, Vol. XIII No. 1, Januari 2018*, 10-17.
- Handayani, F. (2019). Manfaat limbah abu batu sebagai tambahan material bahan bangunan. *program studi magister teknik sipil ULM Banjarmasin, 26 oktober 2019*.
- Badan Standarisasi Nasional, 1990, *Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar (SNI 03-1968-1990)*, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2000, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (SNI 03-2834-2000)*, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002, *Spesifikasi agregat ringan untuk batu cetak beton pasangan dinding*. SNI 03-6821-2002.
- Badan Standarisasi Nasional, (2004), Semen portland. In *Panitia Teknis S (Vol. 33)*.
- Badan Standarisasi Nasional, 2008, *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar (SNI 1969:2008)*, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2008, *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus (SNI 1970:2008)*, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2008, *Cara Uji Berat Isi, Volume Produksi Campuran, dan Kadar Udara Beton*. (SNI 03-1973-2008), Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2008, *Cara Uji Slump Beton*. (SNI 03-1972-2008), Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2011, *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*. (SNI 1974-2011), Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2012, *Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa*. (SNI 7656: 2012).
- Badan Standarisasi Nasional, 2013, *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013)*, Jakarta.
- Diawarman, D., Anggrainy, R., & Afif, K. (2021). Analisa Kuat Tekan Beton Fc'25 MPA dengan Penambahan Abu Batu dan Semen Mortar Utama Type 400. *Jurnal Teknik Sipil, 11(2)*, 60–66.
- Dzikri, M., & Sofianto, M. F. (2018). Pengaruh Penambahan Superplasticizer pada Beton dengan Limbah Tembaga (Copper Slag) terhadap Kuat Tekan Beton sesuai Umurnya. *Rekayasa Teknik Sipil, 2(2/REKAT/18)*.

- Ha, A. H., Sambodj, R. S., & Aditya, F. (2017). Pengaruh Penggunaan Abu Batu Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu K-350. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan V*.
- Harjono, J. (2017). *Pengaruh Abu Batu Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Sifat Mekanik Beton*. UAJY.
- Khalid, S., & Sugiarto, R. (2019). Analisa Pengaruh Bahan Tambah Campuran Beton (Additive) Pozzolih Ri 100 Type D Terhadap Mutu Beton. *Jurnal KaLIBRASI-Karya Lintas Ilmu Bidang Rekayasa Arsitektur, Sipil, Industri*, 2(1).
- Muhammaddzikri, M. f. (n.d.). pengaruh penambahansuperplasticizer pada beton dengan limbah tembaga (copperslag) terhadap kuat tekan neton sesuai umurnya.
- Ikbal, M. (2017). *Pengaruh Penambahan Superplasticizer Viscocrete 3115N Terhadap Kuat Tekan Optimum Self Compacting Concrete*.
- MuhammadMalikIbahim, P. S. (2019). Studi Perencanaan Campuran Beton Menggunakan Abu Batu sebagai Agregat Halus. *Institut Teknologi Nasional, jurusan teknik sipil, No.3. Vol.5, Sebtember 2019*.
- Mulyono, T. (2004). *Teknologi beton*. Andi, Yogyakarta.
- Murdock, L. J., & Brook, K. M. (1999). *Bahan dan praktek beton*.
- Nasional, B. S. (2019). Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan (SNI 2847: 2019). In *BSN. Jakarta. (Indonesian)*.
- Nawy, E. G., Hardani, W., & Suryoatmono, B. (2001). *Beton prategang: suatu pendekatan mendasar*. Erlangga.
- Rajin Sugiarto, K. S. (n.d.). analisa pengaruh bahantambah campuran beton (additive) pozzolih Ri100 Type Terhadap mutu beton. *fakultasteknik, universitas borobudur*.
- Rosie Arizki Intan Sari Steenie E, W. R. (2015). Pengaruh jumlah semendan FAS terhadap kuat tekan beton dengan agregat yang berasal dari sungai. *jurnal sipil statik Vol. 3, No. 1, januari 2015*.
- Suratmin, S., Satyarno, I., & Tjokrodinuljo, K. (2007). Pemanfaatan Kulit Ale-Ale sebagai Agregat Kasar dalam Pembuatan Beton. *Civil Engineering Forum Teknik Sipil*, 17(2), 530–538.
- Sri umiati, r. t. (2019). pengaruh penambahansuperplasticizer terhadap kuat tekan beton. *ACE Conference, 29 oktober 2019, padang sumatra barat*.
- Suratmin, S., Satyarno, I., & Tjokrodinuljo, K. (2007). Pemanfaatan Kulit Ale-Ale sebagai Agregat Kasar dalam Pembuatan Beton. -La *Civil Engineering Forum Teknik Sipil*, 17(2), 530–538.
- Tjokrodinuljo, K. (1996). *Teknologi beton*. Nafiri, Yogyakarta.
- Triaswati, M. N., Harijanto, D., & Ismoyo, W. (2019). Penggunaan abu batu untuk mengurangi agregat pasir alami pada campuran beton dengan penambahan zat additive type D. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, 3.
- Wuryati, S., & Candra, R. (2001). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Kansius.

**Lampiran-lampiran**  
**Pemeriksaan berat jenis semen**



**Pemeriksaan kering permukaan (SSD) pada agregat halus**



**Percobaan Analisa saringan limbah batu *stone crusher***



Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan limbah batu (*stone crusher*)



Pemeriksaan berat volume limbah batu (*stone crusher*)



**Pemeriksaan kadar air limbah batu (*stone crusher*)**



**Sampel Bendah Uji**



**Pemeriksaan nilai slump**



**Pengujian kuat tekan beton**



### Rasio Faktor Air Semen (w/c)

Kekuatan beton umur 28 hari, MPa*	Rasio air-semen (berat)	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
40	0,42	-
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

### Hasil pengujian nilai Slump test (Sumber: Hasil olah laboratorium 2022)

No	Variasi Campuran beton	Waktu campur (menit)	Slump rencana (mm)	Slump rata-rata lapangan (mm)
1	BN	± 10	75 – 100	90,0
,2	BN + SP 400 ml			80,0
3	LB 50% + SP 400ml			65,0
4	LB 100% + SP 400ml			50,0

***HAKI KUAT TEKAN BETON ADDITIVE MENGGUNAKAN MENGGUNAKAN LIMBAH BATU  
STONE CRUSHER SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT HALUS (ADNAN, JUWIKSAN ARISANDY)***