

## Studi Eksperimental Kuat Tekan Beton dengan Mensubstitusikan Limbah Batu Bata Pada Semen

**Haris**

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Madako Tolitoli  
Jl. Kampus Umada No. 1 Telp 0453-2441/2442 Tolitoli, e-mail haris.umada@gmail.com

**Suratnan Tahir**

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palu  
Jl. Hangtuah No. 29 Telp 0451-426504 Palu 94118, e-mail tekniksuratnan@gmail.com

### ABSTRAK

*Disetiap pembangunan yang menggunakan bahan batu bata dalam kegiatan konstruksi biasanya meninggalkan sisa-sisa dari potongan batu bata, sehingga bahan tersebut hanya menjadi limbah di lokasi pekerjaan dan terkadang hanya dijadikan untuk bahan timbunan. Oleh karena itu penulis memperhatikan peluang untuk melakukan eksperimen terhadap limbah batu bata agar bisa dijadikan bahan pengganti semen. Untuk mengetahui pengaruh pengganti/substitusi serbuk limbah batu bata pada semen terhadap kuat tekan beton dan Untuk mengetahui persentase pengganti/substitusi serbuk limbah batu bata agar diperoleh kuat tekan beton optimum. Dalam penelitian ini menggunakan bahan-*

*campuran beton normal yang terdiri dari air, semen, dan agregat kasar. air yang digunakan untuk mencampur beton diambil dari saluran PDAM. Untuk perekat hidrolik digunakan semen Portland tipe I berdasarkan SNI 15-2049-2000. Untuk mensubstitusikan serbuk limbah batu bata pada semen Portland. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada hubungan persentase campuran serbuk batu bata terhadap nilai kuat tekan pada pengganti/substitusi serbuk limbah batu bata 25% mencapai kuat tekan beton terendah yakni mengalami penurunan 19,55 MPa dari beton normal yang kuat tekannya mencapai 26,27 MPa atau mengalami penurunan 25,59%. Penelitian menunjukkan bahwa semakin banyak serbuk limbah batu bata yang digunakan sebagai pengganti semen terhadap campuran beton, maka semakin menurun nilai kuat tekannya. Dari hasil tersebut juga menunjukkan bahwa penurunan pada kuat tekan beton sudah terlihat pada campuran serbuk limbah batu bata 5% dengan nilai kuat tekan 24,61 MPa dan 21,71 MPa untuk hasil campuran serbuk limbah batu bata 15%. Adapun massa yang diperoleh dari penelitian ini pada komposisi yang digunakan mengalami penurunan massa, artinya semakin besar kandungan serbuk limbah batu bata maka semakin ringan beton tersebut. Namun pada komposisi 15% mengalami peningkatan massa dengan nilai 8062,2 gram sedangkan massa dikomposisi 5% dan 25% turun, yakni dengan nilai 8010,5 gram untuk komposisi 5% dan 7788,3 gram untuk komposisi 25%.*

**Kata Kunci:** Limbah Batu Bata, Semen, Kuat tekan

## 1. Pendahuluan

### 1.1. Latar Belakang

Penggunaan beton sebagai bahan bangunan telah lama dikenal dan paling banyak dipergunakan. Hal ini dikarenakan beton memiliki sifat mudah dibentuk sesuai dengan keinginan, bahan dasar penyusun, mudah didapatkan dan mudah dalam perawatan. Beton merupakan bahan yang sangat kuat, tahan karat dan tahan terhadap api. Selain itu, kelebihan beton yang lebih menonjol dibandingkan bahan konstruksi yang lain yaitu memiliki kuat tekan yang tinggi.

Beton merupakan batuan yang dibuat dari campuran semen, air dan agregat, baik agregat halus (pasir) maupun agregat kasar (kerikil). Selain itu, terkadang dalam campuran beton juga diberi bahan tambah yang sangat bervariasi mulai dari bahan kimia tambahan, serat, sampai bahan buangan non kimia pada

perbandingan tertentu. Campuran tersebut apabila dituang ke dalam cetakan kemudian dibiarkan akan mengeras seperti batuan. Pengerasan tersebut terjadi karena peristiwa reaksi kimia antara air dan semen sebagai perekat dengan agregat sebagai bahan pengisi, sehingga butiran-butiran agregat saling terikat dengan kuat dan terbentuklah masa yang kuat.

Disetiap pembangunan yang menggunakan bahan batu bata dalam kegiatan konstruksi biasanya meninggalkan sisa-sisa dari potongan batu bata, sehingga bahan tersebut hanya menjadi limbah di lokasi pekerjaan dan terkadang hanya dijadikan untuk bahan timbunan, oleh karena itu penulis memperhatikan peluang untuk melakukan eksperimen terhadap limbah batu bata agar bisa dijadikan bahan pengganti semen, berdasarkan hal tersebut, maka penulis melakukan penelitian tentang “Studi Eksperimental Kuat Tekan Beton Dengan Mensubstitusikan Limbah Batu Bata Pada Semen” yang

diharapkan dalam penelitian ini limbah batu bata dapat dimanfaatkan sebagai bahan alternatif penyusun beton.

### 1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas, maka dapat diidentifikasi rumusan masalah sebagai berikut :

- 1) Bagaimana pengaruh pengganti/substitusi serbuk limbah batu bata pada semen terhadap kuat tekan beton.
- 2) Berapakah persentase pengganti/substitusi serbuk limbah batu bata agar diperoleh kuat tekan beton optimum.

### 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang dicapai dalam penelitian ini adalah :

- 1) Untuk mengetahui pengaruh pengganti/substitusi serbuk limbah batu bata pada semen terhadap kuat tekan beton.
- 2) Untuk mengetahui persentase pengganti/substitusi serbuk limbah batu bata agar diperoleh kuat tekan beton

### 1.4. Batasan Masalah

Pada penelitian ini perlu dilakukan pembatasan masalah sehingga penelitian yang dilakukan tidak meluas dan menjadi jelas batasannya. Adapun yang menjadi batasan masalah, sebagai berikut :

- 1) Semen yang digunakan adalah semen Portland Type I.
- 2) Agregat halus (pasir) berasal dari Ex. S. Kalangkangan.
- 3) Agregat kasar (batu pecah) dengan ukuran maksimal 10 – 20 mm, berasal dari PT. Permata Dwi Kwarray yang berlokasi di Desa Kapas Kec. Dakopamean Kab. Tolitoli.
- 4) Air yang digunakan dari Laboratorium Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Tolitoli.
- 5) Penelitian dibatasi pada pengujian nilai kuat tekan beton.
- 6) Penelitian ini dibatasi untuk tidak meneliti senyawa kimia pada batu bata.
- 7) Batu bata yang digunakan hasil dari limbah konstruksi.
- 8) Persentase serbuk limbah batu bata : 5 %, 15 %, dan 25 % dari jumlah berat semen yang digunakan, dan dari tiap variasi serbuk limbah batu bata digunakan 4 benda uji.
- 9) Pengujian kuat tekan pada benda uji dilakukan masing-masing pada umur beton 7 dan 28 hari.
- 10) Jumlah seluruh benda uji kuat tekan adalah 32 benda uji.
- 11) Komposisi yang dipakai mengacu pada SNI – 7394 – 2008 – HSP – Beton mutu  $f'_c = 19,3$  MPa (K225) dengan Slump  $(12 \pm 2)$  cm dan Faktor air semen (*fas*) 0.58.
- 12) Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Tolitoli.

### 1.5. Manfaat Penelitian

Diharapkan penelitian ini dapat memberikan manfaat untuk :

- 1) Memberikan informasi tentang pengaruh penambahan limbah batu bata dalam campuran beton terhadap nilai kuat tekan.
- 2) Memberikan informasi tentang perbandingan nilai kuat tekan antara beton yang menggunakan 100 % semen Portland dan beton yang menggunakan varian 5 %, 15 %, dan 25 % serbuk limbah batu bata.
- 3) Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan suatu pandangan dan bukti nyata tentang penggunaan serbuk limbah batu bata sebagai bahan pengganti semen Portland dalam campuran beton.
- 4) Memberikan manfaat ilmu terutama di bidang konstruksi beton.

### 1.6. Keaslian Penelitian

Beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan limbah batu bata terhadap kuat tekan beton pernah dilakukan sebelumnya seperti :

- 1) Ahmad Syarif, Chandra Setyawa, Ida Farida, (2016) Sekolah Tinggi Teknologi Garut. Melakukan penelitian tentang “Analisa Uji Kuat Tekan Beton Dengan Bahan Tambahan Batu Bata Merah”. Dengan menggunakan batu bata merah sebagai bahan pengganti agregat halus.
- 2) Siti Nurlina, Taufik Hidayat, Hendro Suseno, (2014) Universitas Brawijaya. Melakukan penelitian tentang “Pengaruh Penggunaan Limbah Batu Bata Sebagai Semen Merah Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Mortar”. Dengan menggunakan limbah batu bata sebagai semen merah untuk bahan pengganti semen pada campuran mortar.

Perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian ini terletak pada proses pencampuran, dimana dalam penelitian ini penulis men substitusikan serbuk limbah batu bata pada semen Portland dengan varian 5 %, 15 % dan 25 % pada *fas* 0.58 umur 7 dan 28 hari.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1. Pengertian Umum Beton

Beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau bahan tambahan membentuk massa padat (*SK SNI T-15-1991-03*).

Beton didapat dari pencampuran bahan – bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu pecah atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung. Nilai kekuatan serta daya tahan (*durability*) beton merupakan fungsi dari banyak faktor, di antaranya ialah nilai banding campuran dan mutu bahan susun, metode pelaksanaan pengecoran, pelaksanaan finishing, temperature, dan kondisi perawatan pengerasannya (*Istimawan, Dipohusodo. 1994-1996*).

Nilai kuat tekan beton lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya, dan beton merupakan bahan sifat getas (rapuh). Nilai kuat tariknya hanya berkisar 9 % - 15 % saja dari kuat tekannya. Pada penggunaan sebagai

komponen struktural bangunan, umumnya beton dapat bekerja sama dan dapat membantu kelemahannya, terutama pada bagian yang menahan gaya tarik, sedangkan beton diperhentikan hanya mampu menahan gaya tekan. Komponen struktur beton dengan kerja sama seperti itu, disebut sebagai beton bertulang baja atau lazim disebut sebagai beton bertulang. Dalam perkembangannya, didasarkan pada tujuan peningkatan kemampuan kekuatan komponen, sering juga dijumpai beton bertulang baja bersama – sama ditempatkan pada bagian struktur dimana keduanya menahan gaya tekan (Istimawan, Dipohusodo. 1994).

## 2.2. Pengertian Umum Batu Bata

Batu bata merupakan salah satu elemen (material) pendukung dalam pendirian sebuah bangunan, terbuat dari tanah hitam (humus) dan tanah kuning (tanah liat). Bahan utama batu merah adalah tanah dan air. Bentuk dan ukuran tanah bervariasi. (Subandi, 2013).

Batu bata merah adalah salah satu unsur bangunan dalam pembuatan konstruksi bangunan yang terbuat dari tanah lempung/tanah liat ditambah air dengan atau tanpa bahan campuran lain melalui beberapa tahap pengerjaan, seperti menggali, mengolah, mencetak, mengeringkan, membakar pada temperatur tinggi hingga matang dan berubah warna, serta akan mengeras seperti batu setelah didinginkan hingga tidak dapat hancur lagi bila direndam dalam air. (Ramli, 2007).

Definisi batu bata menurut SNI 15-2094-2000, SII -0021-78 merupakan suatu unsur bangunan yang diperuntukkan pembuatan konstruksi bangunan dan yang dibuat dari tanah dengan atau tanpa campuran bahan-bahan lain, dibakar cukup tinggi, hingga tidak dapat hancur lagi bila direndam dalam air.

## 2.3. Peneliti Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan pengaruh limbah batu bata terhadap kuat tekan beton pernah dilakukan sebelumnya seperti :

- 1) Ahmad Syarif, Chandra Setyawa, Ida Farida, (2016) Sekolah Tinggi Teknologi Garut. Melakukan penelitian tentang “Analisa Uji Kuat Tekan Beton Dengan Bahan Tambahan Batu Bata Merah”. Beton adalah bagian dari bangunan yang kita jumpai pada proses pembangunan seperti bangunan gedung, jalan dan jembatan. Kuat tekan beton adalah kemampuan beton keras untuk menahan gaya tekan dalam setiap satu satuan luas permukaan beton. Diharapkan dapat mengetahui sejauh mana campuran pengganti agregat halus dengan limbah batu bata merah pada kekuatan tekan hasil limbah batu bata merah (10 %, 25 %, 50%) dengan Beton K-200. Dari hasil ketiga benda uji bahan tambahan limbah batu bata merah (10%, 25% 50%) semuanya menunjukkan hasil rata-rata relative rendah pada minggu pertama (7 hari) akan tetapi pada minggu kedua (14 hari) dan ketiga (28 hari) mengalami peningkatan yang cukup signifikan dengan hasil rata-rata 200 kg/cm<sup>2</sup>. Dengan demikian limbah batu bata merah layak sebagai pengganti

bahan pasir tidak lebih dari 25% campuran pengganti pasirnya.

- 2) Siti Nurlina, Taufik Hidayat, Hendro Suseno, (2014) Universitas Brawijaya. Melakukan penelitian tentang “Pengaruh Penggunaan Limbah Batu Bata Sebagai Semen Merah Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Mortar”. Penggunaan semen sebagai bahan perekat mortar dinilai mahal dan menambah dampak negatif bagi lingkungan, mengingat pembuatan semen pada saat pembakaran kapur pada temperatur tinggi yang menghasilkan gas emisi CO<sub>2</sub>. Semen yang digunakan selama ini tentunya banyak menghasilkan gas emisi CO<sub>2</sub> yang berimbas pada meningkatnya resiko pemanasan global. Pemanfaatan limbah batu bata sebagai semen merah sangat berpotensi untuk dikembangkan. Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan limbah batu bata sebagai semen merah terhadap kuat tarik dan kuat tekan mortar. Setelah melakukan penelitian mengenai pengaruh penggunaan limbah batu bata sebagai semen merah terhadap kuat tekan dan kuat tarik langsung mortar (semen merah, kapur, pasir), maka dapat diambil kesimpulan:
  - a) Terdapat pengaruh dari variasi persentase penggunaan limbah batu bata sebagai semen merah terhadap kuat tekan maupun kuat tarik langsung mortar.
  - b) Kuat tekan mortar semen merah batu bata baru tidak berbeda nyata dengan kuat tekan mortar semen merah limbah batu bata, begitu juga dengan kuat tarik langsung mortar. Kandungan kimia yang tidak berbeda jauh antara semen merah limbah batu bata dengan semen merah baru, sehingga semen merah batu bata dapat digunakan dalam pembuatan mortar.

## 3. Landasan Teori

### 3.1. Bahan-bahan Penyusun Beton

#### 3.1.1. Semen Portland

Semen berasal dari kata "cement" dan dalam bahasa Inggrisnya yaitu pengikat/perekat. Kata *cement* diambil dari kata "cemenum" yaitu nama yang diberikan kepada batu kapur yang serbuknya telah dipergunakan sebagai bahan adukan lebih dari 2000 tahun lalu di negara Italia. Binder (perekat *hidraulis*) yaitu senyawa-senyawa yang terkandung didalam semen tersebut dapat bereaksi dengan air dan membentuk zat baru yang bersifat sebagai perekat terhadap batuan (Laintarawang, 2009).

Pada umumnya semen yang digunakan dalam pembuatan beton yaitu semen Portland. Karena semen portland adalah bahan pengikat organik yang sangat penting dipakai dalam bangunan – bangunan pada masa kini. Semen Portland adalah bahan pengikat hidrolig (*Hidrolic bending agent*) artinya dapat mengeras dengan adanya air. Pada pembuatan semen portland, batu kapur dan lempung atau batu karang, tanah liat kemudian digiling halus dan dicampur dengan air membentuk bubur (*slurry*). *Slurry* ini kemudian dibakar dalam sebuah tanur sampai menjadi klinker pada suhu ± 1450 °C. Klinker didinginkan dan kemudian digiling halus disertai penambahan 3-4 % *gips* untuk memperlambat hidrasi

komponen aluminat dari semen sehingga waktu pergeseran tidak berlangsung dengan cepat. Klinker *slury* yang dibakar dalam suatu *rotary klin* yang hasilnya berupa batu keras. Dari definisi Semen Portland (PC) dapat dilihat bahwa semen portland dibuat dari Cacareous seperti batu kapur (limestone atau chalk) dan bahan silika atau aluminium yang terdapat pada tanah liat (clay atau shale). Batu kapur mengandung komponen CaO, lempung mengandung komponen SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (oksida alumina) dan FeO<sub>3</sub> (oksida besi). Persyaratan-persyaratan semen :

- 1) Yang disebut semen hidrolis adalah suatu bahan pengikat yang mengeras jika bereaksi dengan air serta menghasilkan produk yang tahan air. Contoh-contoh semen hidrolis adalah semen portland, semen alumina, semen putih dll. Gips, bukan merupakan semen hidrolis, karena setelah mengeras bereaksi dengan air, produk ini larut dengan air. Kapur yang telah mengeras adalah tahan air tetapi mengerasnya kapur setelah bereaksi dengan karbon dioksida, bukan dengan air.
- 2) Komponen utama dari semen portland adalah :
  - a) Batu kapur yang mengandung komponen CaO (kapur, lime)
  - b) Lempung yang mengandung komponen SiO<sub>2</sub> (silika), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (oksida alumina), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (oksida besi).

Pada dasarnya proses pembuatan semen portland terdiri dari penggilingan, pencampuran menurut suatu proses tertentu dan pengawasan harus ketat. Dengan penggilingan dari klinker bulat yang berputar disertai pemanasan mencapai material akan menjadi klinker. Klinker ini dipindahkan dan digiling sampai halus (fine powder), disertai penambahan 3-5% gips (gypsum) untuk mengendalikan setting time akan menghasilkan semen portland yang siap untuk digunakan sebagai bahan pengikat dari campuran beton. Proses pembuatan semen juga dibedakan menurut basah dan kering :

- 1) Proses basah. Pada proses basah semua bahan baku yang ada dicampur dengan air, dihancurkan dan diuapkan kemudian dibakar dengan menggunakan bahan bakar minyak, bakar (*bunker crude oil*). Proses ini jarang digunakan karena masalah keterbatasan energi BBM.
- 2) Proses kering. Pada proses kering digunakan teknik penggilingan dan *blending* kemudian dibakar dengan bahan bakar batubara. Proses ini meliputi lima tahap pengelolaan yaitu :
  - a) Proses pengeringan dan penggilingan bahan baku di *rotary dryer* dan *roller meal*.
  - b) Proses pencampuran (*homogenizing raw meal*) untuk mendapatkan campuran yang homogen.
  - c) Proses pembakaran *raw meal* untuk menghasilkan terak (*clinker* : bahan setengah jadi yang dibutuhkan untuk pembuatan semen).
  - d) Proses pendinginan terak.
  - e) Proses penggilingan akhir di mana *clinker* dan *gypsum* digiling dengan *cement mill*.

Dari proses pembuatan semen di atas akan terjadi penguapan karena pembakaran dengan suhu mencapai 900 derajat Celcius sehingga menghasilkan : residu (sisa)

yang tak larut, sulfur trioksida, silika yang larut, besi dan aluminium oksida, oksida besi, kalsium, magnesium, alkali, fosfor, dan kapur bebas. Komponen-komponen Semen Portland:

- Trikalsium silikat (C<sub>2</sub>S)
- Dikalsium silikat (C<sub>3</sub>A)
- Trikalsium aluminat (C<sub>3</sub>A)
- Tetra Kalsium aluminat Ferit (C<sub>4</sub>AF)

Menurut *Laintarawang (2009)*, semen Portland terdiri dari 4 oksidasi utama yaitu:

- Kapur C<sub>a</sub>O (60 – 66) %
- Silika SiO<sub>2</sub> (19 – 25) %
- Alumina Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (3 – 8) %
- Besi Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1 – 5) %

Suatu semen jika diaduk dengan air akan terbentuk adonan pasta semen, sedangkan jika diaduk dengan air kemudian ditambah pasir menjadi mortar semen dan jika ditambah lagi dengan kerikil/batu pecah disebut beton. Bahan-bahan tersebut dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu bahan aktif dan bahan pasif. Kelompok aktif yaitu semen dan air, sedangkan yang pasif yaitu kerikil dan pasir (disebut agregat, agregat kasar dan agregat halus). Kelompok yang pasif disebut bahan pengisi sedangkan yang aktif disebut perekat/pengikat. Fungsi semen ialah untuk merekatkan butir-butir agregat agar menjadi suatu massa yang kompak/padat. Selain itu juga untuk mengisi rongga-rongga diantara butiran agregat. Walaupun semen hanya mengisi kira-kira 10 % saja dari volume beton, namun karena merupakan bahan yang aktif maka perlu dipelajari maupun dikontrol secara ilmiah (*Mustika, 2015*).

Menurut *Laintarawang (2009)*, jenis-jenis semen Portland secara umum yaitu:

- 1) *Ordinary Portland Cement*. Adalah semen Portland yang dipakai untuk semua macam konstruksi apabila tidak diperlukan sifat-sifat khusus seperti ketahanan terhadap silfat, panas, hidrasi. Semen portland ini yang biasa dipakai untuk umum dan biasanya dikenal dengan nama semen saja karena pembuatannya massal.
- 2) *Moderate Sulphate Resistance*. Adalah semen portland yang dipakai untuk kebutuhan semua macam konstruksi apabila diisyaratkan mempunyai ketahanan terhadap sulfat pada tingkatan sedang yaitu dipakai dilokasi tanah yang mengandung air tanah 0,08% - 0,17% dan mengandung 125 ppm SO<sub>3</sub> serta pH tidak kurang dari 6 dan sedang yaitu pada lokasi suhunya agak tinggi.
- 3) *Hight Early Strength Cemen*. Adalah semen portland yang digiling lebih halus dan mengandung C<sub>3</sub>S lebih banyak dibandingkan *Ordinary Portland Cement*. Mempunyai sifat pengembangan kekuatan awal dan kekuatan pada umur panjang yang lebih tinggi dibandingkan OPC. Semen ini dapat dipakai pada keadaan emergency dan musim dingin, disamping itu dapat juga digunakan untuk *concrete product* atau *prestress concrete*.

- 4) *Low Heat of Hydration Cement*. Sifat- sifatnya; Panas hidrasi yang rendah, oleh karenanya sesuai untuk masa concrete construction. Kekuatan tekan awalnya rendah tetapi kekuatan tekan pada umur panjang adalah sama dengan Ordinary Portland Cement. Shrinkage akibat pengeringan adalah rendah. Bersifat chemical, resistance terutama terhadap sulfat.
- 5) *High Sulfate Resistance Cement*. Sifatnya mempunyai ketahanan terhadap sulfat yang tinggi. Semen ini dipakai untuk semua jenis konstruksi apabila kadar sulfat pada air tanah dan tanah 0,17 %-1,67 % dan 12 ppm - 1250 ppm dinyatakan sebagai SO<sub>3</sub>. Misalnya pada konstruksi untuk air buangan atau konstruksi di bawah air.
- 6) *Super High Early Strength Portland Cement*. Semen ini dipakai untuk kebutuhan konstruksi yang perlu cepat selesai atau pekerjaan grating karena mempunyai kekuatan tekan yang tinggi.
- 7) *Calloid Cement*. Adalah semen yang pada pemakaiannya dipakai dalam bentuk Sturry semen (*Calloid*) yang dipompakan mengingat pengecoran harus dilakukan pada formasi yang dalam dan sempit.
- 8) *Blended Cement*. Dalam rangka memproduksi sifat *ordinary portland cement* maka dikembangkan jenis *Blended cement*. Dalam pemasarannya dikenal dengan *Fly Ash Cement, Pozoland Cement, Masnry Cement*. Jenis-Jenis dalam *Blanded Cement* tergantung pada proses dan bahan yang digunakan dan berakibat pada keunggulan-keunggulan yang dimilikinya. Keunggulan ini diharapkan untuk memperbaiki :
  - Keleccakan
  - Plastisitas
  - Kerapatan
  - Panas hidrasi
  - Ketahanan

Menurut *Mustika (2015)*, semen Portland mempunyai beberapa sifat fisik, dijelaskan sebagai berikut:

- 1) Kehalusan butir. Semakin halus semen, maka permukaan butirannya akan semakin luas, sehingga persenyawaannya dengan air akan semakin cepat dan membutuhkan air dalam jumlah yang besar pula. Kehalusan dari semen dapat ditentukan dengan berbagai cara, antara lain dengan analisa saringan. Semen pada umumnya mampu lolos saringan 44 mikron dalam jumlah 80 % beratnya.
- 2) Berat jenis dan berat isi. Berat jenis semen pada umumnya berkisar 3,15 kg/liter. Berat jenis ini penting untuk diketahui karena semen dengan berat jenis yang rendah dan dicampur dengan bubuk batuan lain, pada pembakarannya menjadi titik sempurna. Berat isi semen bergantung pada cara pengisiannya ke dalam takaran. Cara pengisian gembur, berat isinya akan rendah sekitar 1,1 kg/liter, sedangkan cara pengisian padat akan menghasilkan berat isi yang relatif tinggi sekitar 1,5 kg/liter.
- 3) Waktu pengerasan semen. Pada pengerasan semen dikenal dengan adanya waktu pengikatan awal (*initial setting*) dan waktu pengikatan akhir (*final setting*). Waktu pengikatan awal dihitung sejak semen tercampur dengan air hingga mengeras.

Pengikatan awal untuk semua jenis semen harus diantara 60-120 menit. Pada percobaan untuk mengetahui pengikatan awal harus diperhatikan semen dan air yang digunakan, karena mempengaruhi pengerasan dari semen. Alat *vicat* dapat digunakan untuk mengetahui pengikatan awal.

- 4) Kekakuan bentuk. Bubur semen yang dibuat dalam bentuk tertentu dan bentuknya tidak berubah pada waktu mengeras, maka semen tersebut mempunyai sifat kekal bentuk. Demikian juga sebaliknya jika bubur semen tersebut mengeras dan menunjukkan adanya cacat (retak, melengkung, membesar dan menyusut), berarti semen tersebut tidak mempunyai sifat kekal bentuk. Sifat kekal bentuk sangat dipengaruhi oleh kandungan senyawa C<sub>3</sub>A, karena kandungan C<sub>3</sub>A dalam jumlah tinggi menyebabkan bubur semen mengembang pada saat proses pengerasan karena dilepaskannya panas oleh senyawa tersebut.
- 5) Kekuatan semen. Pengukuran kekuatan semen biasanya dilakukan menggunakan nilai kuat tekan semen yang dicampur dengan pasir. Kekuatan semen sangat berpengaruh terhadap kualitas beton, karena semen sebagai bahan pengikat material beton.
- 6) Pengerasan awal palsu. Gips yang terurai lebih dulu dapat menimbulkan efek pengerasan palsu, seolah-olah semen terlihat mulai mengeras tetapi pengaruhnya terhadap sifat semen tidak berubah. Untuk mengatasinya, dengan mengaduk lagi adonan tersebut sehingga semen mengeras seperti biasa. Pengerasan palsu biasanya terjadi jika semen mengeras kurang dari 60 menit.
- 7) Pengaruh suhu. Pengikatan semen sangat tergantung oleh suhu disekitarnya. Pengikatan semen berlangsung dengan baik pada suhu 35 °C dan berjalan dengan lambat pada suhu di bawah 15 °C. Kekuatan semen yang diukur adalah kekuatan tekan terhadap pasta, mortar, beton (*Laintarawang 2009*) yaitu :
  - Pasta adalah campuran antara semen dan air pada perbandingan tertentu.
  - Mortar adalah campuran antara semen, air dan pasir pada perbandingan tertentu.
  - Beton adalah campuran antara semen, air, pasir dan agregat/kerikil pada perbandingan tertentu, kadang-kadang ditambah *additive*.

Umumnya kekuatan tekan diukur pada umur 28 hari. Kekuatan tekan yaitu kekuatan tarik dan kekuatan lentur. **Tabel 1** memperlihatkan spesifikasi semen Portland komposit. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan tekan adalah:

- Kualitas semen (makin halus semen makin tinggi kekuatan tekannya).
- Kualitas selain semen.
- Kualitas air (suhu air 23°C ± 1,7°C).
- Kualitas agregat.
- Kualitas *additive*.

### 3.1.2. Agregat

Agregat adalah material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah dan kerak tungku besi, yang dipakai bersama – sama satu media pengikat untuk membentuk

**Tabel 1. Spesifikasi Semen Portland Komposit**

jenis pengujian	Satuan	SNI 15-7064-2004	semen tonasa (PCC)
pengujian kimia			
SO3		Max 4.0	2.16
MgO		Max 6.0	0.97
hilang pijar		Max 5.0	1.98
pengujian fisika			
Kehalusan			
-dengan alat belaine	m <sup>2</sup> /kg	Min 280	365
-sisa diatas ayakan 0.045 mm	%	-	9
Waktu Pengikatan ( <i>Alat Vicast</i> )			
-setting awal	Menit	Min. 45	120
-setting akhir	Menit	Max. 375	300
Kekekalan dengan Autoclave			
- Pemuaiian	%	Max. 0.8	-
- Penyusutan	%	Max. 0.2	0.02
Kuat Tekan			
- 3 hari	kg/cm <sup>2</sup>	Min 125	185
- 7 hari	kg/cm <sup>2</sup>	Min 200	263
- 28 hari	kg/cm <sup>2</sup>	Min 250	410
Panas Hidrasi			
- 7 hari	Cal/gr	-	65
- 28 hari	Cal/gr	-	72.21
Kandungan Udara Mortar	%	Max 12	5.25

suatu beton semen hidraulik atau adukan (*SK SNI T-15-1991-03*).

Agregat yang digunakan untuk campuran beton diperkirakan menempati 60 % - 80 % dari volume total beton. Oleh karena itu dicurahkan cukup perhatian terhadap bahan ini, sebab sifat – sifatnya sangat mempengaruhi hasil beton, terutama ketahanan terhadap faktor luar. Maksud penggunaan agregat di dalam adukan beton adalah :

- Menghemat penggunaan semen Portland.
- Menghasilkan kekuatan besar pada beton.
- Mengurangi penyusutan pada pengerasan beton.
- Dengan gradasi yang baik dapat dicapai beton padat.
- Sifat dapat dikerjakan (*Workability*) dapat diperiksa pada adukan beton dengan gradasi baik (*Laintarawang, 2009*).

Sifat paling penting dari suatu agregat adalah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan, yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan waktu musim dingin dan agresi kimia, serta ketahanan terhadap penyusutan (*Murdock. 1986*).

Dalam praktek, agregat umumnya digolongkan menjadi 3 (tiga) kelompok, yaitu :

- Batu, untuk besar butiran lebih dari 40 mm.
- Kerikil, untuk butiran antara 5 mm dan 40 mm
- Pasir, untuk butiran antara 0,15 mm dan 5 mm

Agregat harus mempunyai bentuk yang baik (bulat atau mendekati kubus), bersih, keras kuat dan gradasinya baik. Agregat harus pula mempunyai kestabilan kimiawi, dan dalam hal – hal tertentu harus tahan aus dan tahan cuaca.

Agregat yang digunakan sebagai bahan pembentuk beton terdiri dari :

- 1) Agregat halus. Agregat halus harus diartikan sebagai agregat yang dapat melewati saringan uji 5 mm atau agregat yang berdiameter 0 – 5 mm dan biasa disebut pasir. **Tabel 2** memperlihatkan batas-batas gradasi untuk agregat halus. Untuk mendapatkan mutu beton yang diharapkan maka agregat halus yang akan digunakan harus memenuhi persyaratan – persyaratan yang telah ditentukan, antara lain :
  - Agregat halus terdiri dari butir – butir yang bersifat kekal, artinya tidak hancur atau pecah oleh pengaruh – pengaruh cuaca.
  - Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5 % (ditentukan terhadap berat kering). Apabila kadar lumpurnya melampaui 5 % maka agregat halus harus dicuci.
  - Agregat halus tidak boleh mengandung bahan – bahan organik terlalu banyak, yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari Abrams Harder dengan larutan NaOH. (*PBI, 1971*).

**Tabel 2. Batas-batas Gradasi untuk Agregat Halus**

Lubang ayakan (mm)	Persen bahan butiran lewat ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
SNI				
9,6	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Keterangan : Daerah I = Pasir kasar, Daerah II = Pasir agak kasar, Daerah III = Pasir agak halus, Daerah IV = Pasir halus.

- 2) Agregat Kasar. Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca dan efek-efek perusak lainnya. Agregat kasar mineral ini harus bersih dari bahan-bahan organik dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan sel semen. menjelaskan tentang jenis – jenis agregat kasar yang umum adalah:
  - a) Batu pecah alami. Bahan ini diperoleh dari cadas atau batu pecah alami yang digali. Batu ini dapat berasal dari gunung api, jenis sedimen atau jenis metamorf. Meskipun dapat menghasilkan kekuatan yang tinggi terhadap beton, batu pecah kurang memberikan kemudahan pengerjaan dan pengecoran dibandingkan dengan jenis agregat kasar lainnya.

- b) Kerikil alami. Kerikil ini diperoleh dari proses alami yaitu dari pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir. Kerikil memberikan kekuatan yang lebih rendah dari pada batu pecah, tetapi memberikan kemudahan pengerjaan yang lebih tinggi.
- c) Agregat kasar buatan. Terutama berupa slag atau shale yang bisa digunakan untuk beton berbobot ringan. Biasanya merupakan hasil dari proses lain seperti dari *blast-furnace* dan lain – lain.
- d) Agregat untuk pelindung nuklir dan berbobot berat. Dengan adanya tuntutan yang spesifik pada jaman atom sekarang ini, juga untuk pelindung dari radiasi nuklir sebagai akibat dari semakin banyaknya pembangkit atom dan stasiun tenaga nuklir, maka perlu ada beton yang dapat melindungi dari sinar X, sinar gamma dan neutron. Pada beton demikian syarat ekonomis maupun syarat kemudahan pengerjaan tidak begitu menentukan. Agregat kasar yang diklasifikasikan disini, misalnya baja pecah, barit, magnetik dan limonit. Berat volume beton yang dengan agregat biasa adalah sekitar 144 lb/ft<sup>3</sup>. Beton dengan agregat berbobot berat mempunyai berat volume sekitar 225 sampai 330 lb/ft<sup>3</sup>. Sifat-sifat beton penahan radiasi yang berbobot berat ini bergantung pada kerapatan dan kepadatannya, hampir tidak bergantung pada faktor air-semennya. Dalam hal demikian, kerapatan yang tinggi merupakan satu satunya kriteria disamping kerapatan dan kekuatannya.

Persyaratan agregat kasar sebagai berikut:

- a) Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu. Agregat kasar adalah agregat dengan besar butiran lebih dari 5 mm.
- b) Agregat kasar terdiri dari batuan yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir-butir hanya dapat dipakai apabila jumlah butiran pipih tersebut tidak melampaui 20 % dari berat agregat seluruhnya. Butiran agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh – pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
- c) Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1 % berat (ditentukan terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur melebihi 1 % berat maka agregat tersebut harus dicuci.
- d) Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat alkali yang reaktif.
- e) Kekerasan dari butiran agregat kasar diperiksa dengan bejana penguji dari *Rudelooff* dengan beban pengujian 20 ton, dan harus memenuhi syarat – syarat sebagai berikut :
  - Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9,5 – 19 mm lebih dari 24 % berat.
  - Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 19 – 30 mm lebih dari 22 % berat.
- f) Agregat kasar harus terdiri dari butiran yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan secara berurutan sebagai

berikut: 31,5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm harus memenuhi syarat-syarat :

- Sisa di atas ayakan 31,5 mm, harus 0 % berat.
- Sisa di atas ayakan 4 mm, harus berkisar 90 % - 98 % berat.
- Selisih antara sisa-sisa kumulatif di atas ayakan yang berurutan maksimum 60 % dan minimum 10 % berat.

**Tabel 3** memperlihatkan batas-batas agregat untuk agregat kasar.

**Tabel 3. Batas-batas Gradasi untuk Agregat Kasar**

Ukuran saringan ayakan SNI	% Lolos Saringan/Ayakan		
	Ukuran Maks. 10 mm	Ukuran Maks. 20 mm	Ukuran Maks. 40 mm
76	-	-	100 - 100
38	-	100 - 100	95 - 100
19	100 - 100	95 - 100	35 - 70
9,6	50 - 85	30 - 60	10 - 40
4,8	0 - 10	0 - 10	0 - 5

- 4) Agregat campuran. Agregat campuran atau agregat lengkap, agregat yang terdiri dari campuran agregat halus dan agregat kasar. Dalam praktek diperlukan suatu campuran agregat kasar dan agregat halus dengan perbandingan tertentu agar tidak terjadi kekosongan/ketimpangan pada reaksi campuran beton. Apabila ukuran butir – butir agregat bervariasi dan komposisinya baik, maka volume pori dalam campuran beton akan menjadi lebih kecil, sehingga beton yang dihasilkan akan memiliki kuat tekan yang tinggi (*Yusuf Suyuti, 2004*). **Tabel 4** memperlihatkan susunan berat butir gregat campuran.

**Tabel 4. Susunan Berat Butir Agregat Campuran**

Ukuran lubang ayakan ( mm )	Persen lolos kumulatif
19,05	100
9,53	45-75
4,76	30-48
2,36	23-42
1,18	16-34
0,60	9-27
0,30	2-12
0,15	0-2

### 3.1.3. Air

Air merupakan salah satu bahan yang penting dalam pembuatan beton karena dapat menentukan mutu dalam campuran beton. Fungsi air pada campuran beton adalah untuk membantu reaksi kimia yang menyebabkan berlangsungnya proses pengikatan serta sebagai pelicin antara campuran agregat dan semen agar mudah dikerjakan.

Tujuan utama dari penggunaan air adalah agar terjadi hidrasi yaitu reaksi kimia antara semen dan air

yang menyebabkan campuran ini menjadi keras setelah lewat beberapa waktu tertentu. Air yang dibutuhkan agar terjadi proses hidrasi tidak banyak, kira-kira 30 % dari berat semen. Dengan menambah lebih banyak air harus dibatasi, sebab penggunaan air yang terlalu banyak dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan beton. Keadaan kandungan air secara nyata dari pasta dipengaruhi oleh kandungan kelembaban dalam agregat. Bila kondisi udara kering, pasta akan menyerap air. Dengan cara demikian secara efektif menurunkan faktor air semen dan mengurangi *workability*. Pada sisi yang lain jika agregat terlalu basah, pasta akan berkontribusi air kepermukaan pasta, keduanya meningkatkan kadar air semen dan *workability* tetapi menurunkan kekuatan (Mustika, 2009).

Air diperlukan pada pembentukan semen yang berpengaruh terhadap sifat kemudahan pengerjaan adukan beton (*workability*), kekuatan, susut dan keawetan beton. Air yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen hanya sekitar 25 % dari berat semen saja, namun dalam kenyataannya nilai faktor air semen yang dipakai sulit jika kurang dari 0,35. Kelebihan air dari jumlah yang dibutuhkan dipakai sebagai pelumas, tambahan air ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton menjadi rendah dan beton menjadi keropos. Kelebihan air ini dituang (*bleeding*) yang kemudian menjadi buih dan terbentuk suatu selaput tipis (*laitance*). Selaput tipis ini akan mengurangi lekatan antara lapis-lapis beton dan merupakan bidang sambung yang lemah (Tjokrodinuljo, 1996).

Air yang memenuhi persyaratan sebagai air minum memenuhi syarat pula untuk bahan campuran beton (tetapi tidak berarti air untuk campuran beton harus memenuhi standar persyaratan air minum). Air laut mengandung 35 % larutan garam, sekitar 78 %-nya adalah sodium klorida dan 15 %-nya adalah magnesium sulfat. Garam-garam dalam air laut ini dapat mengurangi kekuatan beton sampai 20 %. Air laut tidak boleh digunakan untuk campuran beton pada beton bertulang atau beton pretegang, karena resiko terhadap korosi tulangan lebih besar.

Pemakaian air untuk beton sebaiknya memenuhi persyaratan:

- 1) Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gr/liter.
- 2) Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gr/liter.
- 3) Tidak mengandung klorida lebih dari 0,5 gr/liter.
- 4) Tidak mengandung senyawa-senyawa sulfat lebih dari 1 gr/liter.

**3.1.4. Serbuk Batu Bata**

Serbuk batu bata adalah hasil dari penggilingan batu bata sehingga didapatkan butiran-butiran halus. Alumina dan silika merupakan unsur utama pada serbuk batu bata dimana didapatkan dari hasil perpaduan antara

tanah liat dan pasir yang merupakan bahan utama pembuatan batu bata. Bahan dasar pembuatan batu bata terdiri dari lempung (tanah liat) 50 % - 60 %, pasir berkisar 35 % - 50 %, dan air secukupnya. Sampai diperoleh campuran yang bersifat plastis dan mudah dicetak (Hendro Suseno.2010).

Menurut *Hendro Suseno*, (2010). Batu bata umumnya memiliki kandungan senyawa kimia silika oksida (SiO<sub>2</sub>) berkisar 55 % - 65 % dan alumina oksida (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) berkisar 10 % - 25 %. Berikut merupakan komposisi senyawa kimia batu bata yang dapat dilihat pada **Tabel 5**.

**Tabel 5. Komposisi Senyawa Kimia Batu Bata**

Senyawa	Batu Bata
SiO <sub>2</sub>	60,6 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,2 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,1 %
CaO	2,5 %
MgO	2,9 %

**3.2. Mix Design Beton**

Bahan campuran beton terdiri dari semen, agregat, air dan bahan tambahan (*admixture*). Bahan campuran ini sudah diteliti oleh para ahli teknik terdahulu, begitu juga dilakukan pada sifat-sifat dan perbandingan bahan-bahan campuran beton. Pada dasarnya Perencanaan Campuran Adukan Beton (PCAB) harus memenuhi syarat-syarat :

- 1) Memenuhi ketentuan tekan karakteristik atau kekuatan tekan minimum yang dikehendaki (*compressive strength*).
- 2) Memenuhi keawetan terhadap pengaruh-pengaruh serangan agresif lingkungan (*durabilitas*).
- 3) Memenuhi kemudahan pengerjaan di lapangan (*workabilitas*)
- 4) Harga adukan beton harus ekonomis.

**3.2.1. Metode – metode Mix Design Beton**

- 1) Metode DOE (Departement of Environmental). Di Indonesia, metode DOE paling sering digunakan dalam pencampuran beton. Cara ini dikembangkan oleh *Departement of Environmental* dari kerajaan Inggris dan telah dikembangkan oleh Torben C, Hansen dengan sedikit modifikasi. Pada metode DOE ini, beton terdiri dari campuran semen pasir dan bahan kerikil batu pecah dengan perbandingan isi 1 : 2 : 3 atau 1 : 1½ : 2 ½. Baik buruknya hasil campuran tergantung dan mutu bahan beton dan proporsi dari masing-masing bahan tersebut (*Laintarawang, 2009*).
- 2) Metode ACI (American Concrete Institute). Metode *American Concrete Institute* (ACI) mensyaratkan suatu campuran perancangan beton dengan mempertimbangkan sisi ekonomisnya dengan memperhatikan ketersediaan bahan-bahan di lapangan, kemudahan pekerjaan, serta keawetan kekuatan dan pekerja beton. Cara ACI melihat bahwa dengan ukuran agregat tertentu, jumlah air perkubik akan menentukan tingkat konsistensi dari campuran beton yang pada akhirnya akan mempengaruhi pelaksanaan pekerjaan (*workability*). Pada metode



ini, input data perancangan meliputi data standar deviasi hasil pengujian yang berlaku untuk pekerjaan yang sejenis dengan karakteristik yang sama. Selanjutnya data tentang kuat tekan rencana, data butir nominal agregat yang digunakan, data slump, (jika diinginkan dengan nilai tertentu), berat jenis agregat, serta karakteristik lingkungan yang diinginkan.

- 3) Metode PCA (Portland Cement Association). Metode desain campuran *Portland Cement Association* (PCA) pada dasarnya serupa dengan metode ACI sehingga secara umum hasilnya akan saling mendekati. Penjelasan lebih detail dapat dilihat dalam Publikasi PCA, *Portland Cement Association, Design and Control of Concrete Mixtures. 12<sup>th</sup> edition, Skokie, Illinois, USA: PCA, 1979, 140 pp.*
- 4) Metode SNI (Standar Nasional Indonesia).
  - a) Semua bahan beton harus diaduk secara seksama dan harus dituangkan seluruhnya sebelum pencampur diisi kembali.
  - b) Beton siap pakai harus dicampur dan diantarkan sesuai persyaratan SNI 03-4433-1997, *Spesifikasi beton siap pakai* atau "*Spesifikasi untuk beton yang dibuat melalui penakaran volume dan pencampuran menerus*" (ASTM C 685).
  - c) Adukan beton yang dicampur di lapangan harus dibuat sebagai berikut:
    - Pencampuran harus dilakukan dengan menggunakan jenis pencampur yang telah disetujui.
    - Mesin pencampur harus diputar dengan kecepatan yang disarankan oleh pabrik pembuat.
    - Pencampuran harus dilakukan secara terus menerus selama sekurang-kurangnya 1½ menit setelah semua bahan berada dalam wadah pencampur, kecuali bila dapat diperlihatkan bahwa waktu yang lebih singkat dapat memenuhi persyaratan uji keseragaman campuran SNI 03-4433-1997, *Spesifikasi beton siap pakai*.
    - Pengolahan, penakaran, dan pencampuran bahan harus memenuhi aturan yang berlaku pada SNI 03-4433-1997, *Spesifikasi beton siap pakai*.
    - Catatan rinci harus disimpan dengan data-data yang meliputi: Jumlah adukan yang dihasilkan, Proporsi bahan yang digunakan, Perkiraan lokasi pengecoran pada struktur, Tanggal dan waktu pencampuran dan pengecoran.
- 5) Metode ROAD NOTE NO.4. Cara perancangan ini disimpulkan dari hasil penelitian Glanville.,et.al, yang ditekankan pada pengaruh gradasi agregat terdapat kemudahan pengerjaan.
- 6) Metode The British. Mix desain metode menurut cara Inggris ("*The British Mix Design Method*") di Indonesia ini dikenal dengan cara DOE yang dipakai sebagai standar perencanaan oleh Departemen Pekerjaan Umum dan dimuat dalam Standar SNI.T-15-190-03 ("*Tata Cara Pembuatan Rencana campuran Beton Normal*").
- 7) Metode Campuran Coba-Coba. Selain dari beberapa cara diatas dalam merancang beton dengan cara coba – coba. Cara ini akan lebih ekonomis namun membutuhkan waktu yang cukup lama. Cara coba –

coba biasanya dikembangkan berdasarkan cara – cara diatas, setelah dilakukan utuhan pelaksanaan dan evaluasi. Cara ini berusaha mendapatkan pori – pori yang minimum atau kepadatan beton yang maksimum artinya bahwa kebutuhan agregat halus maksimum untuk mendapatkan kebutuhan semen yang minimum.

### 3.3. Berat Volume Beton

Berat volume beton merupakan perbandingan antara berat bersih beton segar terhadap volumenya (volume silinder untuk pengujian). Berat volume beton berfungsi untuk mengoreksi susunan campuran beton apabila hasil perencanaan berbeda dengan pelaksanaan. Angka koreksi di peroleh dari perbandingan antara berat volume beton perencanaan dengan berat volume beton pelaksanaan. Harga angka koreksi ini kemudian dikalikan dengan kebutuhan masing-masing bahan dalam perencanaan. Selain itu, berat volume beton juga berfungsi untuk mengkonversi dari satuan berat ke satuan volume dan mengoreksi kelebihan maupun kekurangan bahan pada saat pembuatan beton yang akan mempengaruhi volume pekerjaan secara keseluruhan (*Mustika, 2015*).

### 3.4. Kuat tekan beton

Kekuatan tekan merupakan salah satu kinerja utama beton. Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Walaupun dalam beton terdapat tegangan tarik yang kecil, diasumsikan bahwa semua tegangan tekan didukung oleh beton tersebut. Penentuan kekuatan tekan dapat dilakukan dengan menggunakan alat uji tekan dan benda uji berbentuk silinder dengan prosedur uji ASTM C-39 atau kubus dengan prosedur BS-1881 Part 115; Part 116 pada umur 28 hari.

Nilai uji yang diperoleh dari setiap benda uji akan berbeda, karena beton merupakan material heterogen, yang kekuatannya dipengaruhi oleh proporsi campuran, bentuk dan ukuran, kecepatan pembebanan, dan oleh kondisi lingkungan pada saat pengujian. Oleh karena itu, metode statistik diperlukan untuk menentukan kekuatan tekan beton ( $f_c'$ ), yang didefinisikan sebagai kekuatan tekan beton yang dilampaui oleh paling sedikit 95 % dari benda uji. Nilai  $f_c'$  adalah kekuatan tekan benda uji silinder berdiameter 150 mm dan panjang 300 mm sebagaimana ditetapkan dalam SNI T-15-1991. Pengujian standarnya didasarkan atas kekuatan beton umur 28 hari.

Kekuatan tekan relatif antara benda uji silinder dan kubus ditunjukkan pada **Tabel 6** dan **7** (menurut standar ISO).

**Tabel 6. Rasio Kuat Tekan Silinder-Kubus**

Kuat Tekan (Mpa)	7.00	15.20	20.00	24.10	26.20	34.50	36.50	40.70	44.10	50.30
Kuat Rasio Silinder/Kubus	0.76	0.77	0.81	0.87	0.91	0.94	0.87	0.92	0.91	0.96

(Sumber: Neville, "*Properties of Concrete*", 3<sup>rd</sup> Edition, Pitman Publishing, London, 1981, p.544)

**Tabel 7. Perbandingan Kuat Tekan antara Silinder dan Kubus**

Kuat Tekan Silinder (Mpa)	2	4	6	8	10	12	16	20	25	30	35	40	45	50
Kuat Tekan Kubus (Mpa)	2.5	5	7.5	10	12.5	15	20	25	30	35	40	45	50	55

(Sumber: ISO Standard 3893-1977)

Jika benda uji yang digunakan berupa kubus 150 mm maka nilai  $f_c'$  didapatkan dengan mengadakan korversi kedalam kuat tekan silinder melalui **Persamaan 1**.

$$f_c' = (K \times 0,83)(9,81 \times 100) \quad \text{(Pers. 1)}$$

Dimana,  $f_c'$  = kuat tekan silinder (MPa), K= kuat tekan kubus ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ), 0,83 = nilai perbandingan kuat tekan.

Mutu beton berdasarkan karakteristik beton dalam praktek di lapangan dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu dapat dilihat pada **Tabel 8**.

**Tabel 8. Mutu Beton dan Penggunaan**

Jenis Beton	$f_c'$ (MPa)	$\sigma_{bk}$ ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )	Uraian
Mutu tinggi	35 – 65	K400 – K800	Umumnya digunakan untuk beton prategang seperti tiang pancang beton prategang, gelagar beton prategang, pelat beton prategang dan sejenisnya.
Mutu sedang	20 – <35	K250 – < K400	Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma, kerb, beton pracetak, gorong-gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan.
Mutu rendah	15 – <20	K175 – < K250	Umumnya digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti beton siklop, trotoar dan pasangan batu kosong yang diisi adukan, pasangan batu.
	10 – <15	K125 – < K175	digunakan sebagai lantai kerja, penimbunan kembali dengan beton.

Menurut *Mulyono* (2003), ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan beton, yaitu :

- 1) Faktor air semen (FAS) dan kepadatan. Didalam campuran beton air mempunyai dua buah fungsi, yang pertama untuk memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan dan yang kedua sebagai pelicin campuran kerikil, pasir dan semen agar lebih mudah dalam pencetakan beton. Kekuatan beton tergantung pada perbandingan faktor air semennya, semakin rendah nilai faktor air semen maka semakin tinggi kuat tekan betonnya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa hamper untuk semua tujuan, beton yang mempunyai faktor air semen minimal dan cukup untuk memberikan workabilitas tertentu yang dibutuhkan untuk pemadatan, merupakan beton yang terbaik.
- 2) Umur beton. Kuat tekan beton akan bertambah sesuai dengan bertambahnya umur beton tersebut. Berikut ini adalah perbandingan kuat tekan beton pada berbagai umur sesuai dengan **Tabel 9**.
- 3) Sifat agregat. Menurut (*Tjokrodimuljo, 1996*), sifat agregat yang paling berpengaruh terhadap kekuatan beton adalah kekasaran permukaan dan ukuran

maksimumnya Pada agregat dengan permukaan kasar akan terjadi ikatan yang baik antara pasta semen dengan agregat tersebut. Pada agregat berukuran besar luas permukaannya menjadi lebih sempit sehingga lekatan dengan pasta semen menjadi berkurang.

## 4. Metode Penelitian

### 4.1. Umum

Dalam penelitian ini menggunakan bahan-bahan untuk campuran beton normal yang terdiri dari air , semen, dan agregat kasar. air yang digunakan untuk mencampur beton diambil dari saluran PDAM. Untuk perekat hidrolik digunakan semen Portland tipe I berdasarkan SNI 15-2049-2000. Untuk men substitusikan serbuk limbah batu bata pada semen Portland digunakan komposisi :

- Semen Portland 100 % dan serbuk batu bata 0 %.
- Semen Portland 95 % dan serbuk batu bata 5 %.
- Semen Portland 85 % dan serbuk batu bata 15 %.
- Semen Portland 75 % dan serbuk batu bata 25 %.

Sementara benda uji beton di buat sebanyak 16 buah untuk setiap bahan substitusi serbuk limbah batu bata, untuk mengetahui pengaruh substitusi serbuk batu bata terhadap kuat tekan beton, makan di buat 4 variasi komposisi campuran beton menggunakan serbuk limbah batu bata sebagai substitusi pada semen Portland.

### 4.2. Waktu Penelitian

Dari tahap awal penelitian ini dimulai dari bulan september dan direncanakan akan selesai pada bulan oktober 2019.

### 4.3. Alat dan Bahan penelitian

Alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

- 1) Kubus yang berukuran 150 mm x 150 mm x 150 mm, digunakan untuk mencetak benda uji kuat tekan.
- 2) Mesin abrasi Los Angeles, alat simulasi keausan dengan bentuk dan ukuran tertentu terbuat dari plat baja berputar dengan kecepatan tertentu.
- 3) Thicness gauge, Alat pengukur Kepipihan
- 4) Mesin pengaduk campuran (*Concrete Mixer*), digunakan untuk mengaduk bahan campuran beton
- 5) Saringan, Alat ini digunakan untuk mengukur gradasi agregat sehingga dapat ditentukan nilai modulus kehalusan butir agregat kasar dan agregat halus.
- 6) Timbangan, digunakan untuk mengukur berat bahan campuran beton dan berat benda uji silinder.
- 7) *Conical mould* dengan ukuran diameter atas 3.8 cm, diameter bawah 8.9 cm, tinggi 7.6 cm, lengkap dengan alat penumbuk. Alat ini digunakan untuk mengukur keadaan SSD agregat halus.
- 8) *Oven* dengan temperatur 220 ‘c yang digunakan untuk mengeringkan agregat.
- 9) Mesin uji tekan, Alat ini digunakan untuk menguji kuat tekan beton . Dalam penelitian ini akan dipakai *Compression Testing Machine* (CTM).
- 10) Alat Bantu, Selama proses pembuatan benda uji digunakan beberapa alat bantu diantaranya adalah ember, sendok semen, mistar dan gayung.

**Tabel 9. Perbandingan Kuat Tekan Beton pada Berbagai Umur**

Umur (hari)	3 (%)	7 (%)	14 (%)	21 (%)	28 (%)	90 (%)
Semen Portland Biasa	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20
Semen Portland dengan kekuatan awal tinggi	0,55	0,75	0,90	0,95	1,00	1,15

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- 1) Semen Portland (PPC) type I.
- 2) Limbah batu bata.
- 3) Agregat kasar yang digunakan berupa batu pecah yang berasal dari PT. Permata Dwi Kwarray.
- 4) Agregat halus yang digunakan berupa pasir yang berasal Ex. S. Kalangkangan
- 5) Air dari Laboratorium Dinas pekerjaan umum dan penataan ruang kabupaten Toiltoli.

**4.4. Tahap persiapan bahan**

Tahap persiapan bahan pada penelitian ini meliputi pemeriksaan agregat kasar yang berupa kerikil dan batu pecah serta agregat halus menggunakan Pasir sedangkan air dari sumber yang ada di laboratorium Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Tolitoli.

**4.5. Tahap Pemeriksaan bahan**

Pemeriksaan bahan ini bertujuan untuk memperoleh bahan-bahan yang memenuhi persyaratan. Dalam tahap ini difokuskan pada bahan campuran beton. Adapun pemeriksaan yang akan dilakukan di laboratorium adalah sebagai berikut:

- 1) Analisa Saringan Agregat Kasar dan Halus (SNI 03-1968-1990)
- 2) Pemeriksaan keausan agregat dengan mesin Abrasi Los Angeles
- 3) (SNI 03-2417-1991)
- 4) Kotoran organik dalam pasir (SNI 03-2816-1992)
- 5) Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar (SNI 03-1969-1990)
- 6) Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus (SNI 03-1970-1990)
- 7) Berat Isi Agregat (SNI 03-4804-1998)
- 8) Bahan Lolos Saringan No. 200 (SNI 03-4142-1996)

**4.6. Perancangan Campuran beton (Concrete Mix Design)**

Concrete Mix Design adalah proses menentukan komposisi campuran adukan beton berdasarkan data-data dari bahan dasar untuk beton. Dalam penelitian ini menggunakan SNI 03-2834-2000 tentang cara-cara pembuatan rancangan campuran beton normal.

**4.7. Pembuatan benda uji**

Benda uji yang akan dibuat terdiri dari kubus dengan diameter 150 mm, lebar 150 mm dan tinggi 150 mm, sebanyak 32 buah benda uji dengan komposisi sesusai **Tabel 10**.

**4.8. Syarat Perancangan**

Syarat perancangan terdiri dari :

**Tabel 10. Benda Uji**

Benda Uji	Jumlah benda uji sesuai campuran				Ket.
	100 % semen Portland dan 0 % serbuk batu bata	95 % semen Portland dan 5 % serbuk batu bata	85 % semen Portland dan 15 % serbuk batu bata	75 % semen Portland dan 25 % serbuk batu bata	
Jumlah Benda Uji	4	4	4	4	7 hari
Jumlah Total	8	8	8	8	28 hari
					32

- 1) Kuat tekan rencana (MPa). Persyaratan kuat tekan didasarkan pada hasil kuat tekan kubus yang mempunyai ukuran 150x150x150 mm.
- 2) Pemilihan Proporsi Campuran. Rencana kekuatan beton didasarkan pada hubungan antara kuat tekan dengan faktor air semen.
- 3) Perhitungan Proporsi Campuran. Isi data pada perancangan metode ini diantaranya:
  - Kuat tekan rata-rata yang direncanakan
  - Pemilihan faktor air semen
  - Tes Slump.
  - Besar butir agregat maksimum
  - Kadar air bebas. Syarat Perancangan
  - Susunan gradasi agregat halus.
  - Berat jenis relatif agregat.
  - Proporsi campuran.
  - Koreksi campuran.

**4.9. Perawatan Benda uji**

Perawatan ini dilakukan agar proses hidrasi selanjutnya tidak mengalami gangguan. Jika hal ini terjadi, beton akan mengalami keretakan karena kehilangan air yang begitu cepat. Dengan cara merendam seluruh bagian beton segar dengan waktu perendaman yang lama.

**4.10. Pengujian kuat tekan beton**

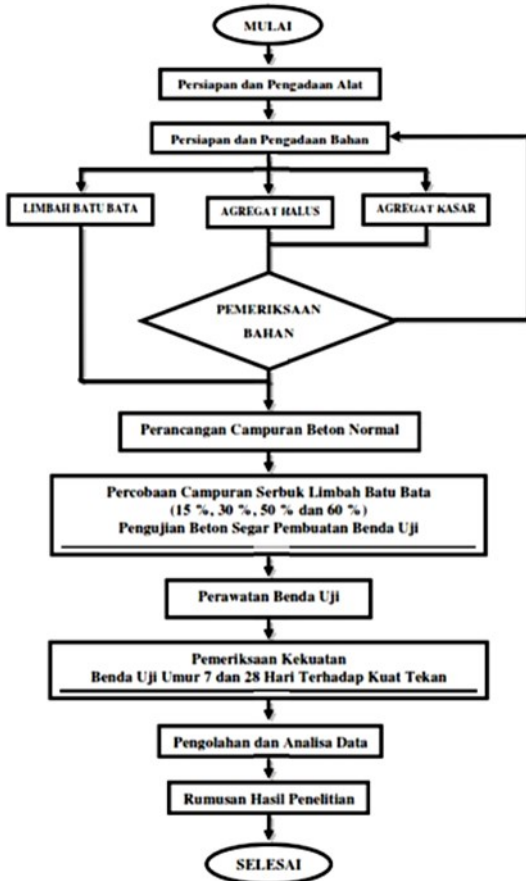
Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan kuat tekan beton berbentuk kubus yang dibuat dan dirawat di laboratorium. kekuatan tekan adalah beban persatuan luas yang menyebabkan beton hancur.Yaitu dengan melakukan uji tekan dengan alat uji tekan yang telah tersedia di laboratorium dinas pekerjaan umum dan penataan ruang kabupaten Tolitoli.

4.11. Analisa Data

Setelah diperoleh data-data yang diperlukan, maka data diolah sedemikian rupa sehingga didapat suatu analisa dari pada campuran beton normal dan campuran menggunakan agregat kasar batu pecah berbentuk kubus (kubikal) dan batu pecah berbentuk pipih sesuai dengan komposisi masing-masing.

4.12. Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

5. Hasil dan Pembahasan

Hasil uji kuat tekan masing-masing campuran beton untuk tiap umur uji dengan varian pengganti/substitusi serbuk limbah batu bata pada semen di umur 7 dan 28 hari diberikan pada Tabel 11 sampai 13. Hubungan-hubungannya diperlihatkan pada Gambar 2 dan 3. Hasil yang ditampilkan disini merupakan nilai rata-rata dari benda uji yang telah memenuhi syarat.

Pemeriksaan sifat-sifat fisik material meliputi : pemeriksaan keausan agregat dengan mesin Los Angeles, kotoran organik dalam pasir, berat jenis dan penyerapan agregat kasar, berat jenis dan penyerapan agregat halus, berat isi agregat, kadar air agregat, kadar lumpur agregat halus, analisa saringan agregat kasar dan halus.

5.1. Hasil Pemeriksaan

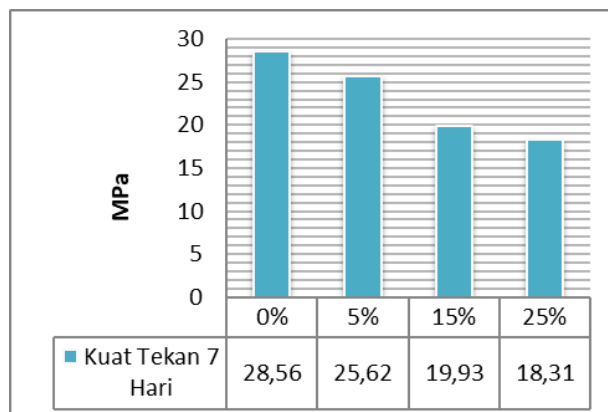
Tabel 11. Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisik material

No.	Pemeriksaan	Nilai	Spesifikasi
1.	Abrasi agregat kasar a. Batu pecah	22,90 %	< 50%
2.	Kotoran organik dalam pasir	No. 2	< No. 3
3.	Berat Jenis (SSD) a. Batu Pecah b. Pasir	2,62 2,54	2,5 > 2,5 >
4.	Penyerapan a. Batu Pecah b. Pasir	0,74 1,46	3% 5%
5.	Berat isi a. Batu Pecah b. Pasir	1,359 1,523	
6.	Kadar lumpur a. Agregat halus Analisa saringan a. Agregat kasar b. Agregat halus	2,70 % Terlampir Terlampir	5%

Tabel 12. Nilai kuat tekan campuran beton normal dan campuran beton menggunakan serbuk limbah batu bata pada umur 7 hari (VS : 11269 gram, VP : 21202 gram, VB : 31803)

Bahan	Komposisi Serbuk Batu Bata (%)	Kuat Tekan Beton (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Beton (MPa)	Massa Beton (gram)
Normal	0	350,76	28,56	8150,8
Campuran Serbuk Batu Bata	5%	314,63	25,62	8007,7
	15%	244,71	19,93	8161,5
	25%	224,90	18,31	8059,8

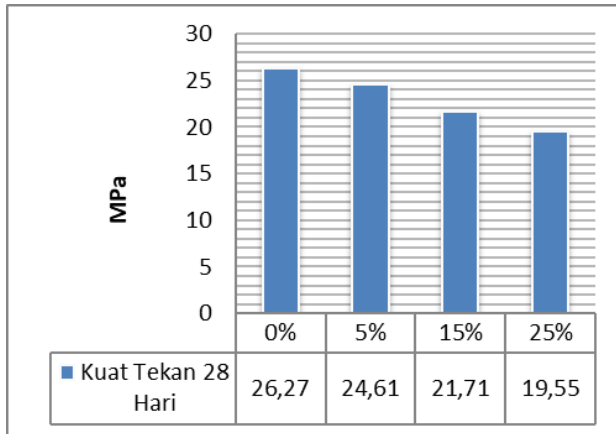
Ket. VS = Volume Semen, VP = Volume Pasir, VB = Volume Batu Pecah.



Gambar 2. Hubungan antara persentase campuran menggunakan serbuk limbah batu bata terhadap nilai kuat tekan di umur beton 7 hari

**Tabel 13. Nilai kuat tekan campuran beton normal dan campuran beton menggunakan campuran serbuk limbah batu bata pada umur 28 hari (VS : 11269 gram, VP : 21202 gram, VB : 31803)**

Bahan	Komposisi Serbuk Batu Bata (%)	Kuat Tekan Beton (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Beton (MPa)	Massa Beton (gram)
Normal	0	322,67	26,27	8126,7
Campuran Serbuk Batu Bata	5%	302,22	24,61	8010,5
	15%	266,62	21,71	8062,2
	25%	240,11	19,55	7788,3



**Gambar 3. Hubungan antara persentase campuran menggunakan serbuk limbah batu bata terhadap nilai kuat tekan di umur beton 28 hari**

## 5.2. Pembahasan

### 5.2.1. Hasil pemeriksaan fisik material

- 1) Berat Jenis dan Penyerapan Agregat. Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar dan halus yang diperlihatkan pada Tabel 11 menunjukkan bahwa kedua agregat tersebut dapat digunakan sebagai bahan campuran beton. Berat jenis agregat yang digunakan mempengaruhi tingkat kekerasan agregat sebab semakin tinggi berat jenis suatu agregat berarti agregat tersebut mempunyai kerapatan atom-atomnya yang semakin rapat, yang berarti bahwa kekerasan agregat semakin tinggi, sebab berat jenis itu sebanding dengan tingkat kekerasan agregat. Agregat yang mempunyai berat jenis yang tinggi akan menghasilkan kepadatan beton yang tinggi.
- 2) Abrasi Agregat Kasar. Hasil pemeriksaan abrasi agregat kasar seperti yang terlihat pada Tabel 11 bahwa agregat tersebut dapat digunakan sebagai bahan campuran beton karena memenuhi syarat untuk keausan agregat, yaitu kurang dari 50 %. Kekerasan agregat diperlukan oleh karena waktu pembuatan beton, agregat ini harus mengalami gesekan-gesekan dan benturan yang cukup keras dalam mesin pengaduk (*mixer*), juga pada saat pengecoran dan pemadatan beton. Selain itu kekuatan beton dapat pula dipengaruhi oleh kekuatan agregat pembentuknya.
- 3) Berat Isi Agregat. Hasil pemeriksaan berat isi agregat yang diperlihatkan pada Tabel 11 menunjukkan bahwa kedua agregat tersebut dapat digunakan sebagai

bahan campuran beton. Semakin tinggi berat isi suatu agregat berarti agregat tersebut mempunyai susunan butiran yang lebih padat. Sifat berat isi sangatlah mempengaruhi kekuatan beton.

- 4) Kotoran Organik. Hasil pemeriksaan kotoran organik agregat halus yang diperlihatkan pada Tabel 11 menunjukkan bahwa agregat tersebut dapat digunakan sebagai bahan campuran beton, karena kotoran organik agregat halus tidak melampaui warna standar diatas warna No. 3, kotoran organik agregat halus tergolong warna standar No. 2. Kotoran organik dapat berupa bahan-bahan yang telah membusuk seperti humus atau tanah yang mengandung bahan organik.

### 5.2.3. Kuat Tekan Beton

Berdasarkan pada Tabel 13 dan Gambar 3 tersebut diperoleh hasil bahwa pada hubungan persentase campuran serbuk batu bata terhadap nilai kuat tekan pada pengganti/substitusi serbuk limbah batu bata 25% mencapai kuat tekan beton terendah yakni mengalami penurunan 19,55 MPa dari beton normal yang kuat tekannya mencapai 26,27 MPa atau mengalami penurunan 25,59%. Penelitian menunjukkan bahwa semakin banyak serbuk limbah batu bata yang digunakan sebagai pengganti semen terhadap campuran beton, maka semakin menurun nilai kuat tekannya.

Dari hasil tersebut juga menunjukkan bahwa penurunan pada kuat tekan beton sudah terlihat pada campuran serbuk limbah batu bata 5% dengan nilai kuat tekan 24,61 MPa dan 21,71 MPa untuk hasil campuran serbuk limbah batu bata 15%.

Adapun massa yang diperoleh dari penelitian ini pada komposisi yang digunakan mengalami penurunan massa, artinya semakin besar kandungan serbuk limbah batu bata maka semakin ringan beton tersebut. Namun pada komposisi 15% mengalami peningkatan massa dengan nilai 8062,2 gram sedangkan massa dikomposisi 5% dan 25% turun, yakni dengan nilai 8010,5 gram untuk komposisi 5% dan 7788,3 gram untuk komposisi 25%.

## 6. Penutup

### 6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Dengan pengganti/substitusi serbuk limbah batu bata 25% pada semen terjadi penurunan kuat tekan yaitu 19,55 MPa dari beton normal yang kuat tekannya mencapai 26,27 MPa (terjadi penurunan 25,59%). Hal ini dikarenakan berkurangnya daya ikat semen terhadap campuran bila semakin banyak serbuk limbah batu bata yang digunakan.
- 2) Dari hasil yang di dapatkan pengganti/substitusi serbuk limbah batu bata tidak memperoleh kuat tekan beton optimum. Akan tetapi pada persentase 5% pengganti/substitusi serbuk limbah batu bata, nilai kuat tekan yang didapatkan yakni 24,61 MPa lebih rendah dari beton normal yang kuat tekannya 26,27 MPa (terjadi penurunan 6%). Dengan penurunan kuat tekan yang tidak terlalu rendah dari nilai kuat tekan

## Haris dan Tahir

beton normal, maka pada persentase 5% masih layak digunakan untuk pencampuran mutu beton rendah.

### 6.2. Saran-saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka ada beberapa hal yang dapat disarankan :

- 1) Dalam pemilihan batu bata sebagai bahan penambah/substitusi pada semen sebaiknya digunakan batu bata yang baru (jangan limbah) untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton yang lebih baik.
- 2) Untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih baik kedepannya hendaknya dilanjutkan lagi penelitian ini oleh peneliti-peneliti selanjutnya.

- Semen Merah Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Mortar*. Universitas Brawijaya. Malang.
- SKSNI T-15-1991-03. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*.
- SNI 03-2834-2000. *Tata cara pembuatan rencana beton normal*.
- SNI 15-2094-2000, SII-0021-78. *Batu Merah Pejal Untuk Pasangan Dinding*.
- Tjokrodimulyo, K., 2000, *Pengujian Mekanik Laboratorium Beton Pasca Bakar*, Yogyakarta: Nafri.
- Tjokrodimulyo, K., 2000, *Pengujian Mekanik Laboratorium Beton Pasca Bakar*, Yogyakarta: Nafri.

### DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Syarif, Chandra Setyawa, Ida Farida, (2016). *Analisa Uji Kuat Tekan Beton Dengan Bahan Tambahan Batu Bata Merah*. Sekolah Tinggi Teknologi Garut.
- Anonim., 1991. SNI-15-1990-03. "Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Normal", Bandung : Departemen Pekerjaan Umum, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Anonim, SNI 03-2847- 2002, "Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung".
- Dipohusodo, L., (1996), "Struktur Beton Bertulang". Jakarta : Rineka Cipta.
- Dipohusodo, Istimawan. 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta : Gramedia pustaka utama.
- Hendra Hatibi, (2018). *Studi Pengaruh Bentuk Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton*  
<https://docplayer.info/68808324-Mix-design-metode-aci-sni-pca-doe.html>  
<http://ilmu-civil1001.blogspot.com/p/mix-design-aci-metode.html>  
<http://subandigrub.blogspot.com/2013/07/definisi-batu-bata.html?m=1>  
<https://lauwtjunnji.weebly.com/pbi--sni--satuan-dan-benda-uji.html>
- Laintarawang, I Putu, dkk. *Buku ajar konstruksi beton 1*. Bali: Universitas Hindu.
- Lutfiatun, (2018). *Studi Pengaruh Jenis Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton*
- Mc Cormac, Jack (2004). "Desain Beton Bertulang-Edisi kelima-jilid 2". Jakarta : Erlangga.
- Murdock, L.J, Brook K.M., Stephanus Hindarko., 1999, *Bahan dan Praktek Beton(4th edition)*. Jakarta : Erlangga
- Mulyono, T., 2006, *Teknologi Beton*, Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Murdock, L.J, Brook K.M., Stephanus Hindarko., 1999, *Bahan dan Praktek Beton(4th edition)*, Erlangga, Jakarta.
- Mustika, Wayan. "Penggunaan Terak Nikel Sebagai Agregat dalam Campuran Beton" Tesis. Program Magister Studi Teknik Sipil, 2015.
- Pd T-07-2005-B. *Pelaksanaan Pekerjaan Beton Untuk Jalan dan Jembatan*
- Peraturan Beton Indonesia, 1971.
- PT.Semen Tonasa.
- Ramli, 2007. *Pemanfaatan Abu Pembakaran Ampas Tebu Dan Tanah Liat Pada Pembuatan Batu Bata*. Skripsi Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Siti Nurlina, Taufik Hidayat, Hendro Suseno, (2014). *Pengaruh Penggunaan Limbah Batu Bata Sebagai*