

ARTIKEL ILMIAH

**PENGARUH PROPORSI LIMBAH KACA SEBAGAI PENGGANTI
SEBAGIAN AGREGAT HALUS PADA CAMPURAN BETON
TERHADAP KUAT LEKATAN (*BOND STRENGTH*) TULANGAN BAJA**

*The Effects of Glass Waste as Partial Replacement of Fine Aggregate on The
Concrete Mixed to The Bond Strength of Steel Reinforcement*

Artikel Ilmiah

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S-1 Jurusan Teknik Sipil



Oleh:

**AHMAD HADIAN TSAURI
F1A 013 009**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MATARAM
2018**

PENGARUH PROPORSI LIMBAH KACA SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN AGREGAT HALUS PADA CAMPURAN BETON TERHADAP KUAT LEKATAN (BOND STRENGTH) TULANGAN BAJA

Ahmad Hadian Tsauri¹⁾, Suryawan Murtiadi²⁾, Hariyadi²⁾

¹⁾Mahasiswa Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Mataram

²⁾Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Mataram

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

ABSTRAK

Beton memiliki kelemahan secara struktural yaitu kuat tarik yang rendah, sehingga beton yang lemah terhadap kuat tarik tersebut dikombinasi dengan baja tulangan (beton bertulang). Salah satu persyaratan dalam struktur beton bertulang tersebut adalah adanya lekatan antara baja tulangan dan beton, sehingga apabila struktur beton diberikan beban tidak akan terjadi selip antara baja tulangan dan beton.

Tugas akhir ini merupakan studi eksperimen mengenai tegangan lekat baja tulangan diameter 10 mm dengan panjang penjangkaran 100 mm. Pada penelitian ini digunakan proporsi substitusi serbuk kaca sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% sebagai bahan alternatif pengganti sebagian agregat halus pasir. Masing-masing sampel benda uji diuji menggunakan *compression testing machine* dan metode *pull-out test*.

Dari hasil pengujian yang dilakukan, diperoleh kuat tekan beton dengan substitusi serbuk kaca untuk semua variasi lebih tinggi jika dibandingkan dengan beton normal (tanpa substitusi serbuk kaca), dimana kuat tekan maksimum didapatkan pada variasi substitusi serbuk kaca 10% terhadap volume pasir dengan persentase peningkatan sebesar 34.72%. Sama halnya dengan kuat geser, kuat geser maksimum didapatkan pada variasi substitusi serbuk kaca 15% terhadap volume pasir dengan persentase peningkatan sebesar 20.93%. Begitupun juga dengan kuat lekat tulangan baja polos maupun ulir, kuat lekat tulangan baja polos maupun ulir maksimum didapatkan pada variasi substitusi serbuk kaca sebesar 5% terhadap volume pasir dengan peningkatan berturut turut sebesar 24.04% dan 34,82 %.

Kata kunci: Tegangan Lekat, Baja Tulangan, Penjangkaran, Serbuk Kaca, Agregat Halus, Pull-out Test.

1. PENDAHULUAN

Pembangunan dalam bidang kontruksi di era modern ini terus berkembang sangat pesat, diantaranya dalam pembangunan perumahan, kantor, rumah sakit dan sebagainya selalu menggunakan material beton. Beton dipilih sebagai pilihan utama dalam pembangunan kontruksi ini karna beton mempunyai beberapa kelebihan di bandingkan material lain yaitu memiliki kekuatan yang baik, tahan api, tahan terhadap perubahan cuaca, serta relatif mudah dalam pengerjaan. Namun beton memiliki kelamahan secara seteruktural yaitu kuat tarik yang rendah dan sifatnya yang getas. Oleh karena itu, beton yang lemah terhadap kuat tarik tersebut harus diberi baja tulangan atau biasa disebut dengan beton bertulang.

Salah satu persyaratan dalam beton bertulang yaitu harus adanya lekatan antara baja tulangan dan beton, sehingga apabila struktur beton diberi beban tidak akan terjadi slip antara baja tulangan dan beton. Sifat yang

terpenting ialah beton dan baja mempunyai daya lekat yang cukup besar, sehingga kuat lekat antara beton dan baja tulangan perlu diperhatikan agar diperoleh keseimbangan gaya antara baja tulangan dan beton. Selain kuat lekat tulangan, mutu beton juga perlu untuk diperhatikan dalam kombinasi beton bertulang. Mutu beton itu sendiri sangat berpengaruh terhadap kuat lekat tulangannya.

Mutu beton yang bagus bukan hanya kekuatan yang tinggi yang dapat dihasilkan oleh beton, namun mutu beton yang bagus adalah efektifnya penggunaan material beton sehemat mungkin dengan kekuatan yang dicapai cukup tinggi. Mutu beton tinggi tidak semata-mata didapat dari material penyusun yang bagus, namun bisa juga dari pemanfaatan limbah kaca dari hasil produsen etalase rumahan yang terus semakin berkembang akan lebih efektif jika dapat dimanfaatkan. Karena, selain kekuatan yang di dapat, sifat ekonomispun dapat direalisasikan. Seperti halnya dalam penelitian

Zaini, (2017) yang berjudul “Limbah Kaca sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Terhadap Sifat Mekanik Beton”, didapatkan nilai kuat tekan, modulus elastis, kuat tarik belah dan modulus runtuh beton semua mengalami peningkatan.

Pemanfaatan agregat limbah kaca diharapkan dapat mengurangi penggunaan agregat alami. Sudah menjadi pengetahuan umum karna agregat alami adalah material yang tidak dapat di perbaharui. Untuk itu, melalui tugas akhir ini akan dilakukan kajian mengenai pengaruh kuat lekatan beton terhadap penambahan serbuk kaca.

2. DASAR TEORI

2.1 TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian Herbudiman dan Januar (2011), yang berjudul pemanfaatan serbuk kaca sebagai *powder* pada *self compacting concrete* didapatkan kadar optimum substitusi parsial serbuk kaca adalah 10%. Komposisi tersebut menghasilkan nilai kuat tekan dan kuat tarik belah rata-rata sebesar 49.08 MPa, dan 4.08 MPa, yang menunjukkan peningkatan sebesar +0.33% dan +4.88%.

Penelitian Judea (2013), tentang optimalisasi konsentrasi *tilling* sebagai substitusi parsial semen terhadap kuat tekan beton beragregat halus pecahan kaca dan pasir didapat hasil kuat tekan optimum campuran beton dengan variasi serbuk kaca (10% dari berat agregat halus) serta *sikacim* sebagai bahan tambah, didapatkan dengan proporsi *tilling* 5% dengan kuat tekan 32.35 MPa untuk beton berumur 28 hari.

Penelitian Zaini (2017), yang berjudul pengaruh penggunaan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap sifat mekanik beton didapatkan proporsi serbuk kaca yang dianjurkan dalam pembuatan beton yaitu dengan variasi substitusi serbuk kaca 5% terhadap volume pasir, karena pada variasi tersebut didapatkan nilai kuat tarik belah dan modulus runtuh maksimum. Sementara untuk kuat tekan dan modulus elastisitas, pada variasi 5% serbuk kaca terhadap volume pasir nilainya masih lebih tinggi jika dibandingkan dengan beton tanpa serbuk kaca.

Semakin besar mutu beton yang akan digunakan maka semakin kuat pula daya cengkram lekatan beton terhadap tulangan yang akan didapatkan, bahkan kuat lekatannya mendekati tegangan baja maksimal. Besar nilai kuat lekat yang terjadi yang paling kecil 1 MPa dan yang terbesar 2,2

MPa atau mengalami kenaikan sekitar 15% sampai 26% dari setiap kenaikan mutu beton (Rusyadi, 2014).

Menurut Winter (1993), Kuat lekat merupakan kombinasi kemampuan antara baja tulangan dan beton yang menyelimutinya dalam menahan gaya-gaya yang dapat menyebabkan lepasnya lekatan antara batang tulangan dan beton.

Kualitas dari suatu beton juga dapat mempengaruhi kuat lekat. Dimana mutu atau kualitas dari suatu beton ditentukan dari besarnya kuat tekan beton yang didapatkan. (Agil, 2017).

Percobaan pull-out dapat memberikan perbedaan yang baik antara efisien lekatan berbagai jenis permukaan tulangan dan panjang penanamannya (*embedment length*), akan tetapi hasilnya belum memberikan tegangan lekat sesungguhnya pada struktur rangka. Pada percobaan ini beton mengalami tekan dan baja mengalami tarik, dimana beton dan baja di sekelilingnya mengalami tegangan yang sama (Nawy, 1998).

2.2 LANDASAN TEORI

2.2.1 Beton

Beton adalah suatu elemen struktur yang terdiri dari partikel-partikel agregat yang dilekatkan oleh pasta yang terbuat dari semen portland dan air. Pasta itu mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel agregat dan setelah beton segar dicorokan, ia akan mengeras sebagai akibat dari reaksi-reaksi kimia eksotermis antara semen dan air membentuk suatu bahan struktur yang padat dan dapat tahan lama (Ferguson, 1991).

2.2.2 Bahan Penyusun Beton

2.2.2.1 Semen

Semen merupakan bahan hidrolis yang dapat beraksi secara kimia dengan air, reaksi yang terjadi merupakan hidrasi sehingga akan membentuk material batu padat. Semen yang paling banyak digunakan sebagai material konstruksi adalah semen portland. Semen portland dibuat dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah kalsium dan aluminium silikat. Penambahan air pada mineral ini menghasilkan suatu pasta yang jika mengering akan mempunyai kekuatan seperti batu.

2.2.2.1 Air

Air adalah bahan dasar pembuatan beton. Berfungsi untuk membuat semen bereaksi dan sebagai bahan pelumas antara butir-butir agregat. Pada umumnya air minum dapat dipakai untuk campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula atau bahan kimia lainnya, bila dipakai untuk campuran beton akan sangat menurunkan kekuatannya dan dapat juga mengubah sifat-sifat semen. Selain itu air yang demikian dapat mengurangi afinitas antara agregat dengan pasta semen dan mungkin pula mempengaruhi kemudahan pengerjaan. (Nawy, 1998).

2.2.2.3 Agregat

Dalam SNI 03-2847-2013, agregat didefinisikan sebagai material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah dan kerak tungku besi yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk beton atau semen hidrolik. Mengingat bahwa agregat menempati 70-75% dari total volume beton maka kualitas agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas beton. Dengan agregat yang baik, beton dapat dikerjakan (*workable*), kuat, tahan lama (*durable*), dan ekonomis. Agregat yang digunakan dalam campuran beton dapat berupa agregat alam atau agregat buatan (*artificial aggregates*). Secara umum, agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu agregat kasar dan agregat halus.

Standar yang tercantum dalam *Annual Book of ASTM Standards 1996 volume 04.02 designation: C 125-95a*, dan *designation: C 33*, membagi agregat menjadi dua bagian, yaitu:

1) Agregat kasar

Agregat yang hampir seluruhnya akan tertahan pada saringan berukuran 4,75 mm (butir No. 4) pada uji saringan.

2) Agregat halus

Agregat yang semuanya akan lolos pada saringan berukuran 3/8 in (butir No. 9,5), hampir semuanya lolos saringan berukuran 4,75 mm (butir No. 4), dan semuanya tertahan pada saringan berukuran 75 μ m (butir No. 200). Berdasarkan proses pengolahannya, agregat bisa dibedakan menjadi:

a. Agregat alam

Agregat jenis ini adalah agregat yang diperoleh dari alam seperti pasir dan batu pecah. Permintaan atas agregat alam ini akan semakin tinggi apabila pelaksanaan pembangunan semakin marak.

Penggunaan agregat alam yang semakin tinggi juga dapat menyebabkan rusaknya keseimbangan alam. Dapat diprediksikan pada suatu saat agregat alam ini akan habis terpakai dan walaupun masih ada akan menjadi sulit didapatkan, untuk itu perlu dicari alternatif lain pengganti agregat alam.

b. Agregat buatan

Agregat buatan merupakan agregat yang berasal dari produk sampingan suatu proses industri dan umumnya berupa limbah. Contoh agregat kaca.

2.2.2.4 Teori Beton Kaca

Penelitian mengenai beton kaca atau sering di sebut dengan *glascrete* adalah hal yang cukup baru dalam dunia industri konstruksi di Indonesia. Usaha penelitian yang signifikan dalam bidang ini mulai dilakukan sekitar tahun 2004 di Columbia University, Amerika Serikat. Banyak hal yang berhasil diungkap mengenai penggunaan kaca sebagai agregat dalam pembuatan beton oleh penelitian ini.

Latar belakang peng gagasan ide ini adalah melihat banyaknya kaca hasil daur ulang di negara tersebut yang terbuang sia sia tanpa tergunakan. Masalah ini menimbulkan ide untuk menggunakan kaca-kaca bekas ini sebagai agregat beton, mengingat sifat material kaca yang lebih kuat dari pada kerikil biasa dalam hal kekuatan.

2.2.2.5 Baja Tulangan

Mengingat beton kuat menahan tekan dan lemah dalam menahan tarik, maka dalam penggunaannya sebagai komponen struktur bangunan, umumnya beton diperkuat dengan tulangan yang mampu menahan gaya tarik. Untuk keperluan penulangan tersebut digunakan bahan baja yang memiliki sifat teknis menguntungkan dan baja tulangan yang digunakan dapat berupa batang baja lonjoran ataupun kawat rangkaian las (*wire mesh*) yang berupa batang kawat baja yang dirangkai dengan teknik pengelasan.

Di dalam setiap struktur beton bertulang, harus diusahakan supaya tulangan baja dan beton dapat mengalami deformasi secara bersamaan, dengan maksud agar tidak terjadi penggelinciran diantara keduanya. Ada dua jenis baja tulangan yaitu, baja tulangan polos dan baja tulangan ulir. Baja tulangan ulir itu merupakan batang tulangan baja yang permukaannya dikasarkan secara khusus,

diberi sirip teratur dengan pola tertentu atau batang tulangan yang dipilin pada proses produksinya.

2.2.3 Faktor Air Semen (FAS)

Secara umum diketahui bahwa semakin tinggi FAS maka semakin rendah mutu kekuatan beton. Namun demikian, nilai FAS yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Ada batas-batas dalam hal ini. Nilai FAS yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya menyebabkan mutu beton menurun. Umumnya nilai FAS minimum yang diberikan sekitar 0,40 dan maksimum 0,60 (Tjokrodimuljo, 2012).

2.2.4 Kekuatan Tekan Beton

Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dibutuhkan.

Rumus yang digunakan untuk perhitungan kuat tekan beton adalah seperti Persamaan 2-1.

$$f_c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2-1)$$

2.2.5 Kuat Geser Beton

Salah satu sifat beton yang mengeras (*hard concrete*) adalah kuat geser beton. Bila gaya yang bekerja pada beton melebihi kekuatan geser maksimum yang dapat ditahan beton, maka akan timbul keretakan beton. Tegangan geser dihasilkan oleh gaya friski antara satu partikel yang lain. Tegangan geser ini dinamakan tegangan geser akibat gaya geser langsung (*direct shear*).

Kuat geser dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$F_{geser} = \frac{P}{bh} \dots \dots \dots (2-2)$$

Dengan:

F_{geser} = kuat geser (MPa)

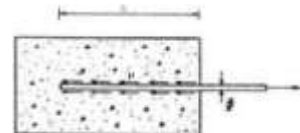
P = beban maksimum (N)

b = lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

h = lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

2.2.6 Konsep Dasar Lekatan Penjangkaran

Menurut Wang & Salmon (1990), bahwa berapapun jumlah luas yang disediakan, tulangan-tulangan akan terlepas keluar apabila tidak diankerkan/dijangkarkan dengan memadai ke dalam beton. Untuk itu perlu penjangkaran sehingga gaya tarik yang timbul dapat ditahan oleh lekatan antara baja dan beton disekelilingnya.



Gambar 2.3 Tegangan Lekat Penjangkaran Tarik

Untuk menjamin lekatan antara baja tulangan dan beton tidak mengalami kegagalan, diperlukan adanya syarat panjang penjangkaran dengan menggunakan persamaan:

$$P = \mu \cdot l_d \cdot \pi \cdot d_b \dots \dots \dots (2-3)$$

Dimana nilai P = A x fy, maka didapat persamaan :

$$A \cdot f_y = \mu \cdot l_d \cdot \pi \cdot d_b \dots \dots \dots (2-4)$$

Dengan luas penampang tulangan adalah

$$A = \frac{1}{4} \pi d_b^2,$$

maka :

$$\frac{1}{4} \pi d_b^2 \cdot f_y = \mu \cdot l_d \cdot \pi \cdot d_b$$

Sehingga tegangan lekat rata-ratanya:

$$\mu = \frac{d_b f_y}{4 l_d} \dots \dots \dots (2-5)$$

Pada SK SNI 1971 perbandingan panjang penyaluran tulangan baja polos terhadap panjang penyaluran tulangan baja ulir pada tegangan yang sama besar adalah faktor pengali dua, sehingga tegangan lekat rata-rata untuk tulangan baja polos didapat :

$$\mu = \frac{d_b f_y}{8 l_d} \dots \dots \dots (2-6)$$

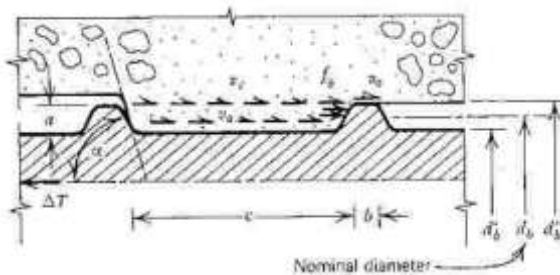
- Dengan : P = Gaya Tarik (N)
- μ = Kuat Lekat (MPa)
- l_d = Panjang Penyaluran (mm)
- d_b = Diameter Tulangan (mm)
- A = Luas Penampang Tulangan Baja (mm²)
- f_y = Tegangan Leleh Baja (MPa)

Dalam SK SNI 03-2847-2013 panjang penyaluran untuk tulangan baja ulir dapat ditentukan dengan rumus :

$$l_d = \frac{d_b f_y}{2,1 \sqrt{f_c}} \dots\dots\dots(2-7)$$

Rumus yang digunakan untuk menghitung tegangan lekat baja tulangan ulir berbeda dengan baja tulangan polos, karena bentuk dari permukaan kedua tulangan tersebut berbeda. Baja tulangan ulir dapat meningkatkan kapasitas lekatan karena adanya penguncian dua ulir dan beton di sekelilingnya. Tegangan lekat yang terjadi diantara dua ulir adalah gabungan dari beberapa tegangan lekat yang terjadi diantara dua ulir adalah gabungan dari beberapa tegangan di bawah ini:

- 1) Tegangan lekat yang dihasilkan dari adhesi di sepanjang permukaan baja tulangan.
- 2) Tegangan lekat permukaan.
- 3) Tegangan lekat yang bekerja di permukaan beton silinder yang berbatasan dengan baja tulangan ulir.



Gambar 2.4 Tegangan Lekat Pada Baja Tulangan Ulir

(Sumber : Park dkk, 1974)

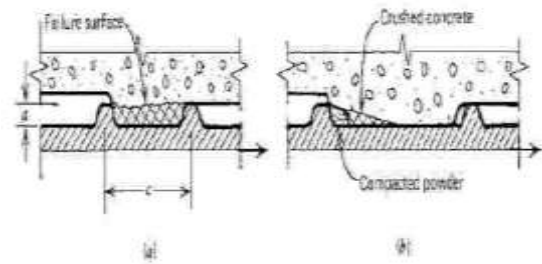
Hubungan antara tegangan dan gaya dapat dilihat dari Persamaan 2-8 :

$$P = \pi d'_b (b+c) u_a + \pi \frac{db'' - db'''}{4} f_b \approx \pi d_b C U c \dots\dots(2-8)$$

Tegangan lekatan yang dihasilkan dari adhesi di sepanjang permukaan baja tulangan sangat kecil dibandingkan dengan tegangan lekat permukaan yang mengelilingi ulir, sehingga U_a dapat diabaikan untuk tujuan praktis. Hubungan antara dua komponen penting tegangan lekat, dan dapat disederhanakan menjadi:

- 1) Karena $b \approx 0,1 c$
- 2) Karena $a \approx 0,05 d'_b$, luas permukaan dari salah satu ulir adalah:

$$P = \pi \frac{d''b^2 - d'b^2}{4} \approx \pi d_b a \dots\dots\dots(2-9)$$



Gambar 2.5 Mekanisme Kerusakan Antara Baja Tulangan Ulir dan Beton

(sumber: Park dkk, 1974)

Keterangan gambar:

1. Untuk Gambar 2.5 (a), $a/c > 0,15$
2. Untuk Gambar 2.5 (b), $a/c < 0,10$

Dari Gambar 2.5 di atas, didapatkan rumus:

$$P = \pi d_b a f_b \approx \pi d_b c u_c \dots\dots\dots(2-10)$$

Maka:

$$f_b = \frac{P}{\pi d_b a} \dots\dots\dots(2-11)$$

$$U_c \approx \frac{a}{c} f_b \dots\dots\dots(2-12)$$

Dimana:

- P = beban maksimum (N)
- d_b = diameter nominal (mm)
- d'_b = diameter dalam (mm)
- $d''b$ = diameter luar (mm)
- f_b = tegangan lekat pada ulir (MPa)
- U_a = tegangan lekat permukaan (MPa)
- U_c = tegangan lekat baja dan beton (Mpa)
- a = jarak antara puncak ulir dengan tulangan (mm)
- b = lebar ulir (mm)
- c = jarak antar ulir (mm)

Keruntuhan lekatan antara baja tulangan dan beton yang mungkin terjadi pada saat dilakukan pengujian biasanya ditunjukkan oleh salah satu atau lebih dari peristiwa berikut ini (Nuryani TA, 2005)

1. *Pull Out Failure* atau *Slip* yaitu kondisi dimana baja tulangan tercabut dari beton tanpa mengalami retak yang diakibatkan komponen tegangan geser yang memecah lekatan antara baja tulangan dan beton.
2. Baja tulangan mencapai leleh yaitu apabila baja tulangan meleleh diikuti oleh kontraksi atau pengecilan diameter tulangan, hal ini mengakibatkan tidak

berfungsinya lekatan terhadap beton yang mengelilinginya, sehingga akan menurunkan atau bahkan hilangnya daya lekatan antara baja tulangan dan beton.

III METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan, Fakultas Teknik, Universitas Mataram.

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan dalam proses pencampuran meliputi semen portland tipe I, agregat halus (pasir dan serbuk kaca), agregat kasar (batu pecah), baja tulangan ulir dan polos dengan diameter 10 mm serta ar yang berasal dari instalasi air bersih Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Mataram .

Kemudian alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu satu set saringan, timbangan, piknometer, keranjang kawat, mesin Los Angles, cetakan silinder ukuran (10x10x10cm), dan cetakan double-L ukuran (20x30x7.5cm), kerucut abrams, Oven, CTM (*Compression Testing Machine*), *Mesin uji pull-Out*, serta alat alat pendukung lainnya.

3.3 Pemeriksaan Bahan

3.3.1 Air

Air yang digunakan adalah air bersih dari jaringan air di Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik Universitas Mataram. Pengujian terhadap air tidak dilakukan karena secara visual air tersebut cukup bersih untuk digunakan sebagai material penyusun beton.

3.3.2 Agregat Kasar

Sebelum agregat kasar digunakan terlebih dahulu dilakukan pencucian untuk menghilangkan lumpur yang menempel disekitar agregat kasar, kemudian agregat kasar tersebut dikeringkan untuk mendapatkan agregat kasar dengan kondisi jenuh kering muka.

3.3.3 Agregat Halus

Pasir yang digunakan tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% karena lumpur yang ada akan menghalangi ikatan antara pasir dan pasta semen.

3.3.4 Serbuk Kaca

a) Berat Volume Serbuk Kaca

Pemeriksaan berat volume serbuk kaca dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik Universitas Mataram, dengan prosedur pemeriksaan mengikuti prosedur pemeriksaan berat volume agregat halus (pasir).

Pemeriksaan ini dilakukan untuk menentukan kebutuhan serbuk kaca yang dipakai dalam campuran beton (mix design) pada setiap present ase serbuk kaca sesuai yang direncanakan. Dari hasil pemeriksaan didapatkan berat volume serbuk kaca rata-rata sebesar 2.36 gr/cm³

b) Proporsi Serbuk Kaca

Dalam penelitian ini menggunakan proporsi serbuk kaca terhadap volume pasir, dengan pertimbangan bila menggunakan proporsi terhadap berat campuran maka akan me mbutuhkan serbuk kaca dalam jumlah lebih banyak.

Berat volume serbuk kaca adalah 2.36 gr/cm³ atau 2360 kg/m³. Untuk menghitung banyaknya serbuk kaca dalam 1 m³ maka dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$\text{Berat volume serbuk kaca} = \frac{\text{Berat serbuk kaca (kg)}}{\text{Volume serbuk kaca (m}^3\text{)}} \dots\dots\dots (3-1)$$

$$\text{Volume serbuk kaca} = \frac{\text{berat Serbuk kaca (kg)}}{\text{Berat volume serbuk kaca (kg/m}^3\text{)}} \dots\dots\dots (3-2)$$

Jika kebutuhan serbuk kaca berdasarkan volume pasir dikonversikan dalam proporsi terhadap volume campuran, maka proporsi serbuk kaca dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Volume pasir} = \frac{\text{Berat pasir (kg)}}{\text{Berat volume pasir (kg/m}^3\text{)}} \dots\dots (3-3)$$

$$\text{Kebutuhan serbuk kaca} = \text{proporsi serbuk kaca} \times \text{volume pasir} \times \text{berat volume serbuk kaca} \dots\dots\dots (3-4)$$

3.4 Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton dimaksudkan untuk mengetahui komposisi atau proporsi bahan-bahan penyusun beton. Proporsi bahan-bahan penyusun beton ini ditentukan melalui sebuah perancangan beton (*mix design*). Hal ini dilakukan agar proporsi campuran dapat memenuhi syarat teknis secara ekonomis. Dalam penelitian ini, perhitungan rencana campuran beton (mix desingn) menurut SNI 7656:2012, tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa. Dengan

spesifikasi kuat tekan rencana sebesar 20 MPa pada umur 28 hari.

3.5 Pembuatan Benda Uji

Pada Penelitian ini digunakan benda uji berupa silinder untuk pengujian kuat tekan (diameter 15cm dan tinggi 30cm) dan double-Luntuk pengujian geser (ukuran 20cm x 7.5cm x30cm) dengan kebutuhan masing masing benda uji sebagai berikut

Tabel 3.1 Jumlah Benda Uji

Proporsi Agregat Daur ulang	Pengujian				jumlah
	Tekan	Geser	Lekat (Pull-Out)		
			Polos	Ulir	
0%	3	3	3	3	12
5%	3	3	3	3	12
10%	3	3	3	3	12
15%	3	3	3	3	12
20%	3	3	3	3	12
	Total				60

3.6 Perawatan Benda Uji

Perawatan beton dilakukan setelah beton mencapai final setting, artinya beton telah mengeras. Kelembaban beton harus dijaga agar beton tidak mengalami keretakan karena proses kehilangan air yang begitu cepat. Perawatan ini tidak hanya dimaksudkan untuk mendapatkan kekuatan tekan beton yang tinggi tapi juga untuk memperbaiki mutu dari keawetan beton, kedekatan terhadap air, ketahanan terhadap aus, serta stabilitas dari dimensi struktur. Pada penelitian ini metode perawatan yang dilakukan adalah dengan melakukan perendaman terhadap sampel beton dalam bak berisi air. Perawatan sampel dilakukan selama 28 hari. Satu hari sebelum dilakukan pengujian, benda uji diangkat dan diangin-anginkan sehingga didapat benda uji dalam keadaan kering.

3.7 Pengujian Benda Uji

Setelah benda uji tersebut berumur 28 hari, selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lekatan.

a. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan Compression Testing Machine terhadap benda uji yang telah berumur 28 hari.

b. Pengujian Geser

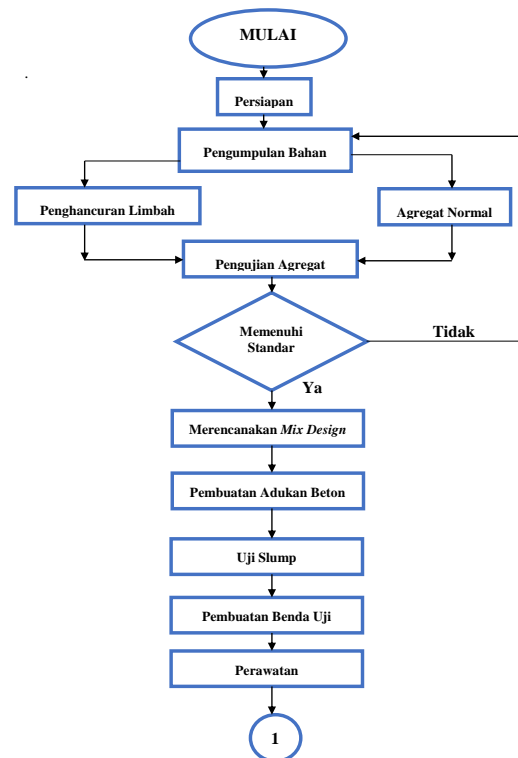
Pengujian kuat geser beton menggunakan Compression Testing Machine terhadap benda uji yang telah berumur 28 hari

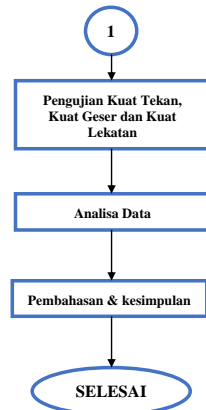
c. Pengujian Kuat Lekatan

Pengujian kuat lekat (*bond strength*) dilakukan dengan cara menempatkan silinder beton pada *loading frame* yang dilengkapi dengan *hydraulic jack* dan *load cells*, kemudian batang tulangan yang tertanam pada silinder ditarik sampai tercabut (*Pull-Out Test*). Pengujian ini dilakukan terhadap benda uji yang telah berumur 28 hari dengan cara menarik baja tulangan yang tertanam pada silinder beton.

3.7 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian yang dilakukan sesuai dengan Gambar 3.5 berikut:





IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton

Pemeriksaan bahan penyusun beton yang dilaksanakan sebelum dilakukan penelitian meliputi pemeriksaan berat satuan agregat, pemeriksaan berat jenis agregat, pemeriksaan gradasi agregat, pemeriksaan kandungan lumpur agregat halus dan pemeriksaan ketahanan aus agregat kasar. Hasil pemeriksaan bahan penyusun beton dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton.

Agregat	Kadar Lumpr (%)	Berat Satuan (gr/cm ³)		Berat Jenis		Gradasi MHB	Keausan Agregat (%)		Kadar Air (%)
		Lepas	Padat	Kering	SSD		100 putaran	500 putaran	
Pasir	0.57	1.24	1.49	2.54	2.62	3.17	-	-	5
Batu Pecah	-	1.48	1.53	2.52	2.55	3.61	6.22	29.4	1.9
Serbuk Kaca	-	-	-	2.36	2.46	2.71	-	-	-

4.1.1 Berat Satuan Agregat

Pemeriksaan berat agregat kasar dan agregat halus masing masing menggunakan 2 buah sampel. Dalam pemeriksaan ini didapatkan data berupa berat satuan gembur dan berat satuan padat.

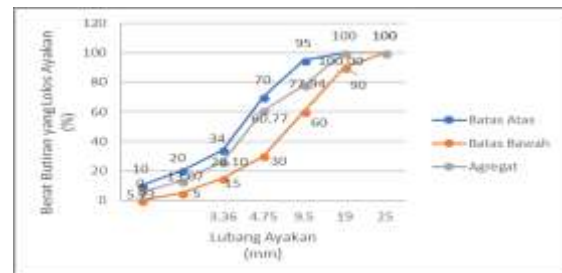
Hasil pemeriksaan pada agregat kasar menghasilkan data berat satuan lepas rata-rata sebesar 1.484 gr/cm³ dan berat satuan padat rata-rata sebesar 1.533 gr/cm³. Sedangkan untuk agregat halus didapatkan berat satuan lepas rata-rata sebesar 1.243 gr/cm³ dan berat satuan padat rata-rata sebesar 1.491 gr/cm³. Hasil ini menunjukan bahwa kedua material ini termasuk dalam jenis agregat normal yang memiliki berat satuan antara 1.2-1.6 gr/cm³ (Tjokrodimuljo, 1996).

4.1.2 Berat Jenis Agregat

Pemeriksaan berat jenis agregat kasar dan agregat halus meliputi pemeriksaan berat jenis pada kondisi kering dan berat jenis dalam kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*). Hasil pemeriksaan untuk agregat kasar didapat berat jenis dalam kondisi kering rata-rata sebesar 2.517 gr/cm³ dan berat jenis dalam kondisi SSD rata-rata sebesar 2.550 gr/cm³. Sedangkan untuk agregat halus didapatkan berat jenis dalam kondisi kering rata-rata sebesar 2.542 gr/cm³ dan berat jenis dalam kondisi SSD adalah 2.616 gr/cm³. Hasil ini menunjukkan bahwa pasir dan kerikil yang digunakan termasuk jenis agregat normal yang memiliki berat jenis antara 2.5 – 2.7 (Tjokrodimuljo, 1996).

4.1.3 Gradasi Agregat

Hasil analisis gradasi agregat pasir diperoleh pasir yang digunakan termasuk pada zone II yaitu pasir agak kasar, dimana pasir dalam kondisi ini banyak digunakan sebagai material penyusun beton, dari analisis gradasi yang telah dilakukan didapat modulus kehalusan butiran dimana persentase kumulatif tinggal ayakan berbanding dengan persentase tertinggal ayakan, sehingga didapat modulus kehalusan butiran sebesar 3.167. Dapat dilihat pada grafik gradasi pasir rencana pada Gambar 4.1 bahwa semua agregat halus yang melewati lubang ayakan berada diantara batas atas dan batas bawah gradasi pasir.

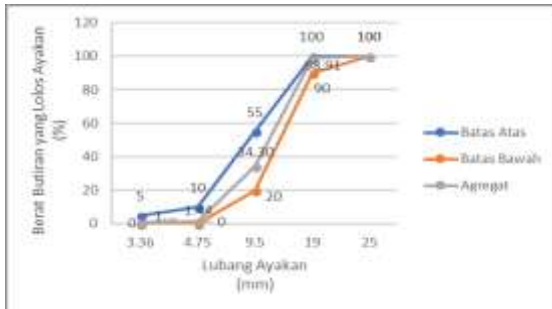


Gambar 4.1 Gradasi Agregat Halus

Dengan nilai modulus halus butiran sebesar 3.167 maka pasir ini telah memenuhi persyaratan modulus kehalusan butiran sebesar 1.5-3.8 (Tjokrodimuljo, 1996). Makin besar nilai modulus halus butiran menunjukkan bahwa butiran-butiran besar mendominasi agregat tersebut.

Dengan prosedur yang sama seperti pemeriksaan gradasi pasir, hasil pemeriksaan gradasi kerikil menunjukan modulus kehalusan butiran sebesar 5.62 dengan diameter butiran maksimum yang digunakan 20 mm. Dapat dilihat pada grafik gradasi kerikil rencana

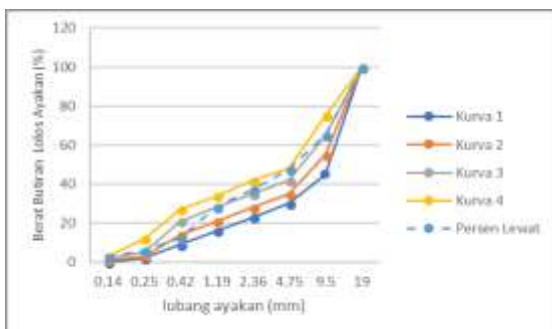
(Gambar 4.2), bahwa semua agregat kasar yang melewati lubang ayakan berada diantara batas atas dan batas bawah gradasi kerikil.



Gambar 4.2 Gradasi Agregat Kasar

Dengan nilai modulus halus butiran sebesar 6.65 maka krikil ini telah memenuhi persyaratan modulus kehalusan butiran sebesar 5-8 (Tjokrodimuljo,1996). Seperti yang telah dikatakan sebelumnya makin besar nilai modulus halus butiran menunjukkan bahwa butiran-butiran besar mendominasi agregat tersebut.

Setelah analisis gradasi agregat halus dan agregat kasar telah memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan, maka dalam praktek pembuatan mix design biasanya dilakukan pencampuran agar ditetapkan nilai gradasi yang baik antara agregat kasar dan agregat halus, grafik gradasi campuran dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Gradasi Agregat Campuran

Dari Gambar 4.3 Menunjukkan bahwa gradasi campuran (agregat kasar dan agregat halus) sudah sesuai dengan syarat yang telah ditetapkan, hal ini terlihat dari agregat masuk dalam batas 1, 2, 3, dan 4. Nilai MHB campuran sebesar 5,01, nilai sudah sesuai dengan syarat yang telah ditetapkan yaitu 5 - 6,5 (Tjokrodimulyo, 1996). Dari perencanaan gradasi campuran tersebut didapatkan persentase agregat yang akan digunakan pada campuran beton. Menggunakan metode *Trial and error* didapatkan persentase agregat yang akan digunakan pada campuran beton. Menggunakan metode trial and error

didapatkan persentase agregat halus sebesar 47% dan agregat kasar 53%.

4.1.4 Ketahanan Aus Agregat

Melalui pengujian ketahanan aus agregat kasar menggunakan mesin Los Angeles. Benda uji merupakan agregat kasar gradasi B dengan ukuran maksimum 20 mm dengan berat awal 5 kg. Dari pengujian didapatkan agregat yang hancur atau aus pada 100 putaran pertama sebesar 6.22% dari berat awal dan pada 500 putaran berikutnya agregat yang hancur sebesar 29.40% dari berat awal. Dimana setelah putaran 500 tidak boleh lebih dari 40%, krikil ini dapat digunakan sebagai beton agregat kasar untuk beton kelas II.

4.1.5 Kandungan Lumpur Agregat Halus

Hasil pemeriksaan kandungan lumpur agregat halus menunjukkan pasir yang digunakan memiliki kandungan lumpur sebesar 0.65% dari berat agregat. Persyaratan yang harus dipenuhi oleh agregat halus sebagai bahan penyusun beton adalah kandungan lumpur pasir tidak boleh lebih dari 2.5% dari berat agregat (Tjokrodimuljo, 1996). Dengan demikian agregat halus dapat digunakan sebagai bahan penyusun beton.

4.2 Pengujian Slump Beton Segar

Kelecekan adukan beton diukur dari nilai uji slump. Untuk masing masing proporsi serbuk kaca yang dipakai dalam campuran adukan beton, nilai slump seperti yang terdapat dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Uji Slump

Benda Uji	Serbuk Kaca (%)	Nilai Slump (cm)
NC-0%	0%	11
NC-5%	5%	8.5
NC-10%	10%	10
NC-15%	15%	11.5
NC-20%	20%	9

Berdasarkan Tabel 4.2. nilai slump yang diperoleh antara 8.5 sampai 11.5 cm. Nilai slump pada beton tanpa dan dengan substitusi serbuk kaca dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20% terhadap volume pasir menunjukkan bahwa campuran masih dapat dikerjakan dengan baik karena memiliki kelecekan yang masih berada dalam batas minimum nilai slump yaitu antara 7.5 cm - 15 cm (Tjokrodimuljo, 1996).

4.3 Pemeriksaan Berat Volume Beton

Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui berat beton per satuan volume. Adapun hasil pemeriksaan berat volume beton dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Berat Volume Beton

NO	Benda Uji	Berat Volume Beton Padat (kg/m ³)
1	NC-0%	2432.32
2	NC-5%	2413.47
3	NC-10%	2388.33
4	NC-15%	2262.07
5	NC-20%	2193.49

Dari hasil pemeriksaan berat volume beton, menunjukkan terjadinya penurunan berat volume beton pada setiap variasi substitusi serbuk kaca terhadap volume pasir. Hal ini disebabkan karena berat volume serbuk kaca lebih kecil dibandingkan berat volume agregat halus (pasir).

4.5 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat benda uji telah berumur 28 hari dengan menggunakan Compression Testing Machine untuk mendapatkan beban maksimum yaitu beban pada saat beton hancur ketika menerima beban tersebut (P maks). Kuat tekan beton kemudian dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-1). Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.5



Gambar 4.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

Dari hasil pengujian menunjukkan trend yang sama dengan penelitian Zaini (2017) yaitu terjadinya peningkatan kuat tekan beton seiring dengan peningkatan presentase substitusi agregat halus menggunakan serbuk kaca. Dimana dari gambar tersebut dapat kita ketahui kuat tekan beton maksimum didapatkan pada substitusi agregat halus

menggunakan serbuk kaca dengan variasi 10% terhadap volume pasir dengan presentase peningkatan sebesar 34.72%. Sementara untuk variasi serbuk kaca 5%, 15%, dan 20% rata-rata mengalami peningkatan berturut-turut sebesar 9.25%, 25.00%, dan 25.17% dibandingkan dengan beton normal (tanpa substitusi serbuk kaca). Hasil penelitian Zaini (2017) substitusi serbuk kaca terhadap agregat halus sebesar 5%, 10%, 15% dan 20% dari volume pasir didapatkan peningkatan kuat tekan berturut-turut yaitu seperti gambar diatas sebesar 10.77%, 25.71%, 21.39%, dan 6.294%, kuat tekan maksimum terdapat pada variasi substitusi serbuk kaca 10%.

Antara beton normal (tanpa serbuk kaca) dengan beton dengan serbuk kaca menunjukkan terjadinya peningkatan kuat tekan beton. Peningkatan kuat tekan beton terjadi dari 9.25% sampai 34.72%. Hal ini terjadi karena butiran serbuk kaca sebagai substitusi pasir bentuknya cenderung runcing sehingga campuran menjadi lebih terikat dan semakin kuat. Peningkatan juga bisa terjadi karena butiran butiran halus dari serbuk kaca dapat menjadi pengisi (*filler*) yang berfungsi mengisi celah atau rongga-rongga pada beton sehingga dapat meningkatkan kuat desak beton itu sendiri.

4.6 Pengujian Kuat Geser Beton

Pengujian kuat geser beton menghasilkan data berupa beban maksimum yang mengakibatkan keruntuhan beton. Kuat geser beton dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-2). Hasil pengujian Gambar 4.8.



Gambar 4.5 Hasil Pengujian Kuat Geser Beton

Dari hasil pengujian menunjukkan terjadinya peningkatan kuat geser beton seiring dengan peningkatan presentase substitusi agregat halus menggunakan serbuk

kaca. Dimana dari gambar tersebut dapat kita ketahui kuat geser beton maksimum didapatkan pada substitusi agregat halus menggunakan serbuk kaca dengan variasi 15% terhadap volume pasir dengan presentase peningkatan sebesar 20.93%. Sementara untuk variasi serbuk kaca 5%, 10%, dan 20% rata-rata mengalami peningkatan berturut-turut sebesar 6.97%, 13.95%, dan 16.28% dibandingkan dengan beton normal (tanpa substitusi serbuk kaca).

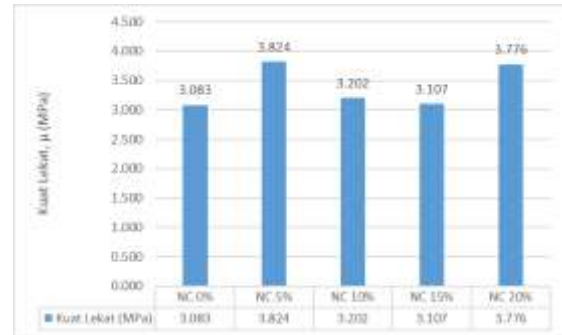
Antara beton normal (tanpa serbuk kaca) dengan beton dengan serbuk kaca menunjukkan terjadinya peningkatan kuat geser beton. Peningkatan kuat geser beton terjadi dari 6.98% sampai 20.93%. Hal ini terjadi karena butiran serbuk kaca sebagai substitusi pasir bentuknya cenderung rucing sehingga campuran menjadi lebih terikat dan semakin kuat. Peningkatan juga bisa terjadi karena butiran halus dari serbuk kaca dapat menjadi pengisi (*filler*) yang berfungsi mengisi celah atau rongga-rongga pada beton sehingga dapat meningkatkan kuat geser beton itu sendiri.

4.7 Pengujian Kuat Lekatan Baja Tulangan dengan Beton

Pada penelitian ini, pengujian kuat lekatan baja tulangan dilakukan dengan cara menempatkan silinder beton pada *loading frame* yang dilengkapi dengan *hydraulic jack* dan *load cells*, kemudian batang tulangan yang tertanam pada silinder ditarik sampai tercabut. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan beban maksimum yaitu beban pada saat baja tulangan bergeser/tercabut dari beton ketika menerima beban tersebut (P maks). Pengujian tersebut menggunakan benda uji sebanyak 15 buah (3 buah tiap proporsi) dengan kedalaman penjangkaran 100 mm.

a) Tulangan Polos

Hasil perhitungan kuat lekatan tulangan polos menggunakan benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm pada umur 28 hari serta kedalaman penjangkaran tulangan polos sedalam 10 cm, didapatkan nilai kuat lekatan rata-rata dari benda uji untuk setiap proporsi serbuk kaca 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% berturut-turut adalah sebesar 3.083 MPa, 3.824 MPa, 3.202 MPa, 3.107 MPa, dan 3.776 MPa. Grafik yang menggambarkan hubungan jumlah serbuk kaca terhadap kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 4.10



Gambar 4.6 Hasil Pengujian Kuat Lekatan Baja Tulangan Polos terhadap Beton pada berbagai Variasi Jumlah Serbuk Kaca

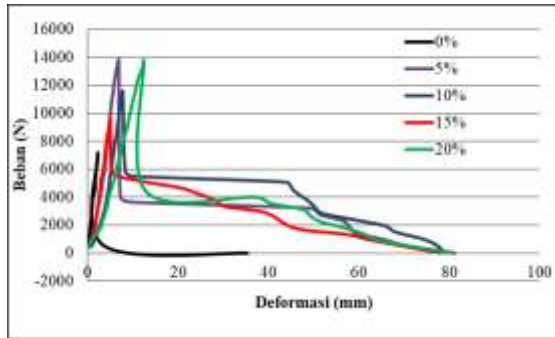
Dari Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa kuat lekatan tulangan polos mengalami peningkatan dibandingkan beton tanpa substitusi serbuk kaca. Besarnya persentase peningkatan kuat lekatan baja tulangan polos yang menggunakan serbuk kaca sebagai pengganti agregat halus pasir dapat dilihat pada Tabel 4.6

Tabel 4.6 Persentase Peningkatan Kuat Lekatan Tulangan ULI

Kuat Lekatan Tulangan (0% Substitusi Serbuk Kaca) (Mpa)	Persentase Proporsi Substitusi Serbuk Kaca (%)	Kuat Lekatan Tulangan Rata-Rata (Mpa)	Penurunan Kuat Lekatan	
			Mpa	%
3.08	5%	3.82	0.741	24.04
	10%	3.20	0.119	3.863
	15%	3.11	0.024	0.781
	20%	3.78	0.693	22.48

Peningkatan kuat lekatan ini terjadi karena butiran serbuk kaca sebagai substitusi pasir bentuknya cenderung rucing sehingga campuran menjadi lebih terikat dan semakin kuat. Peningkatan juga bisa terjadi karena butiran halus dari serbuk kaca dapat menjadi pengisi (*filler*) yang berfungsi mengisi celah atau rongga-rongga pada beton sehingga dapat meningkatkan kuat lekatan tulangan polos terhadap beton itu sendiri.

Untuk grafik hubungan antara beban-deformasi pada tulangan polos beton dengan berbagai variasi substitusi serbuk kaca dapat dilihat pada Gambar 4.7



Gambar 4.7 Hubungan Beban-Deformasi beton Tulangan Polos dengan berbagai Variasi Substitusi Serbuk Kaca

Berdasarkan Gambar 4.7 memperlihatkan hubungan antara beban dengan deformasi pada tulangan polos beton dengan atau tanpa substitusi serbuk kaca. Secara umum, hasil pengujian menunjukkan variasi substitusi serbuk kaca memiliki kemampuan menahan beban yang berbeda. Dimana beban dari pencampuran substitusi serbuk kaca menunjukkan peningkatan beban di semua variasi substitusi. Sedangkan deformasi yang didapatkan terlihat yaitu beton tanpa proporsi substitusi serbuk kaca mengalami kekangan yang paling tinggi dengan digambarkan sudut kemiringan yang besar, disusul dengan proporsi substitusi yang lainnya dengan hasil kekangan terus melemah. Pada proporsi substitusi serbuk kaca 20% mengalami kekangan yang paling lemah dengan digambarkan sudut kemiringan yang kecil. Hal ini terjadi karena pengaruh pemberian substitusi serbuk kaca akan memperlemah kekangan dari tulangan polos tersebut diakibatkan oleh adhesi antara beton dan tulangan polos yang mengakibatkan penurunan kekangan tulangan. Kekangan yang dimaksud ditunjukkan dari sudut kemiringan terhadap beban dibagi deformasi.

b) Tulangan Ulir

Hasil perhitungan kuat lekat tulangan ulir menggunakan benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm pada umur 28 hari serta kedalaman penjangkaran tulangan ulir sedalam 10 cm, didapatkan nilai kuat lekat rata-rata dari benda uji untuk setiap proporsi campuran substitusi serbuk kaca 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% berturut-turut adalah sebesar 9.45 MPa, 12.74 MPa, 11.56 MPa, 10.25 MPa dan 10.58 MPa. Grafik yang menggambarkan hubungan jumlah proporsi serbuk kaca terhadap kuat lekat baja tulangan ulir beton dapat dilihat pada Gambar 4.8



Gambar 4.8 Hasil Pengujian Kuat Lekatan Baja Tulangan Ulir Terhadap Beton Pada Berbagai Variasi Substitusi Serbuk Kaca

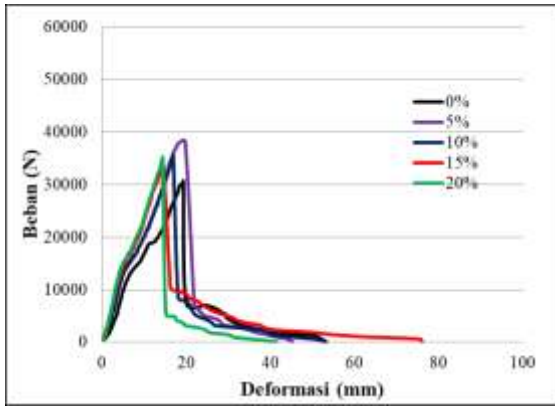
Besarnya persentase peningkatan kuat lekat baja tulangan ulir yang menggunakan serbuk kaca sebagai pengganti agregat halus pasir dapat dilihat pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Persentase Peningkatan Kuat Lekat Tulangan Ulir Terhadap Beton Berbagai Variasi Jumlah Substitusi Serbuk Kaca

Kuat Lekat Tulangan (0% Substitusi Serbuk Kaca) (Mpa)	Persentase Agregat Daur Ulang (%)	Kuat Lekat Tulangan Rata-Rata (Mpa)	Peningkatan Kuat Lekatan	
			Mpa	%
9.45	5%	12.74	3.29	34.83
	10%	11.57	2.12	22.39
	15%	10.25	0.80	8.46
	20%	10.58	1.13	11.94

Peningkatan nilai kuat lekat antara baja tulangan ulir dengan beton campuran serbuk kaca ini terjadi karena tulangan ulir memiliki ruang atau celah untuk campuran beton melekat di sepanjang ulirnya. Sehingga ketika ada reaksi penarikan tulangan maka akan terjadi reaksi gaya geser beton di setiap celah ulir dari tulangan tersebut. Dari hasil pengujian kuat geser beton didapatkan hasil peningkatan kuat geser beton seiring dengan peningkatan presentase substitusi agregat halus menggunakan serbuk kaca. Maka nilai kuat lekat baja tulangan ulir juga meningkat terhadap beton pada berbagai variasi substitusi serbuk kaca.

Untuk grafik hubungan antara beban-deformasi pada beton tulangan ulir dengan berbagai variasi substitusi serbuk kaca dapat dilihat pada Gambar 4.9



Gambar 4.9 Hubungan Beban-Deformasi beton Tulangan Ulir dengan berbagai Variasi Substitusi Serbuk Kaca

Berdasarkan Gambar 4.13 memperlihatkan hubungan antara beban-dengan deformasi tulangan ulir pada beton dengan atau tanpa substitusi serbuk kaca. Secara umum, hasil pengujian menunjukkan variasi beton dengan substitusi serbuk kaca memiliki kemampuan menahan beban yang berbeda. Dimana beban dari pencampuran substitusi serbuk kaca menunjukkan peningkatan beban disemua variasi substitusi. Sedangkan deformasi yang didapatkan terlihat yaitu beton dengan proporsi substitusi serbuk kaca mengalami peningkatan kekangan dengan digambarkan sudut kemiringannya yang besar, kekangan tertinggi terjadi pada proporsi substitusi srbuk kaca 20%, semakin berkurangnya proporsi substitusi serbuk kaca maka semakin lemah kekangan tersebut. Pada beton tulangan ulir tanpa substitusi serbuk kaca mengalami kekangan yang paling lemah dengan digambarkan sudut kemiringan yang kecil. Hal ini terjadi karena pengaruh pemberian substitusi serbuk kaca akan meningkatkan kekangan dan beban dari tulangan ulir tersebut diakibatkan oleh kohesi antara beton yang mengisi celah tulangan ulir itu sendiri. Kekangan yang dimaksud ditunjukan dari sudut kemiringan beban dibagi deformatsi.

4.8 Hubungan Kuat Geser dengan Kedalaman Penjangkaran Tulangan Polos dan Tulangan Ulir

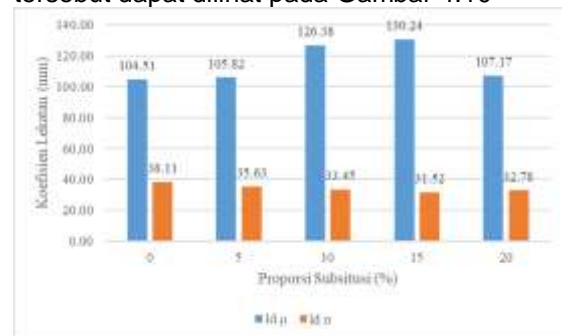
a) Tulangan Polos

Hasil pengujian kuat geser selanjutnya dibandingkan dengan hasil pengujian kuat lekat beton tulangan polos yaitu dengan membuat hubungan antara kedalaman penjangkaran berdasarkan kuat geser dan kuat lekat beton tulangan polos. Nilai kedalaman penjangkaran kuat geser beton diasumsikan dengan mensubstitusi nilai kuat

geser ke nilai kuat lekat pada Persamaan 2-6. Rumus nilai kuat lekat berdasarkan persamaan 2-6 yaitu $\mu = \frac{d_b f_y}{8l_d}$, dengan nilai μ disubstitusikan menjadi τ sehingga dapat diasumsikan persamaan panjang penyaluran untuk kuat geser sebagai berikut :

$$l_d = \frac{d_b f_y}{8\tau} \dots\dots\dots(4.4)$$

Dari persamaan diatas dapat dibuat grafik hubungan kedalaman penjangkaran berdasarkan kuat geser dengan kuat lekat beton tulangan polos. Grafik hubungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.10



Gambar 4.10 Hubungan Panjang Penyaluran Kuat Lekat Tulangan Polos dan Panjang Penyaluran Kuat Geser

Berdasarkan Gambar 4.10 hubungan panjang penjangkaran kuat lekat dengan kuat geser untuk beton tulangan polos dengan atau tanpa variasi substitusi serbuk kaca diperoleh bahwa panjang penyaluran lekatan lebih besar daripada panjang penyaluran kuat geser untuk beton tulangan polos. Hal ini menunjukkan bahwa keruntuhan benda uji terjadi pada lekatan antara tulangan baja dengan beton.

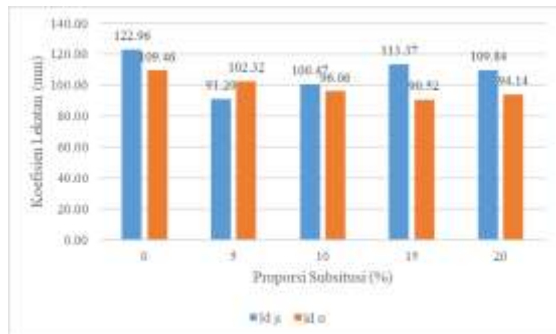
b) Tulangan Ulir

Hasil pengujian kuat geser selanjutnya dibandingkan dengan hasil pengujian kuat lekat beton tulangan ulir yaitu dengan membuat hubungan antara kedalaman penjangkaran berdasarkan kuat geser dan kuat lekat beton tulangan ulir. Nilai kedalaman penjangkaran kuat geser beton diasumsikan dengan mensubstitusi nilai kuat geser ke nilai kuat lekat pada Persamaan 2-5. Rumus nilai kuat lekat berdasarkan persamaan 2-5 yaitu $\mu = \frac{d_b f_y}{4l_d}$, dengan nilai μ disubstitusikan menjadi τ sehingga dapat diasumsikan persamaan panjang penyaluran untuk kuat geser sebagai berikut :

$$l_d = \frac{d_b f_y}{4\tau} \dots\dots\dots(4-5)$$

Dari persamaan diatas dapat dibuat grafik hubungan kedalaman penjangkaran

berdasarkan kuat geser dengan kuat lekat beton tulangan ulir. Grafik hubungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.11



Gambar 4.11 Hubungan Panjang Penyaluran Kuat Lekat Tulangan Ulir dan Panjang Penyaluran Kuat Geser Beton

Berdasarkan Gambar 4.11 hubungan panjang penjangkaran kuat lekat tulangan ulir dengan kuat geser untuk beton dengan atau tanpa variasi substitusi serbuk kaca diperoleh bahwa panjang penyaluran lekatan lebih besar daripada panjang penyaluran kuat geser pada variasi 0%, 10%, 15%, dan 20%. Hal ini menunjukkan bahwa keruntuhan benda uji terjadi pada lekatan antara tulangan baja dengan beton. Namun pada variasi substitusi serbuk kaca 5%, Panjang penyaluran lekatan lebih kecil dari pada panjang penyaluran kuat geser. Ini diakibatkan karena tegangan lekat sudah maksimum atau bisa dikatakan bekerja dengan baik sehingga diperoleh panjang penyaluran cukup baik, bahkan lebih pendek dari panjang penyalran geser dan secara teoritis mestinya keruntuhannya berupa keruntuhan geser.

4.8 Ragam Kegagalan

Setelah uji pull out test dilakukan, selanjutnya dilakukan pengamatan terhadap kerusakan yang terjadi pada semua benda uji. Pola kerusakan yang terjadi pada setiap jenis beton. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pola keruntuhan yang terjadi untuk beton dengan tulangan polos maupun ulir berbagai variasi proporsi substitusi sama yaitu keruntuhan slip. Pada semua jenis beton terjadinya kegagalan lekatan pada baja mengalami kegagalan dan tulangan baja tidak putus. Sedangkan keadaan beton tulangan ulir setelah uji pul out test yaitu pada setiap proporsi substitusi kaca, beton hancurnya dibagian permukaan lubang sedangkan untuk tulangan polos dengan berbagai proporsi substitusi serbuk kaca beton masih dalam keadaan utuh.

V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, analisa data dan pembahasan dapat diambil

kesimpulan sebagai berikut:

- 1) a. Kuat tekan beton dengan substitusi serbuk kaca untuk semua variasi lebih tinggi jika dibandingkan dengan beton normal (tanpa substitusi serbuk kaca), dimana kuat tekan maksimum didapatkan pada pada variasi substitusi serbuk kaca 10% terhadap volume pasir dengan presentase peningkatan sebesar 34.722%.
 - b. Kuat geser beton dengan substitusi serbuk kaca untuk semua variasi lebih tinggi jika dibandingkan dengan beton normal (tanpa substitusi serbuk kaca), dimana kuat geser maksimum didapatkan pada variasi substitusi serbuk kaca 15% terhadap volume pasir dengan presentase peningkatan sebesar 20.930%.
- 2) Kuat lekat baja tulangan polos untuk semua variasi lebih tinggi jika dibandingkan dengan beton normal (tanpa substitusi serbuk kaca), dimana kuat lekat tulangan baja polos maksimum didapatkan pada variasi substitusi serbuk kaca 5% terhadap volume pasir dengan persentase sebesar 24.04% jika dibandingkan dengan beton normal tanpa substitusi serbuk kaca. Sama halnya dengan kuat lekat baja tulangan ulir untuk semua variasi lebih tinggi jika dibandingkan dengan beton normal (tanpa substitusi serbuk kaca), dimana kuat lekat tulangan baja ulir maksimum didapatkan pada variasi substitusi serbuk kaca 5% terhadap volume pasir dengan persentase sebesar 34.82% jika dibandingkan dengan beton normal tanpa substitusi serbuk kaca.
- 3) Ragam kegagalan pada benda uji pada setiap jenis beton tulangan ulir maupun polos dengan atau tanpa substitusi serbuk kaca sama yaitu terjadinya slip dimana hilangnya lekatan pada tulangan baja dan baja tidak putus, sedangkan keadaan beton setelah uji pill out test yaitu hancurnya beton dibagian permukaan lubang.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilaksanakan, dapat diberikan saran yang diharapkan bisa bermanfaat antara lain:

- 1) Diperlukan adanya penelitian beton dengan substitusi serbuk kaca lebih lanjut untuk memperhatikan efek dari ASR (*Alkali Silika Reaction*).
- 2) Penelitian lebih lanjut mengenai lekatan baja tulangan dengan beton menggunakan substitusi serbuk kaca perlu dilakukan menggunakan mutu beton, diameter baja tulangan maupun kedalaman penjangkaran yang lebih bervariasi.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM International. "Annual Book Of ASTM Standards 2005, Section Four: Construction Vol 04-02"

Agil, L. H. P., 2017. *Pengaruh Proporsi Recycle Agregat Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Lekatan (Bond Strength) Tulangan Baja Menggunakan Metode Pull-Out*, Skripsi. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram.

Ferguson, P. M. 1991, *Dasar-Dasar Beton Bertulang*, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Herbudiman, B. dan Januar, C. 2011, *Pemanfaatan Serbuk Kaca Sebagai Powder Self Compacting Concrete*, jurnal tugas akhir, Institut Teknologi Nasional, Bandung.

<http://www.civil.columbia.edu/meyer>.
Concrete Materials Research at Columbia University. Columbia University in the City of New York

Judea, R. T. 2013, *Optimalisasi Konsentrasi Tailing sebagai Substitusi Parsial Semen terhadap Kuat Tekan Beton Beragregat Halus Pecahan Kaca dan Pasir*, laporan tugas akhir, Universitas Sam Ratulangi, Manado.

Lukito, I. C. 2011. *Studi Perilaku Kuat Geser Pada Beton dengan Menggunakan Serat Kawat Bendrat*. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Nawy, E., G.P.E. 1998. *BETON BERTULANG (Suatu Pendekatan Dasar)*. Bandung:Refika Adiatma

Nuryani, TA. 2005. *Pengaruh Rasio Tulangan Pada Berbagai Mutu Beton Terhadap Penguatan Tarik Baja Tulangan Beton Bertulang (Tension Stiffening Effect)*. Tesis.

Program Pascasarjana Universitas Diponegoro. Semarang.

Park, R. dan Paulay, T., 1975, *Reinforced Concrete Structures*, John Wiley and Sons. Inc., New York.

Rusyadi, S. 2014, *Pengaruh Mutu Beton terhadap Kuat Lekat antara Beton dan Baja Tulangan*. Jurnal, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya.

SNI 7656:2012, *Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa*.

SNI 2847.2013, *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, Badan Standardisasi Nasional Indonesia.

Tjokrodimuljo, K., 2012, *Teknologi Beton*, KMTS FT UGM, Yogyakarta.

Wang, C.K. dan Salmon, C.G., (*alih bahasa: Binsar Hariandja*), 1986, , Edisi Keempat. Erlangga, Jakarta.

Winter G., dan Nilson, A.H., 1993, *Pradnya Paramita, Jakarta Desain Beton Bertulang Perencanaan Struktur Beton Bertulang*

Zaini, A. 2007, *Limbah Kaca Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Terhadap Sifat Mekanik Beton*, Skripsi. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram.