

**ARTIKEL ILMIAH**

**PENGARUH VARIASI KEDALAMAN PENJANGKARAN  
TERHADAP KUAT LEKAT (*BOND STRENGTH*) TULANGAN BAJA  
ULIR PADA BETON NORMAL, BETON RINGAN DAN BETON  
MUTU TINGGI**

*The Effects of Various Anchoring Depth to The Bond Strength of  
Deformed Steel Reinforcement on The Normal Concrete, Light Weight  
Concrete and High Strength Concrete*

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



Oleh:

**ERVIA RIANI**

**F1A 113 012**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MATARAM**

**2018**

**ARTIKEL ILMIAH**

**PENGARUH VARIASI KEDALAMAN PENJANGKARAN  
TERHADAP KUAT LEKAT (*BOND STRENGTH*) TULANGAN  
BAJA ULIR PADA BETON NORMAL, BETON RINGAN DAN  
BETON MUTU TINGGI**

*The Effects of Various Anchoring Depth to The Bond Strength of  
Deformed Steel Reinforcement on the Normal Concrete, Light  
Weight Concrete and High Strength Concrete*

Oleh:

**ERVIA RIANI  
(F1A 113 012)**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

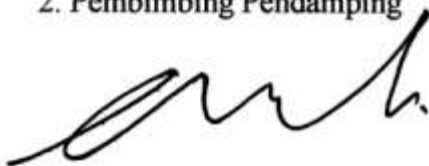
1. Pembimbing Utama



**Hariyadi, ST., MSc(Eng.), Dr.Eng.**  
NIP: 19731027 199802 1 001

Tanggal: 7/7 2018

2. Pembimbing Pendamping



**Ir. Miko Eniarti, MT.**  
NIP : 19650315 199103 2 002

Tanggal: 2018

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Mataram

**Jauhar Fajrin, ST., MSc(Eng.), Ph.D.**  
NIP. 19740607 199802 1 001



**ARTIKEL ILMIAH**

**PENGARUH VARIASI KEDALAMAN PENJANGKARAN  
TERHADAP KUAT LEKAT (*BOND STRENGTH*) TULANGAN  
BAJA ULIR PADA BETON NORMAL, BETON RINGAN DAN  
BETON MUTU TINGGI**

*The Effects of Various Anchoring Depth to the Bond Strength of  
Deformed Steel Reinforcement on the Normal Concrete, Light  
Weight Concrete and High Strength Concrete*

Oleh:  
**ERVIA RIANI**  
(F1A 113 012)

Telah dipertahankan didepan Dewan Penguji  
Pada Tanggal, 07 Juli 2018  
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Susunan Tim Penguji

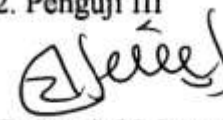
1. Penguji I

  
**Ni Nyoman Kencanawati, ST., MT., Ph.D.**  
NIP: 19760804 200003 2 001

2. Penguji II

  
**Suparto, ST., MT**  
NIP : 19670814 199412 1 001

2. Penguji III

  
**Fathmah Mahmud, ST., MT.**  
NIP : 19711109 200012 2 001

Mataram, 2018  
Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Mataram

  
Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Mataram  
**Akmaluddin, ST., M.Sc. (Eng.), Ph.D.**  
NIP: 19681231 199412 1 001



**PENGARUH VARIASI KEDALAMAN PENJANGKARAN TERHADAP KUAT LEKAT (*BOND STRENGTH*) TULANGAN BAJA ULIR PADA BETON NORMAL, BETON RINGAN DAN BETON MUTU TINGGI**

**Ervia Riani<sup>1</sup>, Harivadi<sup>2</sup>**  
Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram

**INTISARI**

Beton mempunyai kekuatan yang besar dalam menahan gaya tekan (*compression*), namun lemah dalam menahan gaya tarik. Bagian beton yang menahan gaya tarik akan diperkuat atau ditahan oleh baja tulangan. Baja tulangan berfungsi untuk meningkatkan daktilitas, sehingga *safety* struktur beton untuk mendukung beban menjadi meningkat. Pada komponen struktur beton bertulang yang menahan beban, akan timbul tegangan lekat pada permukaan singgung antara batang tulangan dengan beton. Salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya kuat lekat tersebut yaitu variasi kedalaman penjangkaran dan mutu beton. Berdasarkan hal tersebut perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh variasi kedalaman penjangkaran terhadap kuat lekat (*bond strength*) pada beton normal, beton ringan dan beton mutu tinggi.

Penelitian ini menggunakan benda uji silinder berukuran 15 x 30 cm untuk kuat tekan dan uji kuat tarik lekatan, double-L memiliki ukuran 30 x 20 x 7,5 cm untuk uji geser beton. Jumlah benda uji untuk setiap variasi kedalaman penjangkaran dan mutu beton sebanyak 3 buah. Tulangan baja ulir dengan diameter 10 mm di jangkarkan di tengah tampang silinder dengan variasi kedalaman 50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm dan 250 mm. Pengujian kuat tekan, kuat geser dan kuat lekat dilakukan setelah beton berumur 28 hari.

Dari hasil penelitian didapatkan hubungan kuat lekat dengan kedalaman penjangkaran pada beton mutu tinggi diperoleh kuat lekat maksimum pada kedalaman penjangkaran 150 mm dengan kuat lekat sebesar 6,245 MPa dan kuat lekat minimum terdapat pada kedalaman 250 mm dengan kuat lekat sebesar 3,795 MPa. Pada beton normal kuat lekat mengalami penurunan seiring dengan semakin besarnya variasi kedalaman penjangkaran, sedangkan pada beton ringan kuat lekat mengalami kenaikan seiring dengan semakin besarnya kedalaman penjangkaran. Untuk nilai prosentase hubungan kuat tekan dengan kuat geser pada setiap mutu beton berturut-turut sebesar 21,707 %, 40,365 % dan 54,143 %. Selain itu dari penelitian didapatkan nilai korelasi hubungan kuat lekat dengan kuat geser berdasarkan panjang penjangkaran yang diperlukan terhadap kuat lekat dan kuat geser untuk semua mutu beton, bahwa panjang penyaluran lekatan lebih besar dari pada panjang penyaluran geser pada beban tarik yang sama sehingga menunjukkan terjadinya keruntuhan pada lekatan antara tulangan dan beton. Dari penelitian ini didapatkan tiga jenis keruntuhan, yaitu *bonding failure*, *side face blowout*, dan *anchor failure*. Anchor failure yaitu kondisi dimana tulangan baja terputus jika kedalaman penjangkaran melampaui dari kedalaman penjangkaran perhitungan berdasarkan SNI 2847-2013.

**Kata Kunci:** Tulangan baja ulir, kedalaman penjangkaran, kuat lekat, beton mutu tinggi, beton normal, beton ringan.

---

<sup>1</sup>Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Mataram

<sup>2</sup>Dosen Pembimbing Utama

## PENDAHULUAN

Beton merupakan material yang sangat umum digunakan dalam komponen suatu bangunan baik sebagai komponen struktur maupun non struktur. Beton juga dapat didefinisikan sebagai bahan bangunan dan konstruksi yang sifat-sifatnya dapat ditentukan terlebih dahulu dengan mengadakan perencanaan dan pengawasan yang teliti terhadap bahan-bahan yang dipilih. Beton sangat banyak digunakan secara luas sebagai bahan bangunan. Banyaknya penggunaan beton dalam suatu konstruksi menuntut upaya penciptaan mutu yang baik. Usaha yang serius terhadap upaya pengembangan teknologi perlu didukung dengan penelitian guna menyempurnakan kekurangan-kekurangan yang dimiliki oleh suatu bahan bangunan.

Mutu beton pada dasarnya dipengaruhi oleh mutu dan proporsi bahan penyusun, yaitu: mutu agregat, (yang meliputi modulus kehalusan, proporsi campuran, factor air semen, proses pengadukan maupun cara pengerjaan selama penuangan adukan beton, proses pemadatan dan cara perawatan selama proses pengerasan (Tjokrodimuljo, 2007).

Salah satu dasar anggapan yang digunakan dalam perancangan dan analisis struktur beton bertulang ialah bahwa ikatan antara baja dan beton yang mengelilinginya berlangsung sempurna tanpa terjadi penggelinciran atau pergeseran. Berdasarkan atas anggapan tersebut dan juga sebagai akibat lebih lanjut, pada waktu komponen struktur beton bertulang bekerja menahan beban akan timbul tegangan lekat yang berupa *shear interlock* pada permukaan singgung antara batang tulangan dengan beton (Istimawan, 1993).

Tegangan lekat antara beton dan tulangan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu ikatan antara hasil reaksi pengerasan beton akibat hidrasi semen yang merekat pada seluruh bidang kontak anatar beton dan tulangan, tahanan geser terhadap gelinciran dan saling mengunci pada saat elemen penguat atau tulangan mengalami tegangan tarik. Mekanisme ini terbentuk karena adanya permukaan yang tidak beraturan pada bidang kontak antara beton dan tulangan.

Selain faktor di atas tegangan lekat juga dipengaruhi oleh efek penjangkaran dapat berupa panjang penjangkaran. Penambatan atau penjangkaran akan berlangsung dengan baik apabila batang tulangan tersebut tertanam kokoh di dalam beton pada jarak kedalaman tertentu yang disebut sebagai panjang penyaluran batang tulangan baja. Kegagalan penjangkaran tulangan ada dua

macam yaitu tercabutnya tulangan dari beton dan meleleh (putusnya) tulangan, hal ini ditentukan oleh kedalaman penjangkaran dan besarnya lekatan beton dan baja.

Hilangnya lekatan antara beton dan baja tulangan pada struktur mengakibatkan keruntuhan total pada balok. Untuk menghindari hal tersebut perlu ditinjau nilai kuat lekat beton dan baja tulangan agar diperoleh keseimbangan gaya antara baja tulangan dan beton, yaitu gaya-gaya yang dapat ditahan antara baja tulangan dan beton sama dengan gaya yang dapat ditahan baja tulangan pada batas leleh. Sehingga kegagalan sistem penjangkaran yang terjadi diupayakan berupa lelehnya tulangan baja bukan tercabutnya tulangan dari beton, agar keruntuhan daktail dapat terpenuhi. Kekuatan angkur/penjangkaran pada beton yang memuat pada standar-standar biasanya mengasumsikan lekatan itu seragam namun asumsi ini tidak sepenuhnya benar karena tegangan lekatan dipengaruhi oleh kedalaman penjangkaran.

## LANDASAN TEORI

### Beton

Beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (SNI-03-2847-2013). Salah satu kekuatan beton adalah termasuk bahan yang berkekuatan tinggi. Bila dibuat dengan cara yang baik, kuat tekannya dapat sama dengan batuan alami (Tjokrodimoljo,2007).

Pemakaian beton sangat luas karena memiliki keunggulan dibandingkan dengan materi struktur yang lain. Secara lebih rinci keunggulan beton adalah :

- 1) Ketersediaan material dasar
- 2) Kemudahan untuk digunakan
- 3) Kemampuan beradaptasi
- 4) Ketahanan yang tinggi

Selain memiliki keunggulan seperti yang disebutkan diatas, beton juga memiliki kekurangan sebagai berikut :

- 1) Berat sendiri yang besar
- 2) Kekuatan tarik yang rendah
- 3) Cenderung mudah retak
- 4) Struktur beton sulit dipindahkan
- 5) Pemakaian kembali atau daur ulang sulit, tidak ekonomis.

Beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi 2200-2500 kg/m<sup>3</sup> menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah yang tidak menggunakan bahan

tambahan.

Beton ringan struktural adalah beton yang memakai agregat ringan atau campuran agregat kasar ringan dan pasir sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan tidak boleh melampaui berat isi maksimum beton 1850 kg/m<sup>3</sup> kondisi kering permukaan jenuh dan harus memenuhi persyaratan kuat tekan dan kuat tarik belah beton ringan untuk tujuan struktural (SNI 03-3449-2002).

Beton mutu tinggi (*high strength concrete*) yang tercantum dalam SNI 03-6468-2000 didefinisikan sebagai beton yang mempunyai kuat tekan yang disyaratkan lebih besar sama dengan 41,4 MPa.

### Kekuatan Tekan Beton

Menurut SNI 03-1974-1990 kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Tegangan tekan maksimum  $f'_c$  dapat dirumuskan :

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad \dots\dots\dots 1$$

dengan :

- $f'_c$  = kuat tekan beton (MPa)
- $P$  = beban maksimum (N)
- $A$  = luas penampang benda uji (mm<sup>2</sup>)

### Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas yaitu rasio tegangan normal terhadap regangan terkait untuk tegangan tarik atau tekan dibawah batas proposional material (SNI 03-2847-2013). Modulus elastisitas adalah kekuatan untuk menahan gaya-gaya lentur yang terjadi. Modulus elastisitas beton dipengaruhi oleh jenis agregat, kelembaban benda uji beton, faktor air semen, umur beton dan temperaturnya. Secara umum, peningkatan kuat tekan beton seiring dengan peningkatan modulus elastisitasnya. Beton yang sedang menahan beban akan terbentuk suatu hubungan regangan dan tegangan yang merupakan fungsi dari waktu pembebanan. Beton menunjukkan sifat elastis murni pada waktu menahan beban singkat.

ASTM C469 (2010) memberikan rumus yang digunakan untuk menghitung modulus

elastisitas beton secara eksperimen sebagai berikut :

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \quad \dots\dots\dots 2$$

dengan :

- $E_c$  = Nilai Modulus Elastisitas (MPa)
- $S_1$  = Tegangan pada saat Regangan 0,00005 (MPa)
- $S_2$  = Tegangan pada saat 40% dari Beban Maksimum (MPa)
- $\epsilon_2$  = Regangan pada saat  $S_2$

Menurut SNI 02-2847-2013, untuk berat isi beton ( $W_c$ ) antara 1440 sampai 2560 kg/m<sup>3</sup> modulus elastisitas dapat dihitung dengan rumus :

$$E_c = 4730 \sqrt{W_c} \quad \dots\dots\dots 3$$

dengan :

- $E_c$  = Modulus Elastisitas (MPa)
- $W_c$  = Berat Volume Beton (kg/m<sup>3</sup>)
- $f'_c$  = Kuat Tekan Beton (MPa)

### Kekuatan Geser Beton

Salah satu sifat beton yang mengeras adalah kuat geser beton. Bila gaya yang bekerja pada beton melebihi kekuatan geser maksimum yang dapat ditahan beton, maka akan timbul keretakan beton. Kuat geser sulit untuk ditentukan secara eksperimental dibanding kuat mekanis lainnya karena kesulitan mengisolasi geser dari kuat lain. Kuat geser dari berbagai studi eksperimental menunjukkan variasi 20 hingga 85 persen dibandingkan dengan kuat tekan. (Edward G. Nawy).

Kuat geser dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$f_{geser} = \frac{P}{b \cdot h} \quad \dots\dots\dots 4$$

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)

### Konsep Dasar Lekatan Penjangkaran

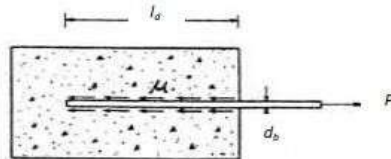
Menurut Wang & Salmon (1990), bahwa berapapun jumlah luas tulangan yang disediakan, tulangan-tulangan akan terlepas keluar apabila tidak diankerkan atau dijangkar dengan memadai ke dalam

beton. Untuk itu perlu penjangkaran sehingga gaya tarik yang timbul dapat ditahan oleh lekatan antara baja dan beton disekelilingnya.

Panjang penyaluran atau panjang penjangkaran adalah panjang minimal tulangan tertanam yang diperlukan untuk menahan gaya dari baja tulangan sampai kondisi tegangan mengalami kelelahan. *Bond strength* tercapai bila salah satu dari hal berikut terjadi:

- 1) Benda uji retak atau hancur dan beban yang diberikan menjadi nol.
- 2) Titik leleh dari baja tercapai berdasarkan perhitungan perpanjangan baja.
- 3) Slip yang timbul antara baja dan beton pada saat pembebanan sebesar 2,5 mm. Namun biasanya jarang terjadi slip sebesar 2,5 mm. Ini di karenakan sebelum slip mencapai 2,5 mm beton terlebih dahulu hancur.

Berdasarkan Nawy (2008), percobaan *pull-out* dapat memberikan perbandingan yang baik antara efisiensi lekatan berbagai jenis permukaan tulangan dan panjang penjangkarannya (*embedment length*).



Gambar 2.2 Tegangan Lekat Penjangkaran Tarik

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

$$l_d = \frac{P}{\mu \cdot f_y} \tag{5}$$

Dimana nilai  $P = A \times f_y$ , maka didapat persamaan :

$$A \cdot f_y = P \tag{6}$$

Dengan luas penampang tulangan adalah  $A = \pi d_b^2$ , maka :

$$-\pi d_b^2 \cdot f_y = P$$

Sehingga tegangan lekat rata-ratanya :

$$\mu = \frac{P}{l_d \cdot \pi d_b^2} \tag{7}$$

Dengan :  $P$  = Gaya Tarik (N)  
 $\mu$  = Kuat Lekat (MPa)  
 $l_d$  = Panjang Penyaluran (mm)

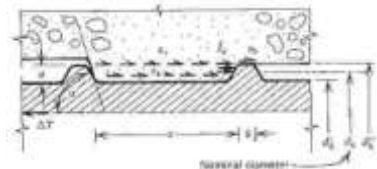
- = Diameter Tulangan (mm)
- $A$  = Luas Penampang Tulangan Baja ( $\text{mm}^2$ )
- $f_y$  = Tegangan Leleh Baja (MPa)

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

$$l_d = \frac{P}{\mu \cdot f_y} \tag{8}$$

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 1 Lekat Pada Baja Tulangan Ulir (R. Park dan T. Paulay, 1974)

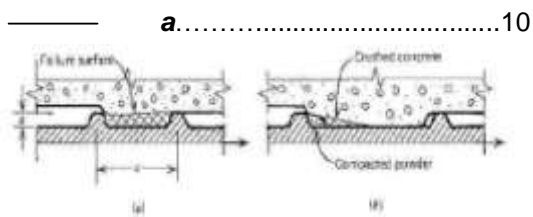
Hubungan antara tegangan geser dan gaya dapat dilihat dari persamaan:

$$V = \mu \cdot P \tag{9}$$

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

- 1) Karena  $b = 0,1 c$
- 2) Karena  $a = 0,05$ , luas permukaan dari salah satu ulir adalah:





Gambar 2 Mekanisme Kerusakan Antara Baja Tulangan Ulir dan Beton

(R. Park dan T. Paulay, 1974)

Keterangan gambar:

1. Untuk gambar 2.3 (a),  $a/c > 0,15$
2. Untuk gambar 2.3 (b),  $a/c < 0,10$

Dari gambar 2.3 di atas, didapatkan rumus:

$\frac{af}{\dots}$  .....11  
maka :

.....12

- .....13

Dimana:

- $P$  = beban maksimum (N)
- = diameter nominal (mm)
- $d'b$  = diameter dalam (mm)
- $d''b$  = diameter luar (mm)
- = tegangan lekat pada ulir (MPa)
- = tegangan lekat permukaan (MPa)
- = tegangan lekat baja dan beton

(Mpa)  
= jarak antara puncak ulir dengan tulangan (mm)

- $b$  = lebar ulir (mm)
- = jarak antar ulir (mm)

## METODELOGI PENELITIAN

### Lokasi Penelitian

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

### Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu satu set ayakan/ saringan, timbangan, piknometer, keranjang kawat, mesin Los Angeles, cetakan silinder ukuran (15 x 30 cm),

bekisting double-L ukuran (30 x 20 x 7,5 cm), kerucut abrams, Oven (alat pemanas), CTM (*Compression Testing Machine*), mesin uji *pull-out* Hydraulic Jack dan alat pendukung lainnya.

Kemudian bahan yang digunakan dalam proses pencampuran meliputi semen *portland* (PC) tipe I, agregat halus (pasir), agregat kasar (batu pecah dan batu apung), bahan tambahan yakni *superplastisizer* (sika viscocrete 3115 N) serta air yang berasal dari instalasi air bersih Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Mataram.

### Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk mengetahui spesifikasi bahan yang akan digunakan sebagai bahan penyusun beton. Adapun pemeriksaan yang dilakukan yaitu pemeriksaan terhadap agregat kasar maupun agregat halus yang meliputi pemeriksaan berat satuan agregat, berat jenis agregat, gradasi agregat, kandungan lumpur agregat halus dan ketahanan aus agregat kasar.

### Pencampuran Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton merupakan suatu proses teoritis untuk menentukan jumlah masing-masing bahan yang diperlukan dalam suatu campuran beton, hal ini dilakukan agar proporsi dapat memenuhi syarat. Pada tahap ini, dilakukan pembuatan *mix design* yang berdasarkan metode perhitungan SNI 7656-2012 untuk beton normal dan mutu tinggi, sedangkan untuk beton ringan menggunakan metode perhitungan berdasarkan SNI 03-3449-2002.

### Pembuatan Benda Uji

Pada penelitian ini digunakan benda uji berupa silinder untuk pengujian kuat tekan dan kuat lekat (15 x 30 cm) dengan penambahan *superplasticizer* pada beton mutu tinggi, selain itu pada kuat lekat beton di jangkarkan tulangan baja ulir pada semua mutu beton dengan variasi kedalaman yaitu 50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm dan 250 mm dan benda uji double-L untuk pengujian geser (30 x 20 x 7.5).

### Penentuan Kedalaman Penjangkaran

Dari penelitian Agil (2010) menggunakan kedalaman penjangkara 100 mm dan pada kedalaman penjangkaran



tersebut mendekati  $f_d$  leleh tapi hasil pengujian yang diperoleh tidak mendapati sampel yang leleh ataupun putus. Sehingga perlu literatur pebanding sebagai pebanding pada penelitian Sunarmasto (2010), dengan perhitungan sebagai berikut:

$$= \frac{169,724}{100} = 1,69724$$

$$= 169,724 \text{ mm}$$

Sehingga pada penelitian ini digunakan variasi kedalaman 50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm dan 250 mm untuk semua variasi mutu beton.

### Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji adalah suatu upaya untuk menjaga agar permukaan beton segar selalu lembab. Jika beton terlalu cepat mengering maka dapat terjadi retak pada permukaan. Kekuatan beton akan berkurang sebagai akibat retak yang terjadi, juga akibat kegagalan mencapai reaksi hidrasi kimiawi penuh. Perawatan benda uji beton dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

- Beton dibasahi secara terus menerus
- Beton direndam dalam air
- Beton dilindungi dengan karung basah, pilm plastik atau kertas perawatan terhadap air

Pada penelitian ini perawatan beton dilakukan dengan cara merendam beton dalam air sampai menjelang pengujian. Satu hari sebelum dilakukan pengujian, benda uji diangkat dan diangin-anginkan sehingga didapat benda uji dalam keadaan kering. Namun untuk perawatan beton ringan sedikit berbeda dengan perawatan pada beton normal dan beton mutu tinggi yaitu dengan cara merendam beton selama 7 hari dan selanjutnya memasukkannya ke dalam karung goni agar kelembaban beton tetap terjaga sebelum dilakukan pengujian.

### Pengujian Kuat Tekan dan Kuat Geser

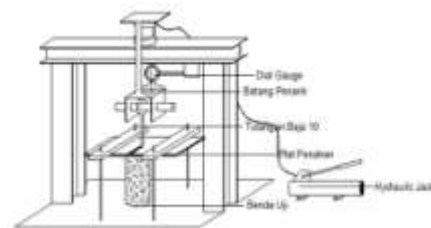
Pelaksanaan pengujian kuat tekan dilakukan setelah beton berumur 28 hari. Pengujian dilakukan pada benda uji berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Maksud dari penelitian ini adalah untuk memperoleh nilai kuat tekan beton dengan menggunakan alat *Compression Testing*

*Machine*. Adapun langkah-langkah pengujian kuat tekan beton sebagai berikut:

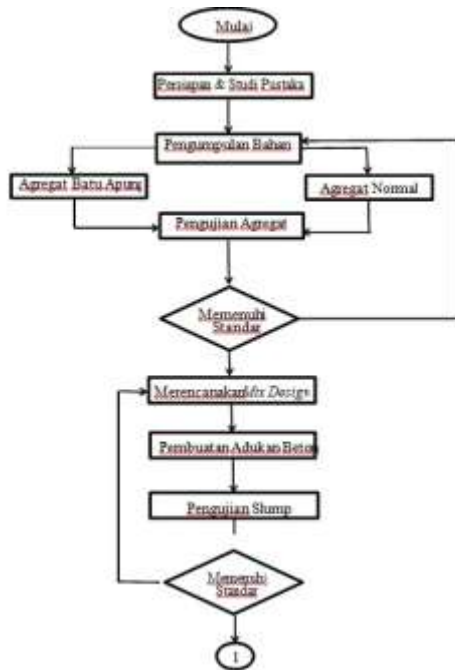
- Sebelum dilakukan pengujian terlebih dahulu benda uji ditimbang.
- Meratakan permukaan benda uji dengan menggunakan belerang cair yang sudah dipanaskan.
- Meletakkan benda uji di atas alas pembebanan mesin uji tekan beton (*Compression Testing Machine*).
- Pembebanan diberikan secara berangsur-angsur sampai benda uji tersebut mencapai pembebanan maksimal. Besar beban dicatat sesuai jarum petunjuk pembebanan.
- Beban yang mampu ditahan setiap masing-masing benda uji (P) dibagi dengan luas permukaan beton yang ditekan (A), sehingga diperoleh kuat tekan beton maksimum.

### Pengujian Kuat Lekat

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*). Variasi panjang tulangan yang tertanam yaitu 50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm dan 250 mm. Pengujian ini dilakukan terhadap benda uji yang telah berumur 28 hari dengan cara menarik baja tulangan yang tertanam pada silinder beton.



Gambar 3 Sketsa Pengujian Kuat Lekat Beton Tahap Penelitian



Gambar 4 Bagan Alir Penelitian

## HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton

Dari hasil pemeriksaan bahan-bahan penyusun beton yang dilakukan di Laboraturium Struktur dan Bahan Universitas Mataram, diperoleh hasil pengujian bahan antara lain:

#### Berat Satuan Agregat

Hasil pemeriksaan pada agregat kasar menghasilkan data berat satuan lepas rata-rata sebesar 1048.446 kg/m<sup>3</sup> dan berat satuan padat rata-rata sebesar 1285.283 kg/m<sup>3</sup>. Sedangkan untuk agregat halus didapatkan berat satuan lepas rata-rata sebesar 1231.02 kg/m<sup>3</sup> dan berat satuan padat rata-rata sebesar 1373.088 kg/cm<sup>3</sup>. Hasil ini menunjukkan bahwa kedua material ini termasuk dalam jenis agregat normal yang memiliki berat satuan antara 1200 – 1600 kg/m<sup>3</sup> (Tjokrodimuljo, 1996).

#### 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 2.548 gr/cm<sup>3</sup> dan berat jenis dalam kondisi SSD rata-rata sebesar 2.519 gr/cm<sup>3</sup>. Sedangkan untuk agregat halus didapatkan berat jenis dalam kondisi kering rata-rata sebesar 2.549 gr/cm<sup>3</sup> dan berat jenis dalam kondisi SSD adalah 2.427 gr/cm<sup>3</sup>. Hasil ini menunjukkan bahwa pasir dan kerikil yang digunakan termasuk jenis agregat normal yang memiliki berat jenis antara 2,5 – 2,7 (Tjokrodimuljo, 1996).

#### 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 2.717. Dengan nilai modulus halus butiran sebesar 2.717 maka pasir ini telah memenuhi persyaratan modulus kehalusan butiran sebesar 1.5-3.8 (Tjokrodimuljo, 1996).

Melalui prosedur yang sama seperti gradasi pada pasir, hasil pemeriksaan kerikil menunjukkan modulus kehalusan butiran sebesar 6.434 dengan diameter butiran maksimum yang digunakan 20 mm. Dengan nilai modulus halus butiran sebesar 6.434 maka krikil ini telah memenuhi persyaratan modulus kehalusan butiran sebesar 5-8 (Tjokrodimuljo, 1996).

Sedangkan untuk gradasi batu apung menunjukkan modulus kehalusan sebesar 6,328 dengan diameter butiran maksimum yang digunakan 20 mm. Dengan nilai modulus halus butiran sebesar 6.328 maka batu apung ini telah memenuhi persyaratan modulus kehalusan butiran sebesar 5-8 (Tjokrodimuljo, 1996).

### Ketahanan Aus Agregat Kasar

Melalui pengujian ketahanan aus agregat kasar menggunakan mesin Los Angeles, benda uji merupakan agregat kasar dengan berat awal 5 kg. Dari pengujian didapatkan agregat yang hancur atau aus pada 100 putaran pertama sebesar 5.58 % dari berat awal dan pada 500 putaran berikutnya agregat yang hancur sebesar 28,1 % dari berat awal. Dimana setelah putaran 500 tidak boleh lebih dari 27%, krikil ini dapat digunakan sebagai beton agregat kasar untuk beton kelas II.

### Pemeriksaan Kadar Lumpur

Hasil pemeriksaan kandungan lumpur agregat halus menunjukkan pasir yang digunakan memiliki kandungan lumpur sebesar 3,231% dari berat agregat. Persyaratan yang harus dipenuhi oleh agregat halus sebagai bahan penyusun beton adalah kandungan lumpur pasir tidak boleh lebih dari 5% dari berat agregat (Tjokrodimuljo, 1996).

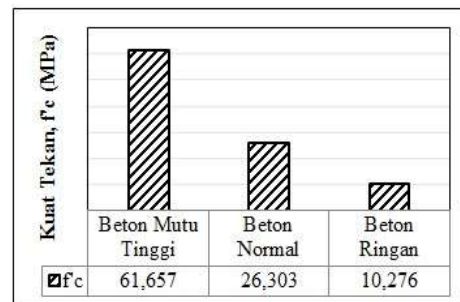
Berdasarkan hasil pengujian agregat kasar dan agregat halus maka dilakukan proses perhitungan perancangan campuran beton. Pada tahap ini dilakukan pembuatan *mix design* yang berdasarkan metode perhitungan SNI 7656-2012 untuk beton normal dan mutu tinggi dan berdasarkan metode perhitungan SNI 03-3449-2002 untuk beton ringan.

### Pengujian Kuat Tarik Baja

Pengujian kuat tarik baja tulangan ini dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan baja pada saat mengalami kondisi leleh dan kondisi maksimum. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*).

### Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan silinder beton dilaksanakan bersamaan dengan pengujian modulus elastisitas beton dengan menggunakan alat *Compression Testing Machine*. Pada pengujian kuat tekan data yang didapatkan adalah beban maksimum yang menyebabkan benda uji mengalami keruntuhan. Kuat tekan beton kemudian dihitung dengan menggunakan Persamaan 1.



Gambar 5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder

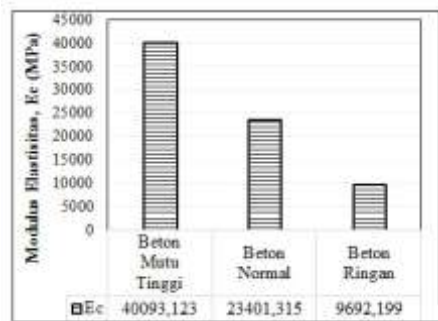
Dari hasil Pengujian kuat tekan untuk beton mutu tinggi terlihat kuat tekan beton sebesar 61.657 MPa, kemudian untuk kuat tekan beton normal sebesar 26.303 MPa. Dan untuk beton ringan kuat tekan sebesar 10.276 MPa. Sehingga dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa kuat tekan untuk beton mutu tinggi, beton normal dan beton ringan sesuai dengan kuat tekan rencana.

### Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Pengujian modulus elastisitas beton dilaksanakan bersamaan dengan pengujian kuat tekan silinder beton dengan menggunakan *ekstensometer (dial gauge)*.

Hasil yang tercatat pada pengujian ini dengan membaca berapa beban yang bekerja dan berapa besar penurunan yang terjadi pada benda uji sampai menyebabkan benda uji hancur atau runtuh. Pada penelitian ini diperoleh modulus elastisitas dari penjabaran hubungan tegangan dengan regangan dimana diketahui modulus elastisitas beton adalah tegangan dibagi regangan. Nilai tegangan

tersebut diperoleh dari pengujian kuat tekan dari hasil pembebanan. Dari hubungan tegangan dan regangan dapat diperoleh nilai modulus elastisitas beton.

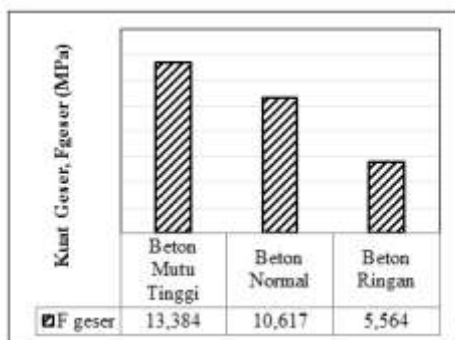


Gambar 6 Hubungan antara Modulus Elastisitas dengan Jenis Beton

Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa kemampuan beton dalam menahan gaya yang bekerja semakin menurun dengan berkurangnya mutu beton. Nilai modulus elastisitas tertinggi didapat pada beton mutu tinggi sebesar 40093,123 MPa. Meningkatnya mutu beton berpengaruh terhadap kenaikan nilai modulus elastisitas dari beton itu sendiri. Modulus elastisitas beton yang dihasilkan dalam penelitian ini diperoleh bahwa semakin besar mutu beton maka nilai modulus elastisitas semakin bertambah.

### Kuat Geser Beton

Pengujian kuat geser beton menggunakan alat *Compression Testing Machine* setelah benda uji berumur 28 hari dengan ukuran benda uji 30 x 20 x 7.5. Pengujian kuat geser beton menghasilkan data berupa beban maksimum yang mengakibatkan keruntuhan beton.



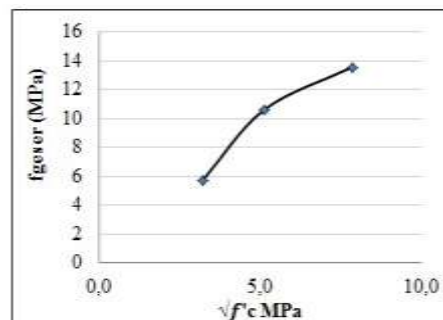
Gambar 7 Hasil Pengujian Kuat Geser

### Hubungan Kuat Geser dengan Kuat Tekan

Hubungan kuat geser beton dengan kuat tekan beton normal (Nawy, Edward. G. 1990), yaitu :

$$f_{geser} = (20\% - 85\%) f'_c$$

Hasil pengujian kuat geser selanjutnya dibandingkan dengan hasil pengujian kuat tekan. Pada penelitian ini pengujian kuat tekan silinder beton yang sudah dibuat kemudian dibandingkan dengan hasil pengujian kuat geser beton.

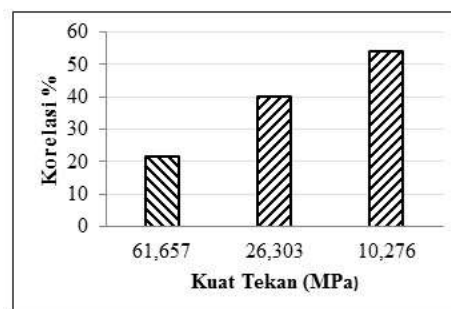


Gambar 8 Hubungan Kuat Geser dengan Kuat Tekan Beton

Tabel 1 Perbandingan Kuat Tekan dengan Kuat Geser

Benda uji	Kuat geser ( $f_g$ ) (Mpa)	Kuat tekan ( $f'_c$ ) (Mpa)	Korelasi
Beton Mutu Tinggi	13,384	61,657	21,707
Beton Normal	10,617	26,303	40,364
Beton Ringan	5,564	10,276	54,145

Dari hasil hubungan kuat geser dan kuat tekan dibuat grafik seperti pada Gambar 9.



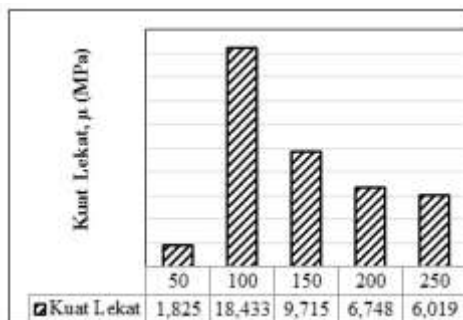
Gambar 9 Persentase Perbandingan Nilai Korelasi Terhadap Tekan

Hubungan antara kuat geser dan kuat tekan beton tidak konsisten pada setiap mutu beton. Sehingga kolerasi kuat geser dan kuat tekan untuk beton mutu tinggi yang didapat adalah  $F_{geser} = (21,71\%) \times f'_c$ , untuk beton normal didapatkan kolerasi kuat geser dan kuat tekan adalah  $F_{geser} = (40,36\%) \times f'_c$ , dan  $F_{geser} = (54,15\%) \times f'_c$  untuk kolerasi kuat geser dan kuat tekan beton ringan. Dari hasil pengujian menunjukkan semakin besar kuat tekan beton maka nilai kolearsi kuat geser beton yang didapatkan semakin kecil dan sebaliknya.

### Pengujian Kuat Lekat

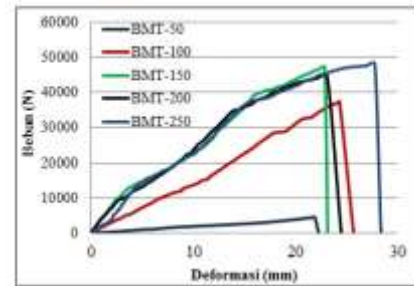
#### a) Beton Mutu Tinggi

Pada penelitian ini, pengujian kuat lekat baja tulangan ulir 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).



Gambar 10 Hasil Pengujian Kuat Lekat Beton Mutu Tinggi

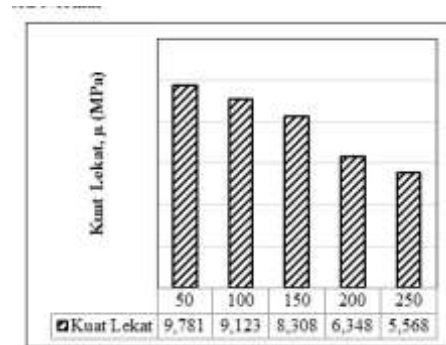
Dari Gambar 10 terlihat bahwa kuat lekat pada kedalaman 50 mm untuk kuat lekatnya terkecil yaitu sebesar 1,825 MPa, kemudian pada kedalaman 100 mm mengalami kenaikan kuat lekat yang signifikan yaitu sebesar 18,433 mm, selanjutnya pada kedalaman 150 mm, 200 mm dan 250 mm mengalami penurunan secara linier seiring dengan penurunan kuat lekat jika kedalaman penjangkaran semakin diperdalam.



Gambar 11 Hubungan Beban-Deformasi Beton Mutu Tinggi

Dari Gambar 11 pengujian *pull-out test* menunjukkan bahwa benda uji pada variasi kedalaman penjangkaran 50 mm, 100 mm mengalami slip. Sedangkan pada kedalaman 150 mm, 200 mm dan 250 mm baja tulangan mencapai leleh pada saat gaya tarik dari baja telah terlampaui. Hal ini terbukti dengan putusnya baja tulangnya.

#### b) Beton Normal

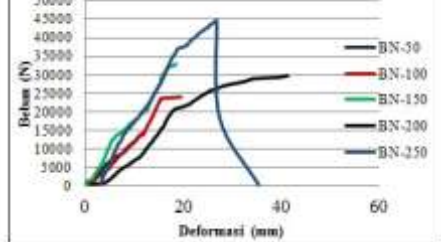


Gambar 12 Hasil Pengujian Kuat Lekat Beton Normal

Jadi dapat disimpulkan pada Gambar 12 menunjukkan bahwa semakin dalam penjangkaran kedalaman maka semakin kecil juga kuat lekat yang dihasilkan. Untuk kuat lekat paling tinggi terjadi pada kedalaman 50 mm sebesar 9,781 MPa sedangkan untuk kuat lekat terkecil yaitu terjadi pada kedalaman 250 mm sebesar 5,568. Dapat terlihat bahwa untuk variasi kedalaman penjangkaran pada beton normal mengalami penurunan kuat lekat secara linier.

Dari pengujian kuat lekat beton normal didapatkan grafik hubungan beban-deformasi seperti pada Gambar 13.

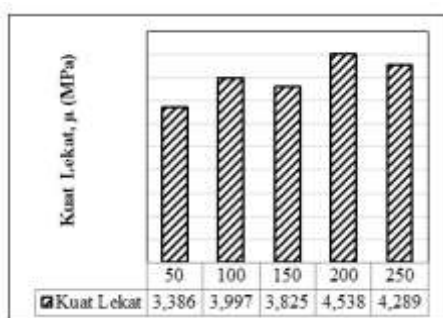




Gambar 13 Hubungan Beban-Deformasi Beton Normal

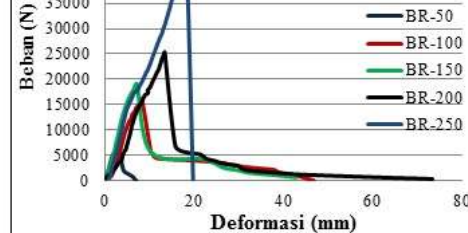
Dari Gambar 13 dapat dilihat bahwa hubungan beban-deformasi untuk benda uji silinder dengan variasi kedalaman yang berbeda yaitu 50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm, dan 250 mm. Dimana gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin besar beban maksimum yang didapat nilai deformasi juga semakin besar. Hasil *pull-out* test yang terjadi pada variasi kedalaman 50 mm, 100 mm, 150 mm dan 200 mm yaitu mengalami slip failure. Sedangkan untuk kedalaman 250 mm baja tulangan terputus disebabkan oleh tegangan leleh dari baja telah terlampaui.

### c) Beton Ringan



Gambar 14 Hasil Pengujian Kuat Lekat Beton Ringan

Dari Gambar 14 didapatkan hasil kuat lekat beton ringan dengan variasi kedalaman dengan grafik menunjukkan bahwa semakin dalam penjangkaran maka semakin besar pula kuat lekat yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena beban maksimum yang dihasilkan pada setiap variasi kedalaman penjangkaran tidak berbeda jauh.



Gambar 15 Hubungan Beban-Deformasi Beton Ringan

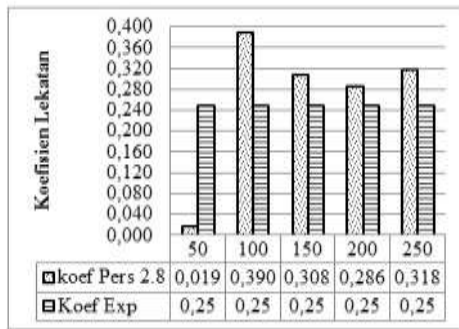
Dari Gambar 15 dapat diketahui bahwa hubungan beban-deformasi untuk benda uji silinder dengan variasi kedalaman penjangkaran 50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm dan 250 mm. Pada kedalaman 100 mm, 150 mm dan 200 mm beban maksimum yang didapatkan kecil tetapi nilai regangannya besar, ini menunjukkan bahwa tingkat daktilitas yang tinggi. Sedangkan untuk kedalaman penjangkaran 50 mm nilai beban kecil dan nilai deformasinya kecil ini menunjukkan bahwa nilai kekangan rendah. Sehingga untuk kedalaman penjangkaran 50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm mengalami slip failure. Selain itu untuk kedalaman penjangkaran 250 mm kekangan antara beton dengan bajanya besar hal tersebut ditandai beton mulai retak saat beban maksimum telah terlampaui dan bersamaan dengan bondingnya mulai lepas.

### Analisis Nilai Koefisien Kuat Lekat

Nilai tegangan leleh baja, kuat lekat beton, diameter baja dan kedalaman penjangkaran yang sudah diketahui kemudian digunakan untuk menghitung koefisien lekatan pada beton mutu tinggi, beton normal, dan beton ringan.

### Beton Mutu Tinggi

Hasil pengujian kuat lekatan tulangan ulir pada masing-masing kedalaman penjangkaran selanjutnya dianalisis nilai koefisien lekatan hasil eksperimen kemudian dibandingkan dengan nilai koefisien lekatan pada Persamaan 7.

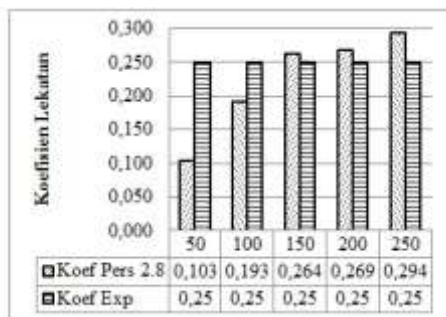


Gambar 16 Hubungan Kedalaman Penjangkaran dengan Koefisien Lekatan Beton Mutu Tinggi

Pada Gambar 16 diperoleh nilai koefisien kuat lekatan pada beton mutu tinggi bahwa pada kedalaman penjangkaran 50 mm nilai dari eksperimen tidak berlaku karena nilai koefisien tidak melebihi dari perhitungan SNI yaitu kurang dari angka 0,25. Sedangkan untuk kedalaman 100 mm, 150 mm, 200 mm dan 250 mm didapatkan kekuatan tarik angkur dari hasil eksperimen memenuhi dan melampaui dari angka 0,25. Sehingga perhitungan dari eksperimen berlaku untuk kuat lekat untuk beton mutu tinggi pada variasi kedalaman 100 mm, 150 mm, 200 mm dan 250 mm.

### Beton Normal

Pengujian kuat lekat terhadap benda uji silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm pada beton umur 28 hari dengan tulangan baja ulir 10 mm pada beton normal memiliki diameter tulangan sebesar 10,035 mm dan untuk leleh ( $f_y$ ) sebesar 471 MPa.



Gambar 17 Hubungan Kedalaman Penjangkaran dengan Koefisien Lekatan Beton Normal

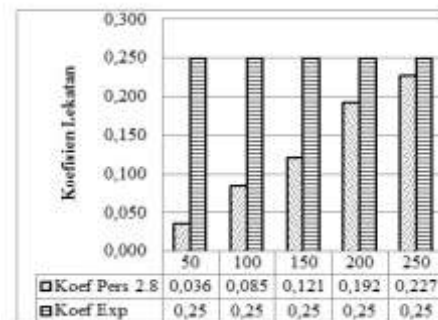
Pada Gambar 17 diperoleh nilai koefisien kuat lekatan pada beton normal dengan variasi kedalaman penjangkaran 50, 100, 150, 200, dan 250 mm bahwa pada kedalaman penjangkaran 50 mm dan 100 mm perhitungan

ekperimen tidak berlaku karena nilai koefisien kurang dari angka 0,25. Mulai pada kedalaman penjangkaran 150 mm rumus yang digunakan SNI terbukti benar bahwa pada hasil dari koefisien eksperimen melampaui dari angka 0,25 pada perhitungan SNI. Sehingga untuk kedalaman penjangkaran pada atau 150 mm perhitungan dari eksperimen berlaku untuk kuat lekat pada beton normal.

### Beton Ringan

Pengujian kuat lekat terhadap benda uji silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm pada beton umur 28 hari dengan tulangan baja ulir 10 mm pada beton ringan memiliki diameter tulangan sebesar 10,035 dan untuk leleh ( $f_y$ ) sebesar 471 MPa

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan Persamaan 7 didapatkan grafik hubungan antara hubungan kedalaman dengan koefisien lekatan pada beton ringan.

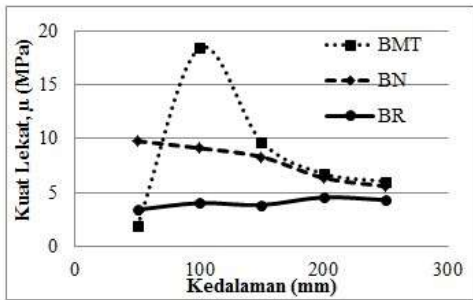


Gambar 18 Hubungan Kedalaman Penjangkaran dengan Koefisien Lekatan Beton Ringan

### Hubungan Kuat Lekat dengan Kedalaman Penjangkaran

Panjang penyaluran adalah panjang yang diperlukan untuk mengembangkan hubungan tegangan baja hingga mencapai tegangan luluh, merupakan fungsi dari tegangan leleh, diameter dan tegangan lekat baja tulangan dari ikatan dengan beton. Agar batang menyalurkan gaya sepenuhnya melalui ikatan, maka baja harus tertanam di dalam beton hingga suatu kedalaman tertentu yang dinyatakan dengan panjang penyaluran.





Gambar 19 Hubungan Kuat Lekat Beton dengan Kedalaman Penjangkaran

Pada beton mutu tinggi lekat maksimum yang dihasilkan saat baja luluh berada pada kedalaman penjangkaran 100 mm. hal ini disebabkan karena pada kedalaman penjangkaran yang dangkal beban yang didapatkan kecil karena lekatan yang terjadi belum optimal. Ketika kedalaman penjangkaran diperpanjang dalam kedalaman tertentu (dalam hal ini kedalaman 100 mm) diperoleh kuat lekat yang maksimum. Jika kedalaman semakin diperdalam maka tulangan baja akan terputus.

Pada beton normal karena menggunakan tulangan ulir maka kedalaman terkecil sudah diperoleh lekatan yang optimal, sehingga semakin dalam tulangan dijangkarkan diperoleh beban tarik yang besar. Namun dengan beban tarik yang semakin besar seiring dengan kedalaman akan mengakibatkan *position effect*, yaitu semakin mengecil luas penampang akibat pemanjangan tulangan yang mengakibatkan kuat lekatnya menurun.

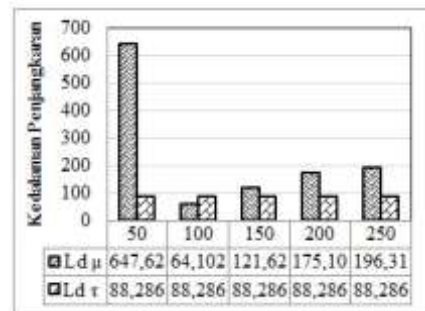
Pada beton ringan memiliki kuat lekat yang hampir sama tetapi kuat geser tinggi, sehingga pada kedalaman penjangkaran yang dangkal beban tarik yang dihasilkan kecil, pada kedalaman penjangkaran yang dalam beban tarik yang dihasilkan besar karena kekuatan geser terakumulasi. Hal ini menyebabkan kuat lekat yang didapatkan pada beton ringan mengalami kenaikan seiring dengan meningkatnya kedalaman penjangkaran.

### Hubungan Kuat Geser dengan Kedalaman Penjangkaran

Hasil pengujian kuat geser selanjutnya dibandingkan dengan hasil pengujian kuat geser beton yaitu dengan membuat nilai kolerasi antara kedalaman penjangkaran berdasarkan kuat geser dan kuat lekat beton. Nilai kedalaman penjangkaran kuat geser beton didapat dengan mengganti kuat lekatan

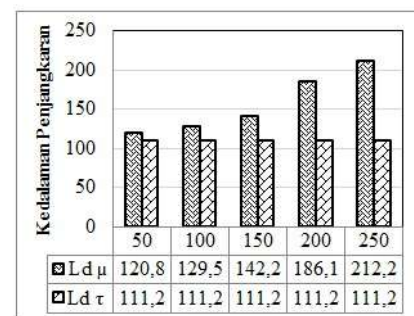
beton menjadi kuat geser pada Persamaan 7 dari persamaan tersebut dapat dibuat grafik hubungan nilai kolerasi kedalaman penjangkaran berdasarkan kuat geser dengan kuat lekat beton untuk beton mutu tinggi, beton normal dan beton ringan. Grafik hubungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 20 sampai 22 untuk semua jenis beton.

Dari persamaan di atas dapat dibuat grafik hubungan nilai kolerasi kedalaman penjangkaran berdasarkan kuat geser dengan kuat lekat beton untuk beton mutu tinggi, beton normal dan beton ringan.

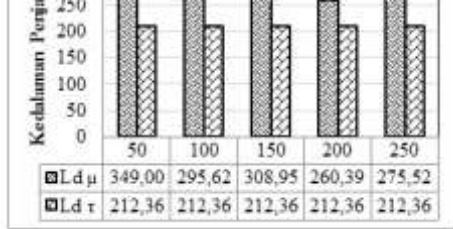


Gambar 20 Hubungan Panjang Penyaluran Kuat Lekat dan Panjang Penyaluran Kuat Geser Beton Mutu Tinggi

Pada Gambar 20 dapat dilihat bahwa pada kedalaman 50 mm nilai tegangan lekat lebih besar karena belum optimalnya lekatan. Sedangkan pada kedalaman 100 mm tegangan lekat sudah optimal sehingga panjang penyaluran pendek, bahkan lebih pendek dari penyaluran geser. Secara otomatis tipe keruntuhannya yaitu geser. Pada kedalaman 150 mm, 200 mm dan 250 mm diperoleh nilai panjang penyaluran lekat lebih besar dari panyaluran gesern hal ini menunjukkan bahwa keruntuhan benda uji terjadi pada lekatan antara tulangan baja dengan beton.



Gambar 21 Hubungan Panjang Penyaluran Kuat Lekat dan Panjang Penyaluran Kuat Geser Normal



Gambar 22 Hubungan Panjang Penyaluran Kuat Lekat dan Panjang Penyaluran Kuat Geser Beton Ringan

Pada Gambar 21 dan 22 hubungan panjang penjangkaran kuat lekat dengan kuat geser untuk beton normal dan beton ringan diperoleh bahwa panjang penyaluran lekatan lebih besar dari pada panjang penyaluran kuat geser untuk beton normal dan beton ringan. Hal ini menunjukkan bahwa keruntuhan benda uji terjadi pada lekatan antara tulangan baja dengan beton.

### Nilai Koefisien Panjang Penyaluran

Nilai tegangan leleh baja, kuat tekan beton dan kedalaman penjangkaran yang sudah diketahui tersebut digunakan untuk menghitung koefisien panjang penyaluran pada beton mutu tinggi, beton normal, dan beton ringan.

### Beton Mutu Tinggi

Hasil pengujian kuat panjang penyaluran tulangan ulir pada masing-masing kedalaman penjangkaran selanjutnya dianalisis nilai koefisien kuat panjang penyaluran hasil eksperimen kemudian dibandingkan dengan nilai koefisien kuat panjang penyaluran pada Persamaan 8

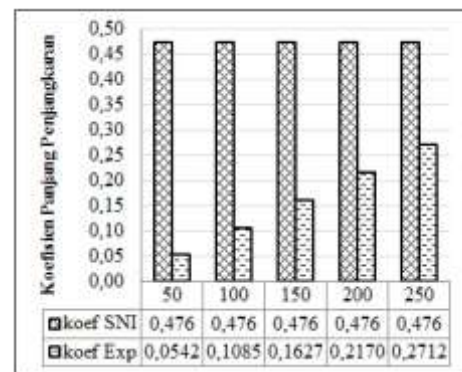
Dari hasil perhitungan nilai koefisien panjang penyaluran pada beton mutu tinggi didapatkan grafik pada Gambar 23.

Gambar 23 Hubungan Kedalaman dengan Koefisien Panjang Penyaluran Beton Mutu Tinggi

Hasil yang ditunjukkan pada Gambar 23 bahwa nilai koefisien panjang penyaluran dari Persamaan 8 lebih besar dari nilai koefisien panjang penyaluran hasil eksperimen. Pada kedalaman 50, 100 dan 150 mm didapatkan nilai koefisien panjang penyaluran 6, 3 dan 2 kali dari nilai koefisien panjang penyaluran persamaan 8. Sedangkan pada kedalaman 200 dan 250 mm didapatkan nilai koefisien hasil eksperimen 1 kali nilai koefisien panjang penyaluran pada persamaan 8. Hal ini menunjukkan bahwa nilai *safety factor* yang diberikan dalam SNI 2847 2013 untuk panjang penyaluran berkisar dari 1 sampai 6 kali untuk kedalaman penjangkaran 50 sampai 250 mm

### Beton Normal

Hasil pengujian kuat panjang penyaluran tulangan ulir pada masing-masing kedalaman penjangkaran selanjutnya dianalisis nilai koefisien kuat panjang penyaluran hasil eksperimen kemudian dibandingkan dengan nilai koefisien kuat panjang penyaluran pada Persamaan 8.

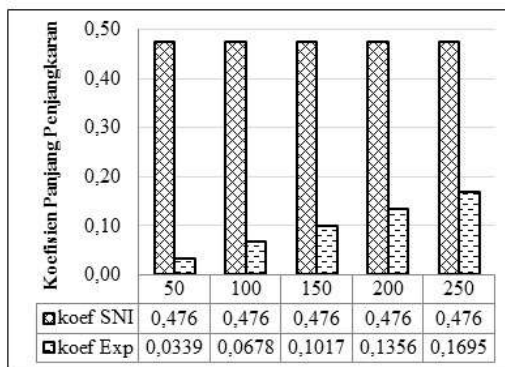


Gambar 24 Hubungan Kedalaman dengan Koefisien Panjang Penyaluran Beton Normal

Berdasarkan Gambar 24 dapat dilihat bahwa nilai koefisien panjang penyaluran yang didapat dari eksperimen memiliki hasil perbandingan yang lebih kecil dari nilai koefisien panjang penyaluran yang dihasilkan dari Persamaan 8. Dimana nilai koefisien yang diperoleh dari panjang penyaluran pada Persamaan 8 lebih besar 9 kali dari nilai koefisien eksperimen pada kedalaman 50 mm, sedangkan pada kedalaman 100, 150, 200 dan 250 mm nilai koefisien panjang penyaluran lebih besar 5, 3, dan 2 kali dari nilai koefisien hasil eksperimen. Hal ini berarti SNI 2847 2013 memberikan nilai *safety factor* untuk panjang penyaluran berkisar 2 sampai 9 kali nilai untuk kedalaman penjangkaran 50 mm sampai 250 mm.

### Beton Ringan

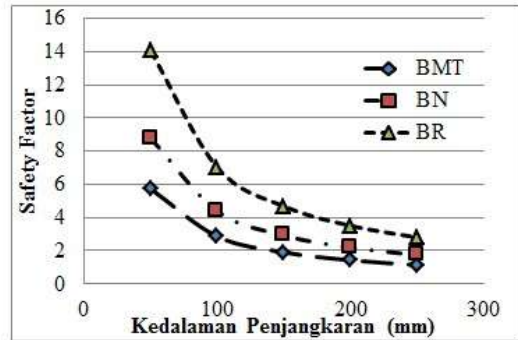
Hasil pengujian panjang penyaluran tulangan ulir pada masing-masing kedalaman penjangkaran selanjutnya dianalisis nilai koefisien kuat panjang penyaluran hasil eksperimen kemudian dibandingkan dengan nilai koefisien kuat panjang penyaluran pada Persamaan 8.



Gambar 25 Hubungan Kedalaman dengan Koefisien Panjang Penyaluran Beton Ringan

### Hubungan *Safety Factor* dengan Kedalaman Penjangkaran

Dari tabel hubungan kedalaman penjangkaran dengan koefisien panjang penyaluran dapat dibuat grafik hubungan antara *safety factor* dengan kedalaman penjangkaran baik untuk beton mutu tinggi, beton normal dan beton ringan. Grafik hubungan *safety factor* dengan kedalaman penjangkaran dapat dilihat pada Gambar 26.



Gambar 26 Hubungan Nilai *Safety Factor* dengan Kedalaman Penjangkaran

Dari Gambar 26 dapat dilihat bahwa nilai *safety factor* pada beton ringan, beton normal dan beton mutu tinggi mengalami perbedaan yang cukup signifikan untuk semua variasi kedalaman penjangkaran, dimana nilai *safety factor* pada beton ringan lebih besar 2 kali dari nilai *safety factor* beton normal dan 3 kali dari nilai *safety factor* beton mutu tinggi pada kedalaman penjangkaran 50 mm sampai dengan kedalaman 250 mm. Dari grafik dapat diketahui nilai *safety factor* maksimum terdapat pada semua mutu beton, dengan kedalaman penjangkaran 50 mm. Sedangkan untuk nilai *safety factor* minimum terdapat pada kedalaman penjangkaran 250 mm pada mutu beton ringan dan normal. Pada beton mutu tinggi nilai *safety factor* minimum didapatkan pada kedalaman penjangkaran 200 mm dan 250 mm. Sehingga berdasarkan penelitian menunjukkan bahwa kedalaman penjangkaran didapatkan lebih dari 1, hal ini menunjukkan bahwa strukturnya pada penerapan kedalaman penjangkaran berdasarkan SNI 2847 2013 jika dihasilkan struktur yang sudah aman. Baik bagi beton mutu tinggi, beton normal maupun beton ringan.

### Ragam Keruntuhan Hasil Pengujian

Setelah pengujian *pull-out* dilakukan pengamatan terhadap putusnya tulangan baja ulir yang terjadi pada benda uji. Dari pengamatan eksperimen yang dilakukan, terjadi beberapa tulangan baja terputus pada variasi kedalaman penjangkaran dan mutu beton.

### Tipe Keruntuhan Bonding

Setelah dilakukan pengujian kuat lekat (*bonding*) dilakukan pengamatan terhadap tipe-tipe keruntuhan yang terjadi pada benda uji. Dari eksperimen terjadi beberapa tipe keruntuhan, yaitu:

1. *Bonding failure* yaitu kondisi dimana baja tulangan tercabut dari beton tanpa mengalami retak pada permukaan yang memecah lekatan antara baja tulangan dan beton. Keruntuhan ini terjadi jika  $l_d > l_{d\mu}$
2. *Side Face Blowout* yaitu keruntuhan yang terjadi pada saat  $L_{d_{geser}}$  lebih kecil dari  $L_{d_{lekat}}$  dan tebal selimut beton yang tidak memadai, kemampuan kekangan dari beton tidak bisa untuk menahan dari tulangan sehingga pada saat beban maksimum telah terlampaui beton akhirnya terbelah.
3. *Anchor Failure* yaitu kondisi dimana kedalaman penjangkaran melampaui atau lebih besar dari kedalaman yang diperhitungkan, sehingga baja tulangan mengalami putus (*anchor failure*). Keruntuhan ini terjadi jika  $L_{d_{geser}}$  lebih besar dari  $L_{d_{lekat}}$ .
4. Ragam keruntuhan pada benda uji didapat pada setiap jenis beton sama yaitu terjadinya *bonding failure* dimana hilangnya lekatan pada tulangan baja, *side face blowout* dimana beton terbelah pada saat kekangan dari beton tidak mampu untuk menahan bajanya. Dan mengalami *anchor failure* atau putusnya tulangan baja pada kedalaman penjangkaran yang melampaui dari kedalaman perhitungan.
5. Berdasarkan kedalaman penjangkaran didapatkan *safety factor* lebih dari 1, hal ini menunjukkan bahwa penerapan kedalaman penjangkaran berdasarkan SNI 2847 2013 jika dihasilkan struktur yang sudah aman. Baik bagi beton mutu tinggi, beton normal maupun beton ringan.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, analisa data dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa :

1. Hubungan kuat tekan dengan kuat geser pada beton mutu tinggi, beton normal dan beton ringan prosentase kuat geser terhadap kuat tekan berturut-turut sebesar 21,707 %, 40,365% dan 54,143%.
2. Hubungan kuat lekat dengan kedalaman penjangkaran diperoleh :
  - a. Pada beton mutu tinggi diperoleh kuat lekat berturut-turut sebesar 1,825 MPa, 18,433 MPa, 9,715 MPa, 6,748 MPa dan 6,019 MPa.
  - b. Pada beton normal kuat lekat nilainya berturut-turut sebesar 9,781 MPa, 9,123 MPa, 8,308 MPa, 6,348 MPa dan 5,568 MPa.
  - c. Pada beton ringan kuat lekat, nilainya berturut-turut 3,386 MPa, 3,997 MPa, 3,825 MPa, 4,538 MPa dan 4,285 MPa.
3. Hubungan antara kuat lekat dengan kuat geser didapatkan nilai korelasi berdasarkan panjang penjangkaran yang diperlukan terhadap kuat lekat dan kuat geser untuk semua jenis beton bahwa panjang penyaluran lekatan lebih besar dari pada panjang penyaluran kuat geser pada beban tarik yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa keruntuhannya terjadi pada lekatan antara tulangan dengan beton.

### Saran

Dari hasil pengujian yang dilakukan, ada beberapa saran yang diharapkan mampu melengkapi penelitian selanjutnya, anantara lain:

1. Penelitian lebih lanjut mengenai lekatan baja tulangan dengan beton menggunakan variasi diameter tulangan perlu dilakukan.
2. Sebaiknya penempatan tulangan dipastikan pada kondisi sentris.
3. Mengenai pengaruh ketebalan penutup beton terhadap perilaku lekatan dan kekangan

### DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1971, *PBI 1971 Peraturan Beton Bertulang Indonesia*. Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim, 1990, *SNI T-15-1991-03 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim, 2000, *SNI 03-6468-2000 Tata Cara Perancangan Campuran Tinggi dengan Semen Portland dengan Abu Terbang*. Badan Standarisasi Nasional.

- Anonim, 2002, *SNI 03-3449-2002 Tata Cara Perancangan Campuran Beton Ringan dengan Agregat Ringan*. Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim, 2011, *SNI 19742011 Cara Uji Tekan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim, 2012, *SNI 7656-2012 Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa*. Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim, 2013, *SNI 03-2827-2013 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*, Badan Standarisasi Nasional.
- ASTM C469, 2010 *Standart Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*.
- Dewobroto, W., *Struktur Baja Perilaku, Analisis & Desain – AISC 2010.*, (Edisi ke-2). Teknik Sipil UPH.
- Hariyadi., Munemoto, S., and Sonada, Y. 2016. *Experimental Analysis of Anchor Bolt in Concrete Under the Pull-Out Loading*. Sustainable Civil Engineering Structures and Construction Materials. Elsevier.
- Hariyadi., 2015. *An Analytical Study on the Ultimate Tensile Strength of Anchor Bolt in Concrete Under the Pull-Out Loading*. Disertasi. Universitas Kyushu, Jepang.
- Hidayat P, L. A., 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.
- 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., (alih bahasa : Bambang Suryatmojo), 1998, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Refika Aditama, Bandung.
- 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. and Pauly, T., 1975. *Reinforced Concrete Structures*.
- Sunarmasto. 2007, *Tegangan Lekat Baja Tulangan Polos dan Ulir pada Beton*. Jurnal, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.
- Tjokrodimuljo, Kardiyono, 2007. *Teknologi Beton*. Jogjakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil UGM.
- Tumiwa, Brian. 2016, *Pemeriksaan Tegangan Lekatan antara Baja dan Beton dengan Kuat Tekan 40 Mpa*. Jurnal, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Vis W.C & Kusuma Gideon, *Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang*, Erlangga, Jakarta.
- Wang, C.K & Salmon, C.G., (alih bahasa : Binsar Hariandja), 1986, *Desain Beton Bertulang*, Edisi Keempat. Jakarta: Erlangga.