

**Pengaruh Variasi Bentuk Dan Kedalaman *Headed Anchor* Terhadap
Perilaku Lekatan Pada Beton Normal**

***The Effect of Shape and Depth Variation Headed Anchor on Attachment
Behavior in Normal Concrete***

Artikel Ilmiah

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



Oleh:

**NI PUTU APRILIA TASIA MELANI
F1A 118 066**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MATARAM
2024**

Artikel Ilmiah

**Pengaruh Variasi Bentuk Dan Kedalaman *Headed Anchor* Terhadap
Perilaku Lekatan Pada Beton Normal**

***The Effect of Shape and Depth Variation Headed Anchor on Attachment
Behavior in Normal Concrete***

Oleh:

**Ni Putu Aprilia Tasia Melani
F1A 118 066**

Telah diperiksa dan disetujui oleh Tim Pembimbing:

1. Pembimbing Utama



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

Tanggal: 26 Januari 2024

2. Pembimbing Pendamping



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

Tanggal: 26 Januari 2024

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Mataram



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

Artikel Ilmiah

PENGARUH VARIASI BENTUK DAN KEDALAMAN *HEADED ANCHOR* TERHADAP PERILAKU LEKATAN PADA BETON NORMAL

The Effect of Shape and Depth Variation Headed Anchor on Attachment Behavior in Normal Concrete

Oleh:

Ni Putu Aprilia Tasia Melani

F1A118066

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Pada tanggal 26 Januari 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat mencapai derajat Sarjana S-1
Jurusan Teknik Sipil

Susunan Tim Penguji

1. Penguji I



Pathurrahman, ST., MT.

NIP: 19661231 199403 1 018

2. Penguji II



Shofia Rawiana, ST., MT.

NIP: 19660305 199412 2 001

3. Penguji III



Suparjo, ST., MT.

NIP: 19670814 199412 1 001

Mataram, 26 Januari 2024

Dekan Fakultas Teknik

Universitas Mataram



Dr. Muhammad Syamsu Iqbal, ST., MT., Ph.D.

NIP: 19720222 199903 1 002

**PENGARUH VARIASI BENTUK DAN KEDALAMAN
HEADED ANCHOR TERHADAP PERILAKU LEKATAN PADA
BETON NORMAL**

**Ni Putu Aprilia Tasia Melani¹, Hariyadi², Kencanawati³
Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram**

ABSTRAK

Beton mempunyai kekuatan yang besar dalam menahan gaya tekan, namun lemah dalam menahan gaya tarik. Bagian beton yang menahan gaya tarik akan diperkuat atau ditahan oleh tulangan baja. Pada komponen struktur beton bertulang yang menahan beban akan timbul tegangan lekat pada permukaan senggung antara tulangan baja dengan beton. Penambahan kepala penjangkaran dapat meningkatkan lekatan dan kelunturan pada beton. Selain faktor tersebut, yang dapat mempengaruhi besarnya tegangan lekat yaitu dengan menggunakan variasi bentuk dan kedalaman penjangkaran *headed*. Metode penjangkaran yang digunakan biasanya, dengan mengelas plat dan baja tulangan. Penelitian ini secara umum bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi bentuk dan kedalaman *headed anchor* terhadap perilaku lekatan pada beton normal.

Penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk silinder berukuran 150 mm × 300 mm untuk uji kuat tekan, benda uji berbentuk silinder 200 mm × 300 mm untuk uji kuat lekat dan *double L* berukuran 300 mm × 200 mm × 75 mm untuk uji kuat geser. Penelitian ini menggunakan 3 benda uji untuk masing-masing variasi pengujian kuat tekan, kuat lekat dan kuat geser, dan 51 benda uji untuk uji lekat dengan masing-masing variasi bentuk dan kedalaman penjangkaran *headed* sebanyak 12 benda uji. Tulangan baja polos ditanam pada benda uji silinder dengan variasi bentuk *headed anchor* lingkaran, segi enam, persegi dan segitiga serta menggunakan variasi kedalaman penjangkaran 50 mm, 75 mm, 100 mm dan 125 mm pada beton normal. Tulangan baja polos yang digunakan berdiameter 10 mm dengan tegangan leleh baja (f_y) sebesar 436 MPa. Pengujian kuat lekat menggunakan metode *pull-out test*. Data yang dikumpulkan dari pengujian kuat lekat ini berupa beban maksimum pada saat tulangan tercabut, deformasi perpanjangan tercabutnya tulangan baja dari beton dan tipe keruntuhan.

Dari hasil penelitian beton normal dengan variasi bentuk dan kedalaman *headed anchor* didapatkan nilai tegangan lekat maksimum pada kedalaman penjangkaran *headed* lingkaran 100 mm sebesar 13,05 MPa, kemudian disusul oleh *headed anchor* berbentuk segienam, persegi dan segitiga dengan kedalaman penjangkaran yang sama sebesar 100 mm dan nilai tegangan lekat berturut-turut sebesar 12,53 MPa, 11,14 MPa dan 10,82 MPa. Hal ini dikarenakan bentuk dan kedalaman penjangkaran *headed* mempengaruhi nilai tegangan lekat, dimana didapatkan tegangan lekat optimum pada *headed anchor* bentuk lingkaran dengan kedalaman penjangkaran 100 mm, bentuk ini direkomendasikan karena diduga dapat mencegah hancurnya beton dan dapat menahan beton dengan kuat pada saat beton tersebut ditarik karena kekuatan geser yang dihasilkan terakumulasi merata disekeliling *headed*, dibandingkan dengan bentuk *headed anchor* lainnya yang memiliki sudut-sudut tajam akan berpotensi retak pada beton karena melekatnya sudut tajam pada beton dan diduga terjadi pemusatan tegangan yang menyebabkan berkurangnya tegangan lekat. Dari penelitian ini didapatkan tiga jenis keruntuhan, yaitu *bonding failure*, *side face blowout* dan *anchor failure*.

Kata Kunci: Tulangan baja, Bentuk *Headed Anchor*, Kedalaman Penjangkaran *Headed*, Tegangan Lekat, Beton Normal.

¹Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Mataram

²Dosen Pembimbing Utama

³Dosen Pembimbing Pendamping

**THE EFFECT OF SHAPE AND DEPTH VARIATION
HEADED ANCHOR ON ATTACHMENT BEHAVIOR IN
NORMAL CONCRETE**

**Ni Putu Aprilia Tasia Melani¹, Hariyadi², Kencanawati³
Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram**

ABSTRACT

Concrete has great strength in resisting compressive forces, but is weak in resisting tensile forces. The part of the concrete that resists tensile forces will be reinforced or retained by steel reinforcement. In load-bearing reinforced concrete structural components, there will be adhesive stress at the tangent surface between the steel reinforcement and the concrete. The addition of an anchorage head can improve adhesion and settlement in concrete. In addition to these factors, which can affect the magnitude of adhesive stresses, namely by using variations in the shape and depth of anchorage heads. The anchorage method used is usually by welding plates and reinforcing steel. This study generally aims to determine the effect of variations in the shape and depth of the headed anchor on the adhesion behavior of normal concrete.

This study used cylindrical specimens measuring 150 mm × 300 mm for the compressive strength test, cylindrical specimens measuring 200 mm × 300 mm for the adhesive strength test, and double L measuring 300 mm × 200 mm × 75 mm for the shear strength test. This study used 3 specimens for each test variation of compressive strength, adhesive strength, and shear strength, and 51 specimens for the adhesive test with each variation of shape and anchorage depth headed as many as 12 specimens. Plain steel reinforcement was embedded in cylindrical specimens with variations of headed anchor shapes of circle, hexagon, square, and triangle and using variations of anchorage depths of 50 mm, 75 mm, 100 mm, and 125 mm in normal concrete. The plain steel reinforcement used was 10 mm in diameter with a steel yield stress (f_y) of 436 MPa. The adhesive strength test used the pull-out test method. The data collected from the test were the maximum load at the time of pulling out the reinforcement, the deformation of the extension of the steel reinforcement from the concrete, and the type of collapse.

From the results of normal concrete research with variations in the shape and depth of the headed anchor, the maximum adhesive stress value was obtained at a 100 mm circular headed anchorage depth of 13.05 MPa, followed by hexagon, square, and triangular headed anchors with the same anchorage depth of 100 mm and adhesive stress values of 12.53 MPa, 11.14 MPa, and 10.82 MPa respectively. This is because the shape and depth of anchorage of the head affect the value of the adhesive stress, where the optimum adhesive stress is obtained on the circular-headed anchor with an anchorage depth of 100 mm, this shape is recommended because it is thought to prevent the destruction of concrete and can hold the concrete firmly when the concrete is pulled because the shear strength generated accumulates evenly around the head, compared to other forms of headed anchors that have sharp corners that will potentially crack the concrete due to the sharp corners attached to the concrete and it is suspected that stress concentration occurs which causes a reduction in adhesive stress. From this study, three types of collapse were obtained, namely bonding failure, side face blowout, and anchor failure.

Keywords: Steel Reinforcement, Headed Anchor Shape, Headed Anchoring Depth, Bond Stress, Normal Concrete

¹Civil Engineering Student, University of Mataram

²First Supervisor

³Companion Supervisor

PENDAHULUAN

Beton merupakan material yang sangat umum digunakan untuk komponen bangunan, dapat digunakan baik sebagai komponen struktural maupun non-struktural. Beton sangat banyak digunakan sebagai bahan bangunan dan konstruksi sehingga membutuhkan upaya untuk menciptakan kualitas yang baik. Untuk menyempurnakan kekurangan-kekurangan yang dimiliki oleh suatu bahan bangunan, diperlukan usaha yang serius untuk pekerjaan pengembangan teknologi yang didukung dengan penelitian.

Ditinjau dari segi kekuatannya, beton memiliki keunggulan yaitu kuat tekan relatif kuat, mudah pengoperasian dan perawatannya, mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan, tahan terhadap perubahan iklim, lebih tahan terhadap api dan korosi, serta memiliki kuat tekan yang lebih tinggi.

Beton bertulang adalah kombinasi dari beton serta tulangan baja, yang bekerjasama untuk memikul beban yang ada. 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 (Dipohusudo, 1994).

Tegangan lekat antara beton dan tulangan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu ikatan antara hasil reaksi pengerasan beton akibat hidrasi semen yang merekatkan antara beton dan tulangan pada seluruh bidang kontak, 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 tersebut tegangan lekat juga dipengaruhi oleh efek penjangkaran dapat berupa panjang penjangkaran.

Penambatan atau penjangkaran akan berlangsung dengan baik apabila batang tulangan tersebut tertanam kokoh didalam 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 tekan 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 ankur/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 (Hariyadi, 2016).

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).

Penambahan kepala batang jangkar dapat meningkatkan lekatan dan kelenturan pada beton. Desain kepala batang jangkar yang digunakan mirip dengan *headed studs*, dan terbuat dari bahan yang dapat dilas. Apabila pada kasus alas kolom tanpa penjangkaran berakibat beton tidak cukup kuat untuk menahan tegangan lekat, maka baja tulangan dapat dirancang sebagai kepala batang jangkar.

Pada beton normal kuat lekat mengalami kenaikan seiring dengan semakin besarnya diameter *headed anchor* (Saputro Pristiyo, 2022). Nilai kuat lekat mengalami penurunan seiring dengan

bertambahnya kedalaman penjangkaran *headed* (Lalawiranti Yugi, 2022).

Penambahan kepala penjangkaran (*headed*) dapat meningkatkan kualitas pada beton sehingga dapat mempengaruhi kuat lekatnya. *Headed* yang digunakan pada penelitian sebelumnya menggunakan plat baja yang dibentuk lingkaran. Plat baja tersebut memungkinkan untuk dibuat ke bentuk-bentuk yang lain.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton adalah suatu komposit yang terbentuk dari agregat kasar, agregat halus, dan semen yang dapat juga diberi bahan tambahan bila perlu yang dipersatukan dengan air dengan perbandingan tertentu. Dari campuran tersebut memiliki peran dan fungsi yang berbeda. Kombinasi dari bentuk agregat harus dioptimalkan sehingga tidak terdapat banyak rongga pada beton.

Beton bertulang adalah kombinasi dari beton serta tulangan baja, yang bekerja secara bersama-sama untuk memikul beban yang ada. Tulangan baja akan memberikan kuat tarik yang tidak dimiliki oleh beton. Selain itu tulangan baja juga mampu memikul beban tekan, seperti digunakan pada elemen kolom beton (Setiawan, 2016)

Agar beton bertulang dapat berfungsi dengan baik sebagai bahan komposit dimana batang baja tulangan saling bekerja sama sepenuhnya dengan beton. Untuk menjamin hal ini perlu ada lekatan yang baik antara beton dengan tulangan, dan penutup beton yang cukup tebal. Baja tulangan dapat menyalurkan gaya sepenuhnya melalui ikatan baja di dalam beton hingga suatu kedalaman tertentu yang dinyatakan dengan panjang penyaluran (Vis dan Gideon, 1993).

Pada tulangan polos, lekatan yang terjadi merupakan adhesi kimia dan friksi antara permukaan tulangan dan beton yang mengelilinginya. Pada beban yang relative kecil tulangan *slip* terhadap beton sekelilingnya, selanjutnya hanya ada friksi yang mampu menahan lekatan antara beton dan tulangan dimana friksi tergantung pada kondisi permukaan tulangan (Park dan Pauly, 1975).

Hasil penelitian Lalawiranti (2022) terhadap hubungan kuat lekat dengan variasi

kedalaman *headed anchor* yang menggunakan benda uji silinder dengan kuat tekan beton normal sebesar 25 Mpa. Memperlihatkan bahwa pada beton normal diperoleh kuat lekat maksimum pada kedalaman penjangkaran 100 mm dengan kuat lekat sebesar 15,494 MPa dan kuat lekat minimum didapatkan pada kedalaman penjangkaran 200 mm dengan kuat lekat sebesar 7,555 MPa. Dari penelitian ini didapatkan tiga jenis keruntuhan, yaitu *bonding failure* (kegagalan ikatan), *side face blowout* (kegagalan pemisahan), dan *anchor failure* (tulangan putus).

DASAR TEORI

Beton merupakan material konstruksi yang diperoleh dari pencampuran pasir, kerikil, batu pecah, semen, serta air. Terkadang beberapa macam bahan tambahan dicampurkan ke dalam campuran tersebut dengan tujuan memperbaiki sifat-sifat dari beton, yakni antara lain untuk meningkatkan *workability*, *durability*, serta waktu pengerasan beton (Setiawan, 2016).

Beton normal mengacu pada beton dengan berat isi 2200-2500 kg/m³, menggunakan agregat alami pecah atau tanpa pecah dan tanpa bahan tambahan.

Kekuatan Tekan Beton

Menurut SNI 03-1974-2011 kuat tekan beban 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:

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dengan:

- f_c = kuat tekan beton (MPa)
- P = beban maksimum (N)
- A = luas penampang benda uji (mm²)

Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah perbandingan tegangan normal terhadap tegangan tarik atau tegangan tekan lebih rendah dari batas rasio bahan (SNI 03-2847-2019). Modulus elastisitas suatu bahan mencerminkan kemampuan bahan untuk

menahan gaya. Oleh karena itu modulus elastisitas beton merupakan fungsi dari kuat tekan beton. Modulus elastisitas beton dipengaruhi oleh jenis agregat, kelembapan sampel beton, faktor air semen, umur beton dan temperatur. Secara umum, kuat tekan beton meningkat seiring dengan meningkatnya modulus elastisitasnya.

ASTM C469 (2010) memberikan rumus yang digunakan untuk menghitung modulus elastisitas beton secara eksperimen sebagai berikut:

$$E_c = \left(\frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0,00005} \right) \quad (2)$$

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)
- ε_2 = regangan pada saat S_2

Menurut SNI 2847-2019, untuk berat isi beton (W_c) antara 1440 sampai 2560 kg/m³ modulus elastisitas dapat dihitung dengan rumus:

$$E_c = w_c^{1,5} 0,043 \sqrt{f'c} \quad (3)$$

Dengan:

- E_c = modulus elastisitas (MPa)
- W_c = berat volume beton (kg/m³)
- $f'c$ = kuat tekan beton (MPa)

Kekuatan Geser 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 (Nawy, 1998).

Kuat geser dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$F_{geser} = \frac{P}{bh} \quad (4)$$

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)

Tulangan Baja

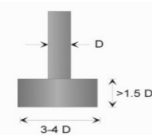
Tulangan baja yang biasanya berupa batang baja bulat, diletakkan didalam beton, khususnya didaerah tarik yang timbul dari beban eksternal yang bekerja pada struktur beton. Mengingat beton kuat menahan tekan dan lemah menahan tarik, maka dalam penggunaannya sebagai komponen struktur bangunan, umumnya beton diperkuat dengan tulangan yang mampu menahan gaya tarik.

Berdasarkan bentuknya, tulangan baja terdiri dari tulangan baja polos dan tulangan baja ulir. Baja tulangan ulir itu merupakan batang tulangan baja yang permukaannya dikasarkan secara khusus, diberi sirip teratur dengan pola tertentu.

Konfigurasi dan Dimensi Penjangkaran (*Anchor*)

Jangkar yang tertanam didalam beton terdiri dari baut-J, baut-L, batang baja dengan mur, atau batang baja dengan ring. Baut J dan L tidak lagi direkomendasikan untuk penjangkaran ke beton karena potensi slip pada beban servis. Metode utama penjangkaran telah berubah menjadi tulangan baja dimana batang berulir di kedua ujungnya, dengan mur di bagian bawah. Metode yang digunakan biasanya, dengan mengelas mur dan paku jika jangkar dibuat dari bahan yang dapat dilas. Jika jangkar tidak dibuat dari bahan yang dapat dilas, maka dua mur dapat disediakan dan disatukan. Jika mur tunggal tidak cukup untuk memenuhi persyaratan ACI 318 Bagian D.5.3.4 untuk mencegah hancurnya beton, mur dapat diganti dengan pelat bundar berdiameter lebih besar dengan ketebalan yang sesuai (R. Eligehausen, R. Mallée and J. F. Silva, 2006).

Gambar 1 menunjukkan untuk diameter *anchor* yang direkomendasikan sebagai berikut:



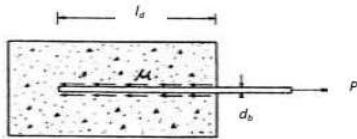
Gambar 1 Dimensi batang jangkar yang direkomendasikan.

Konsep Dasar Lekatan Penjangkaran

Menurut Wang & Salmon (1986), bahwa berapapun jumlah luas tulangan yang disediakan, tulangan-tulangan akan terlepas keluar apabila tidak diankurkan atau dijangkarkan dengan memadai ke dalam beton. Untuk itu perlu penjangkaran sehingga gaya tarik yang timbul dapat ditahan oleh lekatan disekelilingnya.

Panjang penyaluran atau panjang penjangkaran adalah panjang minimal tulangan tertanam yang diperlukan untuk menahan gaya dari baja tulangan sampai kondisi tegangan mengalami kelelahan.

Berdasarkan Nawy (1998), percobaan *pull-out* dapat memberikan perbandingan yang baik antara efisiensi lekatan berbagai jenis permukaan tulangan dan panjang penjangkarannya (*embedment length*).



Gambar 2 Tegangan lekat penjangkaran tarik.

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

$$P = \mu \cdot l_d \cdot \pi \cdot d_b \quad (5)$$

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

$$A \cdot f_y = \mu \cdot l_d \cdot \pi \cdot d_b \quad (6)$$

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:

$$\mu = \frac{d_b f_y}{4l_d} \quad (7)$$

Pada PBI 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:

$$\mu = \frac{d_b f_y}{8l_d} \quad (8)$$

Dengan :

- P = gaya tarik (N)
- μ = kuat lekat (MPa)
- l_d = panjang penyaluran (mm)
- d_b = diameter tulangan (mm)
- A = luas penampang tulangan baja (mm^2)
- f_y = tegangan leleh baja (MPa)

Untuk perhitungan panjang penyaluran berdasarkan persamaan umum dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$l_d = \frac{d_b f_y}{4\mu} \quad (9)$$

Karena panjang penyaluran untuk tulangan baja polos dua kali panjang penyaluran ulir, maka panjang penyaluran tulangan baja polos dapat dihitung dengan persamaan:

$$l_d = \frac{d_b f_y}{2\mu} \quad (10)$$

Dalam SNI 03-2847-2019 panjang penyaluran untuk tulangan baja ulir dapat ditentukan dengan rumus:

$$l_d = \frac{d_b f_y}{2,1 \sqrt{f'c}} \quad (11)$$

Karena panjang penyaluran untuk tulangan baja polos dua kali panjang penyaluran tulangan baja ulir, maka panjang penyaluran tulangan baja polos dapat ditentukan dengan rumus:

$$l_d = 2 \times \frac{d_b f_y}{2,1 \sqrt{f'c}} \quad (12)$$

Berikut merupakan persamaan dari nilai kuat lekat dengan memperhitungkan ketebalan, bentuk dan kedalaman *headed anchor* sebagai berikut:

$$P_{bonding1} = \text{keliling headed} \times \text{tebal headed} \times \mu_1 \quad (13)$$

$$P_{bonding2} = P_{exp} - P_{headed} - P_{bonding1} \quad (14)$$

$$\mu_2 = \frac{P_{bonding2}}{\pi \times d_b \times l_d} \quad (15)$$

Dengan:

$P_{bonding1}$ = beban tarik yang terjadi antara lekatan beton dan *headed* (N)

$P_{bonding2}$ = beban tarik yang terjadi antara lekatan beton dan tulangan (N)

P_{headed} = beban tarik tulangan baja (N)

μ_1 = kuat lekat tulangan tanpa *headed* (MPa)

μ_2 = kuat lekat *headed* (MPa)

Dalam SNI 03-2847-2019 jika terjadi putusnya tulangan atau runtuhnya beton dapat ditentukan dengan rumus:

$$P_{geser} = \tau \times k \phi \times l \quad (16)$$

$$P_{angkur} = f_{uta} \times A_s \quad (17)$$

Dimana A_s adalah luas penampang efektif angkur dalam geser, mm^2 dan f_{uta} diambil dari tegangan ultimit baja. Jika $P_{angkur} > P_{geser}$ maka terjadi potensi keretakan pada beton, jika $P_{angkur} < P_{geser}$ maka tulangan tersebut akan putus.

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.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

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

Alat dan Bahan Penelitian

Beberapa alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu alat untuk mempersiapkan material dan benda uji untuk pengujian berupa timbangan, ayakan atau saringan, mesin *siever*, nampan dan sikat, gelas ukur, piknometer, oven, mesin *los angeles* sebagai alat *grinding*, *slump test apparatus* (kerucut abrams), cetakan benda uji, alat *capping*, tongkat penumbuk, mesin uji tekan dan uji tarik belah (*compression testing machine*), mesin uji *pull-out*, peralatan penunjang lain yang dibutuhkan.

Untuk kelancaran penelitian diperlukan beberapa bahan yang digunakan

untuk mencapai tujuan penelitian. Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a) Semen Portland tipe 1
- b) Agregat halus
- c) Agregat kasar
- d) Air
- e) Baja tulangan
- f) Plat baja

Tahapan Penelitian

Tahap Persiapan

Pada tahapan ini yaitu mengumpulkan bahan yang diperlukan, yaitu semen, pasir, dan agregat kasar. Untuk air yang digunakan adalah air bersih di Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik.

Tahap Pengujian Bahan

Jenis bahan yang akan diuji untuk keperluan penelitian ini yaitu pasir dan kerikil. Pemeriksaan agregat ini dilakukan untuk mengetahui kondisi jenuh kering muka atau SSD (*Saturated Surface Dry*), berat satuan, berat jenis, penyerapan air, kadar lumpur dan gradasi.

Penentuan Kedalaman Penjangkaran

Dalam menentukan kedalaman penjangkaran pada penelitian ini yaitu mengacu pada Persamaan 10 dengan tegangan leleh baja yang didapat dari pengujian sebesar 328 MPa dan kuat lekat tulangan baja polos dari penelitian terdahulu sebesar 7,987 MPa (Agil, 2017). Sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned} l_d &= \frac{d_b f_y}{2\mu} \\ &= \frac{10 \times 328}{2 \times 7,987} \\ &= 205,334 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa prediksi awal tulangan baja putus pada saat uji lekat yaitu pada kedalaman penjangkaran 205,334 mm. Sedangkan pada hasil penelitian Lalawiranti (2022) didapatkan putusnya tulangan (*anchor failure*) pada kedalaman penjangkaran 100 mm sampai 200 mm. Sehingga pada penelitian ini digunakan variasi kedalaman penjangkaran 50, 75, 100 dan 125 mm.

Kebutuhan Benda Uji

Benda uji berbentuk silinder dengan ukuran 150 mm x 300 mm untuk pengujian kuat tekan dan 200 mm x 300 mm untuk pengujian kuat lekat, sedangkan *double L* ukuran 300 mm x 200 mm x 75 mm untuk pengujian kuat geser.

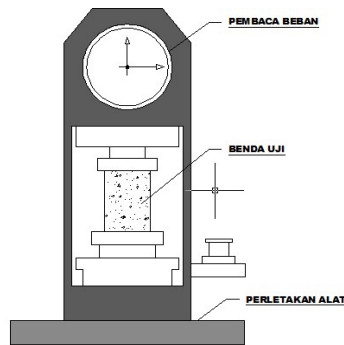
Adapun kebutuhan benda uji berbentuk silinder untuk pengujian kuat lekat berjumlah 51 buah dengan luasan *headed* 628,8 mm² dan untuk pengujian kuat tekan berjumlah 3 buah, sedangkan untuk uji geser berjumlah 3 buah dan sebagai control berjumlah 3 buah dengan tulangan tanpa *headed* pada kedalaman 75 mm.

Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji adalah suatu upaya untuk menjaga agar permukaan beton segar selalu lembab. Pengolahan benda uji beton dapat dilakukan dengan cara beton dibasahi secara terus menerus, beton direndam dalam air dan beton dilindungi dengan karung basah. Pada penelitian ini metode perawatan benda uji beton normal dilakukan dengan merendam benda uji di dalam air selama 28 hari.

Pengujian Benda Uji Pengujian Kuat Tekan Beton dan Modulus Elastisitas

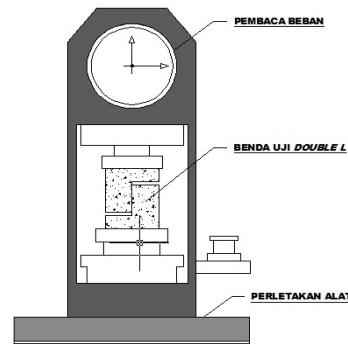
Pelaksanaan pengujian kuat tekan dilakukan setelah beton berumur 28 hari. Maksud dari penelitian ini adalah untuk memperoleh nilai kuat tekan beton dengan menggunakan alat *Compression Testing Machine*.



Gambar 3 Sketsa pengujian kuat tekan beton.

Pengujian Kuat Geser Beton

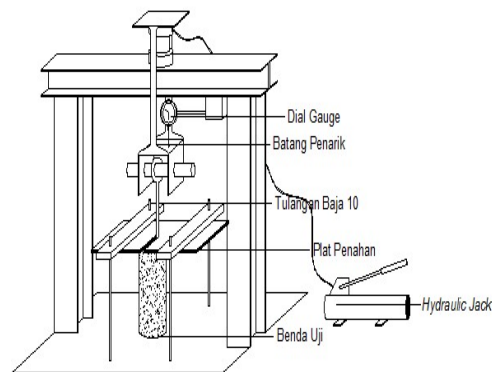
Pelaksanaan pengujian kuat geser dilakukan setelah beton berumur 28 hari dengan benda uji berbentuk *double L* berukuran 300 x 200 x 75 mm. Balok *double L* diletakkan pada alat *Compression Testing Machine*. Pembacaan beban dilakukan pada beban maksimum sampai balok tersebut runtuh.



Gambar 4 Sketsa pengujian kuat geser beton.

Pengujian Kuat Lekatan

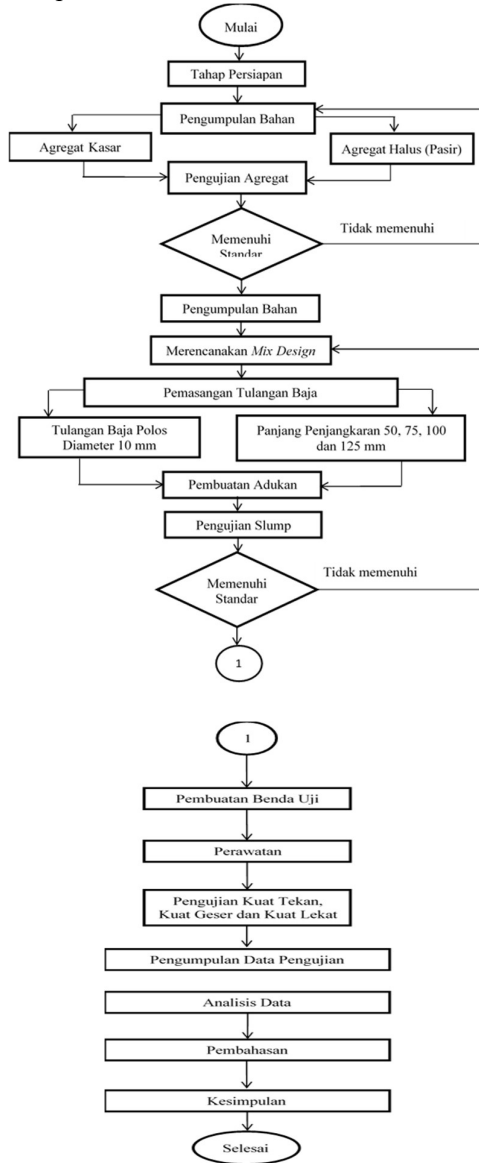
Pengujian kuat lekat (*bond strength*) dilakukan dengan cara menempatkan benda uji beton pada *loading frame* yang dilengkapi dengan *hydraulic jack* dan *load cells*, kemudian batang tulangan yang tertanam pada benda uji beton ditarik sampai tercabut (*Pull-Out Test*). Untuk variasi panjang angkur yang tertanam yaitu 50 mm, 75 mm, 100 mm dan 125 mm dengan diameter tulangan baja 10 mm dan luasan *headed* 628,8 mm². Pengujian ini dilakukan terhadap benda uji yang telah berumur 28 hari dengan cara menarik baja tulangan yang tertanam pada silinder beton.



Gambar 5 Sketsa pengujian kuat lekat beton.

Bagan Alir penelitian

Untuk mempermudah proses penelitian, berikut disajikan beberapa proses dari penelitian ini:



Gambar 6 Bagan alir penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pemeriksaan bahan di Laboratorium, bahan beton seperti agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil) memenuhi syarat sebagai bahan penyusun beton.

Pengujian Kuat Tarik Baja

Pengujian kuat tarik tulangan baja 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 tarik baja dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil pengujian kuat tarik tulangan baja.

No	Diameter (mm)	A (mm ²)	Kalibrasi Alat	P (N)	Tegangan Leleh (N/mm ²)	p (N)	Tegangan Maksimum (N/mm ²)
1	9,06	64,47	1,17	24650	448	37160	675
2	9,29	67,78	1,17	24410	422	36790	636
3	9,21	66,62	1,17	24930	438	37260	655
Rata-Rata					436		656

Dari Tabel 1 menunjukkan bahwa baja tulangan mengalami tegangan leleh rata-rata sebesar 436 MPa dan 656 MPa untuk tegangan maksimum.

Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dimaksudkan untuk memperoleh beban maksimum yang mampu didukung oleh silinder beton. Dari penelitian ini didapatkan rata-rata kuat tekan beton normal sebesar 25,643 MPa lebih besar dari kuat tekan yang disyaratkan yaitu 25 MPa dengan selisih sebesar 0,643 MPa, dalam hal ini kuat tekan yang dihasilkan mendekati kuat tekan yang direncanakan.

Pengujian Modulus Elastisitas

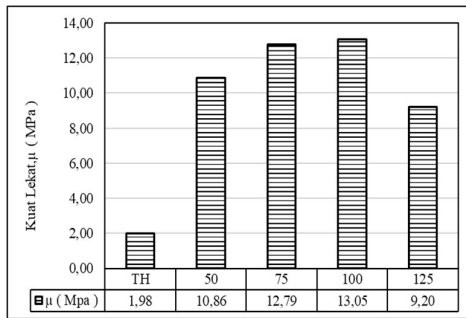
Pengujian modulus elastisitas beton dilaksanakan bersamaan dengan pengujian kuat tekan beton dengan menggunakan *dial gauge*. Hasil yang tercatat pada pengujian ini dengan membaca berapa beban yang bekerja dan berapa besar penurunan yang terjadi pada benda uji sampai menyebabkan benda uji hancur atau runtuh. Nilai rata-rata modulus elastisitas yang didapatkan pada penelitian ini sebesar 21345,545 MPa.

Pengujian Kuat Geser

Pengujian kuat geser beton dilakukan dengan menggunakan *Compression Testing Machine* setelah benda uji berumur 28 hari dengan ukuran benda uji 30 cm x 20 cm x 7,5 cm. Pada penelitian ini didapatkan nilai rata-rata kuat geser beton normal sebesar 8,395 MPa.

Pengujian Kuat Lekat Beton Variasi Kedalaman Penjangkaran *Headed* Bentuk Lingkaran

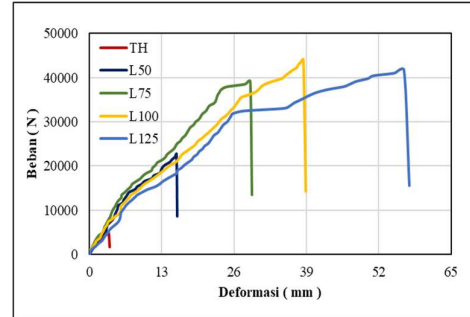
Pengujian kuat lekat antara tulangan baja polos dengan beton normal menggunakan benda uji silinder sebanyak 15 buah dengan 3 buah tiap variasi kedalaman penjangkaran *headed* bentuk lingkaran. Hasil pengujian kuat lekat beton normal pada semua variasi kedalaman penjangkaran *headed* bentuk lingkaran dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Hasil pengujian kuat lekat beton variasi kedalaman penjangkaran *headed* bentuk lingkaran.

Dari hasil pengujian didapatkan nilai kuat lekat dari kedalaman penjangkaran 75 mm tanpa *headed* ke kedalaman penjangkaran 50 mm dengan luasan *headed* 628,8 mm² mengalami kenaikan yang cukup signifikan, sedangkan dari kedalaman penjangkaran 50 mm ke 75 mm dan 100 mm mengalami peningkatan. Untuk kedalaman penjangkaran 100 mm ke 125 mm nilai kuat lekat yang didapat mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena pada penjangkaran *headed* yang dangkal beban tarik yang dihasilkan kecil meskipun memiliki kuat geser tinggi karena distribusi tegangan yang dihasilkan belum sempurna. Sedangkan pada kedalaman penjangkaran yang dalam beban tarik yang dihasilkan

lebih besar karena kekuatan geser yang dihasilkan terakumulasi merata. Untuk grafik hubungan antara beban-deformasi pada beton dapat dilihat pada Gambar 8.

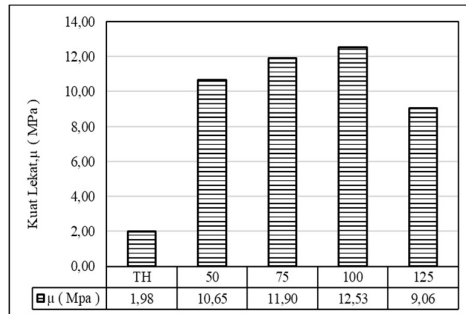


Gambar 8 Hubungan beban-deformasi beton normal variasi kedalaman penjangkaran *headed* bentuk lingkaran.

Berdasarkan Gambar 8 memperlihatkan bahwa beban maksimum pada saat tegangan baja luluh yang didapatkan pada setiap kedalaman penjangkaran *headed* berbeda-beda. Pada kedalaman penjangkaran 75 mm tanpa *headed* dan kedalaman penjangkaran 50 mm dengan luasan *headed* 628,8 mm² beban maksimum dan deformasi yang didapatkan memiliki perbedaan yang signifikan. Sedangkan dari luasan *headed* 628,8 mm² pada kedalaman penjangkaran *headed* 50 mm dan 75 mm beban maksimum dan deformasi yang dihasilkan memiliki perbedaan yang signifikan. Untuk kedalaman penjangkaran *headed* 75 mm sampai 100 mm beban maksimum dan nilai deformasi yang didapatkan memiliki perbedaan yang tidak signifikan. Pada kedalaman penjangkaran *headed* 100 mm sampai 125 mm beban maksimum yang didapatkan memiliki perbedaan yang tidak signifikan, dengan perbedaan nilai deformasi yang cukup jauh. Hal ini disebabkan karena pada kedalaman penjangkaran *headed* 100 mm sampai 125 mm memiliki penahanan yang kuat sehingga beban yang ditahan memiliki nilai yang hampir sama.

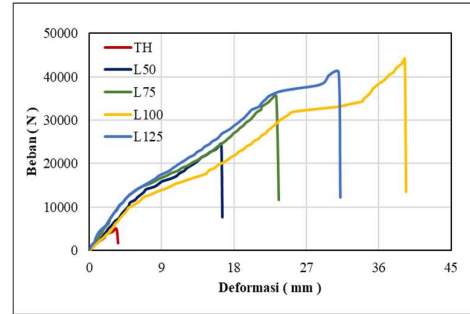
Variasi Kedalaman Penjangkaran Headed Bentuk Segi Enam

Pengujian kuat lekat antara tulangan baja polos dengan beton normal menggunakan benda uji silinder sebanyak 15 buah dengan 3 buah tiap variasi kedalaman penjangkaran *headed* bentuk segi enam. Hasil pengujian kuat lekat beton normal pada semua variasi kedalaman penjangkaran *headed* bentuk segi enam dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Hasil Pengujian kuat lekat beton variasi kedalaman penjangkaran *headed* bentuk segi enam.

Dari hasil pengujian didapatkan nilai kuat lekat dari kedalaman penjangkaran 75 mm tanpa *headed* ke kedalaman penjangkaran 50 mm dengan luasan *headed* 628,8 mm² mengalami kenaikan yang cukup signifikan, sedangkan dari kedalaman penjangkaran 50 mm ke 75 mm dan 100 mm mengalami peningkatan. Untuk kedalaman penjangkaran 100 mm ke 125 mm nilai kuat lekat yang didapat mengalami penurunan. Pada kedalaman penjangkaran *headed* yang lebih dalam mengalami putusnya tulangan baja karena pada saat P_{geser} melampaui P_{angkur} menyebabkan hampir semua sampel putus, kedalaman penjangkaran *headed* yang dangkal diduga belum mengalami putusnya tulangan baja. Kedalaman penjangkaran *headed* yang lebih dalam dapat menahan beton dengan kuat pada saat beton tersebut ditarik karena kekuatan geser yang dihasilkan terakumulasi merata dan seiring dengan bertambahnya kedalaman penjangkaran *headed* dapat mengalami putusnya tulangan baja. Untuk grafik hubungan antara beban-deformasi pada beton dapat dilihat pada Gambar 10.



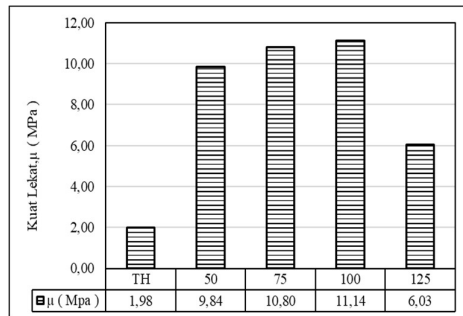
Gambar 10 Hubungan beban-deformasi beton normal variasi kedalaman penjangkaran *headed* bentuk segi enam.

Berdasarkan Gambar 10 memperlihatkan bahwa beban maksimum pada saat tegangan baja luluh yang didapatkan pada setiap kedalaman penjangkaran *headed* berbeda-beda. Pada kedalaman penjangkaran 75 mm tanpa *headed* dan kedalaman penjangkaran 50 mm dengan luasan *headed* 628,8 mm² beban maksimum dan deformasi yang didapatkan memiliki perbedaan yang signifikan. Sedangkan pada luasan *headed* 628,8 mm² di kedalaman penjangkaran 50 mm dan 75 mm beban maksimum dan deformasi yang dihasilkan memiliki perbedaan yang signifikan. Untuk kedalaman penjangkaran *headed* 75 mm sampai 100 mm beban maksimum yang didapatkan memiliki perbedaan yang tidak signifikan dan nilai deformasi yang didapatkan memiliki perbedaan yang signifikan. Pada kedalaman penjangkaran *headed* 100 mm sampai 125 mm beban maksimum yang didapatkan memiliki perbedaan yang tidak signifikan dan nilai deformasi yang didapatkan memiliki perbedaan yang signifikan. Hal ini disebabkan karena pada kedalaman penjangkaran *headed* 100 mm sampai 125 mm memiliki penahan yang kuat sehingga beban yang ditahan memiliki nilai yang hampir sama.

Variasi Kedalaman Penjangkaran Headed Bentuk Persegi

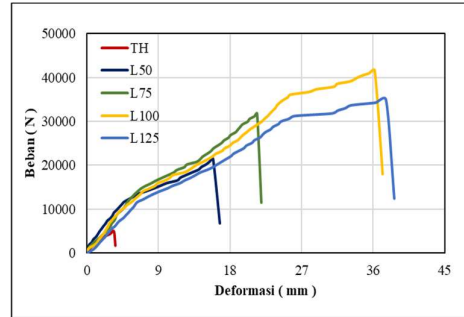
Pengujian kuat lekat antara tulangan baja polos dengan beton normal menggunakan benda uji silinder sebanyak 15 buah dengan 3 buah tiap variasi kedalaman penjangkaran *headed* bentuk persegi. Hasil pengujian kuat lekat beton normal pada

semua variasi kedalaman penjangkaran *headed* bentuk persegi dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Hasil pengujian kuat lekat beton variasi kedalaman penjangkaran *headed* bentuk persegi.

Dari hasil pengujian didapatkan nilai kuat lekat dari kedalaman penjangkaran 75 mm tanpa *headed* ke kedalaman penjangkaran 50 mm dengan luasan *headed* 628,8 mm² mengalami kenaikan yang cukup signifikan, sedangkan dari kedalaman penjangkaran 50 mm ke 75 mm dan 100 mm mengalami peningkatan. Untuk kedalaman penjangkaran 100 mm ke 125 mm nilai kuat lekat yang didapat mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena pada kedalaman penjangkaran *headed* yang dangkal seperti kedalaman 50 mm beban tarik yang dihasilkan kecil meskipun memiliki kuat geser tinggi karena distribusi tegangan yang dihasilkan belum sempurna dan diduga belum mengalami putusannya tulangan baja. Sedangkan pada kedalaman penjangkaran yang dalam beban tarik yang dihasilkan lebih besar karena kekuatan geser yang dihasilkan terakumulasi merata dan diduga menyebabkan putusannya tulangan baja karena kedalaman penjangkaran *headed* dapat menahan beton dengan kuat pada saat beton tersebut ditarik. Untuk grafik hubungan antara beban-deformasi pada beton dapat dilihat pada Gambar 12.



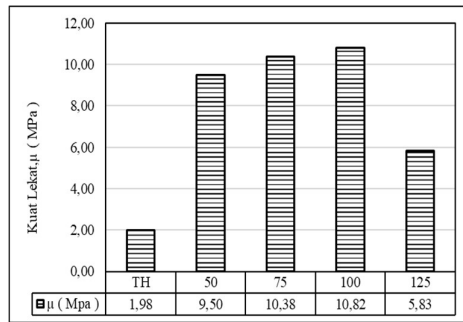
Gambar 12 Hubungan beban-deformasi beton normal variasi kedalaman penjangkaran *headed* bentuk persegi.

Berdasarkan Gambar 12 memperlihatkan bahwa beban maksimum pada saat tegangan baja luluh yang didapatkan pada setiap kedalaman penjangkaran *headed* berbeda-beda. Pada kedalaman penjangkaran 75 mm tanpa *headed* dan kedalaman penjangkaran 50 mm dengan luasan *headed* 628,8 mm² beban maksimum dan deformasi yang didapatkan memiliki perbedaan yang signifikan. Sedangkan pada luasan *headed* 628,8 mm² di kedalaman penjangkaran 50 mm dan 75 mm beban maksimum dan deformasi yang dihasilkan memiliki perbedaan yang signifikan. Untuk kedalaman penjangkaran *headed* 75 mm sampai 100 mm beban maksimum yang didapatkan memiliki perbedaan yang tidak signifikan dan nilai deformasi yang didapatkan memiliki perbedaan yang signifikan. Pada kedalaman penjangkaran *headed* 100 mm sampai 125 mm beban maksimum dan deformasi yang didapatkan memiliki perbedaan yang tidak signifikan. Hal ini disebabkan karena pada kedalaman penjangkaran *headed* 100 mm sampai 125 mm memiliki penahan yang kuat sehingga beban yang ditahan memiliki nilai yang hampir sama.

Variasi Kedalaman Penjangkaran *Headed* Bentuk Segitiga

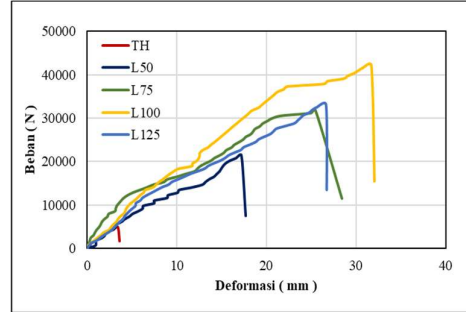
Pengujian kuat lekat antara tulangan baja polos dengan beton normal menggunakan benda uji silinder sebanyak 15 buah dengan 3 buah tiap variasi kedalaman penjangkaran *headed* bentuk segitiga. Hasil pengujian kuat lekat beton normal pada semua variasi kedalaman penjangkaran

headed bentuk segitiga dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13 Hasil pengujian kuat lekat beton variasi kedalaman penjangkaran *headed* bentuk segitiga.

Dari hasil pengujian didapatkan nilai kuat lekat dari kedalaman penjangkaran 75 mm tanpa *headed* ke kedalaman penjangkaran 50 mm dengan luasan *headed* 628,8 mm² mengalami kenaikan yang cukup signifikan, sedangkan dari kedalaman penjangkaran *headed* 50 mm ke 75 mm dan 100 mm mengalami peningkatan yang tidak berbeda jauh. Untuk kedalaman penjangkaran 100 mm ke 125 mm nilai kuat lekat yang didapat mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena pada saat P_{geser} melampaui P_{angkur} menyebabkan hampir semua sampel putus pada kedalaman penjangkaran *headed* 75 mm, 100 mm dan 125 mm. Kedalaman penjangkaran *headed* yang dangkal diduga belum mengalami putusnya tulangan baja, sedangkan pada kedalaman penjangkaran *headed* yang lebih dalam mengalami putusnya tulangan baja. Tulangan baja mengalami putus seiring dengan bertambahnya kedalaman penjangkaran *headed*, sehingga kedalaman penjangkaran *headed* dapat menahan beton dengan kuat pada saat beton tersebut ditarik. Untuk grafik hubungan antara beban-deformasi pada beton dapat dilihat pada Gambar 14.



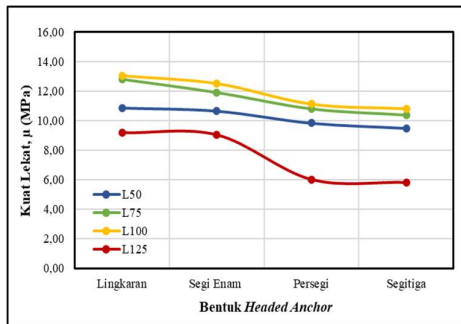
Gambar 14 Hubungan beban-deformasi beton normal variasi kedalaman penjangkaran *headed* bentuk segitiga.

Berdasarkan Gambar 14 memperlihatkan bahwa beban maksimum pada saat tegangan baja luluh yang didapatkan pada setiap kedalaman penjangkaran *headed* berbeda-beda. Pada kedalaman penjangkaran 75 mm tanpa *headed* dan kedalaman penjangkaran 50 mm dengan luasan *headed* 628,8 mm² beban maksimum dan deformasi yang didapatkan memiliki perbedaan yang signifikan. Sedangkan pada luasan *headed* 628,8 mm² di kedalaman penjangkaran 50 mm dan 75 mm beban maksimum dan deformasi yang dihasilkan memiliki perbedaan yang signifikan. Untuk kedalaman penjangkaran *headed* 75 mm sampai 100 mm beban maksimum dan nilai deformasi yang didapatkan memiliki perbedaan yang tidak terlalu jauh. Pada kedalaman penjangkaran *headed* 100 mm sampai 125 mm beban maksimum yang didapatkan memiliki perbedaan yang tidak signifikan, dengan perbedaan nilai deformasi yang cukup jauh. Hal ini disebabkan karena pada kedalaman penjangkaran *headed* 100 mm sampai 125 mm memiliki penahan yang kuat sehingga beban yang ditahan memiliki nilai yang hampir sama.

Hubungan Tegangan Lekat dengan Bentuk *Headed Anchor*

Bentuk *headed* merupakan suatu hal yang diperlukan untuk mengembangkan tegangan baja hingga mencapai tegangan luluh, bentuk *headed* dapat menahan beton ketika mengalami uji tarik sehingga beton tersebut akan mengalami lekatan pada baja. Berikut Gambar 15 grafik hubungan antara

tegangan lekat dengan bentuk *headed anchor*.

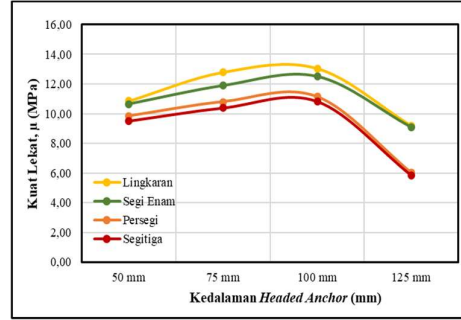


Gambar 15 Hubungan tegangan lekat dengan bentuk *headed anchor*.

Pada beton normal tegangan lekat maksimum yang dihasilkan saat baja luluh berada pada *headed anchor* berbentuk lingkaran dan tegangan lekat minimum berada pada *headed anchor* berbentuk segitiga dengan luasan *headed* yang sama yaitu 628,8 mm². Hal ini disebabkan karena pada bentuk *headed anchor* yang memiliki sudut-sudut tajam diduga akan berpotensi retak pada beton, karena melekatnya sudut tajam pada beton dan diduga terjadi pemusatan tegangan yang menyebabkan berkurangnya tegangan lekat. Sedangkan pada *headed anchor* berbentuk lingkaran diduga dapat mencegah hancurnya beton karena tidak memiliki sudut tajam dan memiliki distribusi tegangan tarik yang dihasilkan terakumulasi merata di sekeliling *headed*, sehingga bentuk *headed anchor* ini memiliki tegangan lekat maksimum dibandingkan dengan bentuk *headed anchor* yang lainnya.

Hubungan Tegangan Lekat dengan Kedalaman *Headed Anchor*

Kedalaman penjangkaran *headed* merupakan suatu hal yang diperlukan untuk mengembangkan tegangan baja hingga mencapai tegangan luluh, kedalaman penjangkaran *headed* dapat menahan beton ketika mengalami uji tarik sehingga beton tersebut akan mengalami lekatan pada baja. Berikut Gambar 16 grafik hubungan antara tegangan lekat dengan kedalaman penjangkaran *headed*.

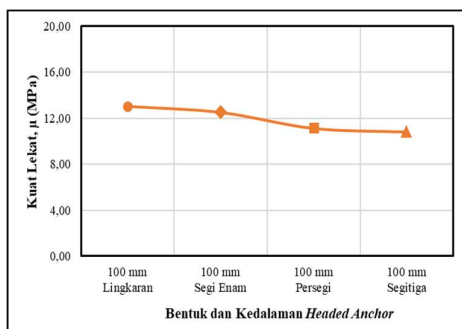


Gambar 16 Hubungan tegangan lekat dengan kedalaman penjangkaran *headed*.

Pada beton normal tegangan lekat maksimum yang dihasilkan saat baja luluh berada pada kedalaman penjangkaran *headed* 100 mm dan tegangan lekat minimum berada pada kedalaman penjangkaran *headed* 125 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 keadaan tertentu (dalam hal ini kedalaman penjangkaran 100 mm) diperoleh tegangan lekat maksimumnya. Jika kedalaman penjangkaran diperdalam diduga tulangan baja sudah mengalami plastis, sehingga lekatan pada bagian tulangan baja yang plastis hilang karena mengecilnya diameter tulangan baja.

Hubungan Tegangan Lekat Optimum dengan Bentuk dan Kedalaman *Headed Anchor*

Hasil pengujian tegangan lekat selanjutnya dibandingkan dengan bentuk dan kedalaman *headed anchor* yaitu dengan membuat hubungan antara bentuk dan kedalaman *headed anchor* berdasarkan tegangan lekat optimum beton. Grafik hubungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 17 untuk jenis beton normal.



Gambar 17 Hubungan tegangan lekat optimum dengan bentuk dan kedalaman *headed anchor*.

Pada beton normal tegangan lekat optimum yang didapatkan pada setiap bentuk dan kedalaman *headed anchor* berbeda-beda dengan luasan *headed* yang berbeda-beda dengan luasan *headed* yang sama yaitu 628,8 mm². Tegangan lekat optimum berada pada *headed* bentuk lingkaran dengan kedalaman penjangkaran 100 mm. Hal ini dikarenakan bentuk dan kedalaman *headed anchor* mempengaruhi nilai tegangan lekat, dimana *headed* bentuk lingkaran direkomendasikan untuk penjangkaran ke beton karena diduga dapat mencegah hancurnya beton dibandingkan dengan bentuk *headed anchor* lainnya karena memiliki sudut-sudut tajam. Sedangkan pada kedalaman penjangkaran ketika diperpanjang dalam kedalaman tertentu (dalam hal ini kedalaman penjangkaran *headed* 100 mm) diduga dapat menahan beton dengan kuat pada saat beton tersebut ditarik karena kekuatan geser yang dihasilkan terakumulasi merata sehingga diperoleh tegangan lekat optimumnya.

Ragam Keruntuhan

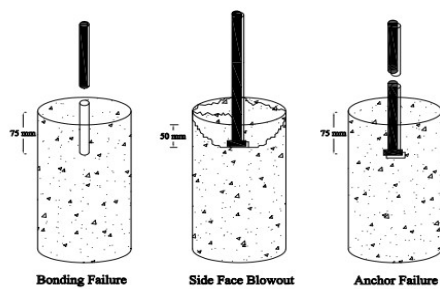
Setelah pengujian *pull-out test* dilakukan, selanjutnya dilakukan pengamatan terhadap kerusakan yang terjadi pada semua benda uji. Dari pengamatan eksperimen yang dilakukan, terjadi beberapa tulangan baja terputus pada variasi bentuk dan kedalaman penjangkaran *headed* pada beton normal. Berikut akan disajikan ragam putusnya tulangan dari berbagai variasi bentuk dan kedalaman *headed anchor* pada Tabel 2.

Tabel 2 Pola keruntuhan beton normal variasi bentuk dan kedalaman *headed anchor*.

Bentuk <i>Headed Anchor</i>	Bentuk dan Kedalaman <i>Headed Anchor</i>	Keruntuhan Eksperimen
Tanpa <i>Headed</i>	TH L75 I	<i>Bonding Failure</i>
	TH L75 II	<i>Bonding Failure</i>
	TH L75 III	<i>Bonding Failure</i>
<i>Headed</i> Lingkaran	BL L50 I	<i>Side Face Blowout</i>
	BL L50 II	<i>Side Face Blowout</i>
	BL L50 III	<i>Side Face Blowout</i>
	BL L75 I	<i>Anchor Failure</i>
	BL L75 II	<i>Anchor Failure</i>
	BL L75 III	<i>Anchor Failure</i>
	BL L100 I	<i>Anchor Failure</i>
	BL L100 II	<i>Anchor Failure</i>
	BL L100 III	<i>Anchor Failure</i>
	BL L125 I	<i>Anchor Failure</i>
	BL L125 II	<i>Anchor Failure</i>
	BL L125 III	<i>Anchor Failure</i>
<i>Headed</i> Segi Enam	BSE L50 I	<i>Side Face Blowout</i>
	BSE L50 II	<i>Side Face Blowout</i>
	BSE L50 III	<i>Side Face Blowout</i>
	BSE L75 I	<i>Anchor Failure</i>
	BSE L75 II	<i>Anchor Failure</i>
	BSE L75 III	<i>Anchor Failure</i>
	BSE L100 I	<i>Anchor Failure</i>
	BSE L100 II	<i>Anchor Failure</i>
	BSE L100 III	<i>Anchor Failure</i>
	BSE L125 I	<i>Anchor Failure</i>
	BSE L125 II	<i>Anchor Failure</i>
	BSE L125 III	<i>Anchor Failure</i>
<i>Headed</i> Persegi	BP L50 I	<i>Side Face Blowout</i>
	BP L50 II	<i>Side Face Blowout</i>
	BP L50 III	<i>Side Face Blowout</i>
	BP L75 I	<i>Anchor Failure</i>
	BP L75 II	<i>Anchor Failure</i>
	BP L75 III	<i>Anchor Failure</i>
	BP L100 I	<i>Anchor Failure</i>
	BP L100 II	<i>Anchor Failure</i>
	BP L100 III	<i>Anchor Failure</i>
	BP L125 I	<i>Anchor Failure</i>
	BP L125 II	<i>Anchor Failure</i>
	BP L125 III	<i>Anchor Failure</i>
<i>Headed</i> Segitiga	BS L50 I	<i>Side Face Blowout</i>
	BS L50 II	<i>Side Face Blowout</i>
	BS L50 III	<i>Side Face Blowout</i>
	BS L75 I	<i>Anchor Failure</i>
	BS L75 II	<i>Anchor Failure</i>
	BS L75 III	<i>Anchor Failure</i>
	BS L100 I	<i>Anchor Failure</i>
	BS L100 II	<i>Anchor Failure</i>
	BS L100 III	<i>Anchor Failure</i>
	BS L125 I	<i>Anchor Failure</i>
	BS L125 II	<i>Anchor Failure</i>
	BS L125 III	<i>Anchor Failure</i>

Berdasarkan pada tabel pola keruntuhan, didapatkan 3 pola keruntuhan pada penelitian kali ini, untuk variasi bentuk dan kedalaman *headed anchor* yaitu *bonding failure* (kegagalan ikatan) yaitu dimana kondisi baja tulangan tercabut dari beton tanpa mengalami retak pada permukaan yang memecah lekatan antara baja tulangan dengan beton. Untuk *side face blowout* (kegagalan pemisahan) yaitu terjadinya *pull-out test* beton tidak mampu menahan beban yang diberikan sehingga material di dalam beton sudah hancur duluan sebelum tulangan putus atau tercabut dari beton. Dan untuk *anchor failure* (tulangan putus) diakibatkan

karena tulangan sudah luluh dan tidak terjadi retakan pada beton.



Gambar 18 Pola keruntuhan beton normal.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, analisa data dan pembahasan tentang Pengaruh Variasi Bentuk dan Kedalaman *Headed Anchor* Terhadap Perilaku Lekatan pada Beton Normal dapat disimpulkan bahwa:

1. Hubungan tegangan lekat dengan bentuk *headed anchor* diperoleh bahwa *headed anchor* berbentuk lingkaran memiliki nilai tegangan lekat yang paling bagus, kemudian disusul oleh *headed anchor* berbentuk segienam, persegi dan segitiga. Hal ini disebabkan karena pada bentuk *headed anchor* yang memiliki sudut-sudut tajam diduga akan berpotensi retak pada beton karena melekatnya sudut tajam pada beton dan diduga terjadi pemusatan tegangan yang menyebabkan berkurangnya tegangan lekat.
2. Hubungan tegangan lekat dengan kedalaman penjangkaran *headed* diperoleh bahwa tegangan lekat maksimum berada pada kedalaman penjangkaran *headed* 100 mm dan tegangan lekat minimum didapatkan pada kedalaman penjangkaran *headed* 125 mm, hal ini disebabkan karena pada kedalaman penjangkaran *headed* yang dangkal, beban tarik yang didapatkan kecil meskipun memiliki kuat geser tinggi karena distribusi tegangan yang dihasilkan belum sempurna.
3. Hubungan tegangan lekat optimum dengan bentuk dan kedalaman *headed anchor* didapatkan tegangan lekat

optimum berada pada *headed* bentuk lingkaran dengan kedalaman penjangkaran 100 mm, hal ini disebabkan karena *headed anchor* bentuk lingkaran diduga dapat mencegah hancurnya beton dan dapat menahan beton dengan kuat pada saat beton tersebut ditarik karena kekuatan geser yang dihasilkan terakumulasi merata disekeliling *headed* sehingga diperoleh tegangan lekat optimumnya.

Saran

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

1. Penelitian lebih lanjut mengenai kuat lekat tulangan baja menggunakan dimensi kepala penjangkaran dengan keliling *headed anchor* yang sama.
2. Pada penelitian kuat lekat tulangan baja selanjutnya dapat menggunakan variasi mutu beton ringan dan beton mutu tinggi.
3. Penelitian lebih lanjut mengenai kuat lekat tulangan baja dengan mengganti tulangan baja polos dengan tulangan baja ulir.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2011, *SNI 03-1974-2011 Cara Uji Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim, 2012, *SNI 7656-2012 Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa*. Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim, 2019, *SNI 03-2847-2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Badan Standarisasi Nasional.
- ASTM C469, 2010 *Standart Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*.
- Dipohusodo, I., 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Gramedia.
- Eligehausen, R.; Mallée, R.; and Silva, F, J. (2006) : *Anchorage in Concrete Construction, First edition*. Ernst & Sohn GmbH & Co. KG. Published 2006 Ernst & Sohn GmbH & Co. KG (in German).
- Eligehausen, R.; Mallée, R.; Rehm, G. (1997): *Befestigungstechnik (Fixing-technology)*. Betonkalender 1997, Part II, Ernst & Sohn, 1997, pp. 609–753 (in German).
- Lalawiranti, Adinda Yugi., 2022. *Pengaruh Variasi Kedalaman Penjangkaran Headed Anchor Terhadap Perilaku Lekatan Pada Beton Normal, Beton Ringan, dan Mutu Tinggi*, 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*. John Wiley and Sons. Inc., New York.
- Saputro, A. R. P., 2022. *Pengaruh Variasi Diameter Penjangkaran Headed Anchor Terhadap Perilaku Lekatan Pada Beton Normal, Beton Ringan, dan Mutu Tinggi*, Skripsi. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- Setiawan, A, 2016. *Perancangan Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga.
- Tjokrodinuljo, K., 2007. *Teknologi Beton*. Jogjakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil UGM.
- Tumiwa, B., 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., 1993. *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.