

STUDI EKSPERIMENTAL PERILAKU PULL-OUT PADA ANGKUR MEKANIS DENGAN PERBANDINGAN KEKUATAN METODE PEMASANGAN CAST-IN-PLACE DAN POST-INSTALLED

Wiguntoro^{1*}, Henry Apriyatno²

1,2Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang
Kampus Unnes Sekaran Gunungpati, Semarang, Jawa Tengah
*wiguntoro9@gmail.com, henryapriyatno@gmail.com

Abstrak

Hasil pengujian bertujuan untuk mengetahui nilai efisien tegangan ankur pada beton mutu 25 MPa, berdasarkan metode pemasangan Cast in place dan Post installed. Faktor yang mempengaruhi antara kedalaman efektif pemasangan ankur, diameter ankur dan mutu beton. Metode pengujian yang dilakukan adalah uji kuat tekan, uji tarik belah beton dan pengujian cabut ankur (pull-out test) menggunakan beton ready mix dengan kuat tekan rencana sebesar 25 MPa. Pengujian pull-out ankur menggunakan beton dengan daerah tinjauan berdimensi 300 mm x 300 mm x 150 mm sebanyak 6 unit. Ankur yang digunakan adalah hammer drive anchor sanko berdiameter 10 mm sebanyak 4 unit untuk 1 spesimen beton dengan jarak antar ankur sebesar 100 mm. Hasil pengujian diperoleh kuat tekan beton sebesar 25,697 MPa, kuat tarik belah beton sebesar 2,563 MPa atau 9,97% dari kuat tekan beton dan memenuhi syarat teoritis yaitu 8-15% dari kuat tekan beton. Pada pengujian cabut ankur diperoleh hasil rata-rata sebesar 39,16 kN dengan perpindahan rata-rata sebesar 13,81 mm untuk pemasangan metode cast in place dan 37,37 kN dengan perpindahan rata-rata sebesar 8,89 untuk metode pemasangan post installed.

Kata kunci : ankur, tegangan geser, bond stress, interlocking, pull-out.

PENDAHULUAN

Angkur mempunyai peran penting dalam menghubungkan dan memasang komponen struktur maupun non struktur. Perkembangan teknologi pada pemasangan ankur sebelumnya hanya berupa sistem pemasangan ankur yang dicor pada beton, kemudian berkembang dengan adanya sistem pengeboran pada beton. Teknologi dan model ankur akan terus berkembang. Arah keunggulan produk yakni antara lain : mudah dan cepat dipasang, dapat digunakan untuk adjuster ke dua arah, tahan terhadap beban dinamis, dan mempunyai sifat kimia yaitu tahan korosi (Triwinanto, 2018).

Pemasangan ankur *cast in place* merupakan metode yang paling sederhana dan kuat, namun memiliki beberapa kekurangan seperti proses pemasangan yang relatif sulit serta keterbatasan penggunaannya hanya pada konstruksi baru. Metode *post installed* memiliki beberapa kelebihan diantaranya seperti proses pemasangan dan pelepasan yang relatif mudah dan cepat, dapat digunakan pada konstruksi baru maupun rehabilitasi konstruksi lama, serta banyaknya variasi jenis ankur yang menyesuaikan dengan kebutuhan konstruksi.

Pada prinsipnya, mekanisme transfer beban yang terjadi pada ankur terjadi dengan berbagai macam cara, antara lain *interlock* mekanis pada ujung ankur dan ikatan (*bond*) terhadap matriks beton. Akibat adanya gaya tarik yang diterima ankur biasanya dapat menimbulkan empat jenis kegagalan, antara lain fraktur pada baut ankur, beton jebol (*concrete breakout*), ankur tercabut (*pull-out*), dan beton terbelah (*splitting*) (Eligehausen, et al 2006 : 5).

Dalam aplikasinya ankur ekspansi yang menerima beban aksial tarik perlu dipertimbangkan adanya perilaku kegagalan ankur tercabut (*pull-out failure*), dimana ada kemungkinan ankur tertarik keluar dari lubang bor pada beton (Mahrenholtz, 2012).

Perilaku kegagalan *pull-out* pada ankur diasumsikan mirip dengan yang terjadi pada beton bertulang, dimana faktor tegangan lekat (*bond stress*), *interlocking* dan gesekan friksi memegang peran penting adanya aksi komposit antara material baja dan beton (Prasetyo, 2019). Menurut Nuroji (2018) mekanisme lekatan pada komponen baja terhadap beton terjadi akibat adanya adhesi dan friksi, sehingga jika ikatan tersebut hilang dapat terjadi *slip*.

Pengujian *pull-out* bertujuan untuk mengetahui nilai tegangan lekat (*bond stress*) dan *interlocking* pada ankur mekanis yang selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk membandingkan kekuatan berdasarkan metode pemasangan ankur.

Peneliti akan melakukan pengujian untuk mengetahui kekuatan efisien pada metode pemasangan ankur metode *cast in place* dan *post installed* menggunakan spesifikasi material yang sama, dengan judul : “STUDI EKSPERIMENTAL PERILAKU *PULL-OUT* PADA ANGKUR MEKANIS DENGAN PERBANDINGAN KEKUATAN METODE PEMASANGAN *CAST-IN-PLACE* DAN *POST-INSTALLED*”.

METODOLOGI

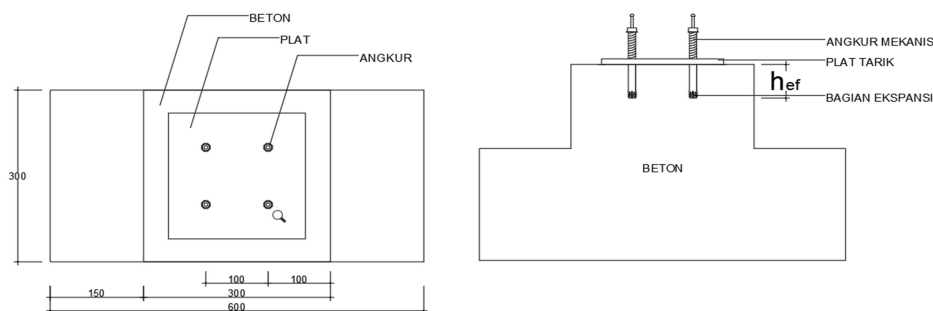
Uraian Umum

Bahan yang digunakan dalam eksperimen antara lain ankur mekanis jenis *hammer drive* yang ditanam ke dalam media beton ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Spesimen ankur

Dimensi beton dibuat sedemikian rupa berdasarkan faktor jarak antar ankur, jarak ke tepi minimum dan tebal minimum menurut aturan ACI 318, sehingga tidak terjadi pembelahan pada beton dan bentuk kegagalan selain kerusakan *pull-out* dapat dikontrol ketika dilakukan pengujian cabut (*pull-out test*). Metode pemasangan ankur yang dilakukan adalah *cast in place* (pemasangan sebelum beton dicor) dan *post installed* (beton dibor setelah mengeras). Ukuran spesimen beton dirancang dengan dimensi 300 mm x 300 mm x 200 mm sebanyak 6 sampel dengan mutu rencana sebesar 25 MPa dengan jumlah ankur mekanis yang digunakan sebanyak 4 unit untuk 1 spesimen beton. Gambar teknis spesimen pengujian ditampilkan pada Gambar 2. Pengujian cabut (*pull-out test*) dilakukan setelah pembuatan benda uji beton selesai dibuat. Pengujian *pull-out* dilakukan dengan menarik pelat baja dengan menggunakan pompa *hydraulic* kapasitas 50 kN.



Gambar 2. Ilustrasi teknis spesimen *pull-out*

Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik dari beton dengan cara meletakkan sisi samping silinder beton pada mesin uji yang kemudian diberi beban P secara merata dalam arah diameter sepanjang silinder beton. Menurut McCormac (2003) Kekuatan tarik

beton besarnya hanya kira-kira 8% s/d 15% dari kekuatan tekan. Kuat tarik belah beton dapat dihitung menggunakan persamaan (1) :

$$f_{ct} = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot d \cdot l} \quad (1)$$

keterangan :

- f_{ct} = Kuat tarik belah beton (MPa)
- P = Beban waktu beton terbelah (N)
- d = Diameter silinder beton (mm)
- l = Panjang silinder beton (mm) (Apriyatno, 2010)

Tegangan lekat (*bond stress*) yang terjadi pada permukaan angkur mekanis terhadap beton dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\mu = \frac{P}{\pi \cdot d_a \cdot h_{ef}} \quad (2)$$

keterangan :

- μ = Tegangan lekat beton (MPa)
- P = Beban maksimum (N)
- d = Diameter angkur (mm)
- h_{ef} = Kedalaman efektif angkur (mm)

Secara teoritis, mekanisme *interlock* pada angkur mekanis tunggal dihitung menggunakan persamaan :

$$F = A_a \cdot f_{ct} \quad (3)$$

keterangan :

- F = kuat cabut angkur mekanis (N)
- A_a = Luas permukaan angkur (mm²)
- f_{ct} = tegangan geser beton (N/mm²) (Wahyudi, 1999)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, didapatkan data yang akan dianalisis. Data pengujian beton dan pengujian cabut angkur diambil ketika beton telah mencapai umur 28 hari.

Pengujian Tekan Beton

Beton yang direncanakan memiliki mutu sebesar 25 MPa. Pengujian menggunakan sampel silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Hasil perhitungan kuat tekan beton ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data hasil pengujian kuat tekan beton

| No. | Kode | Umur (hari) | Gaya Tekan (ton) | Luas Penampang (cm ²) | Kokoh Tekan (kg/cm ²) | Perkiraan Kokoh Silinder 28 Hari (kg/cm ²) | Perkiraan Kokoh Silinder 28 Hari (MPa) |
|-----|------|-------------|------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|--|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) |
| | | | | | (4)*1000/(5) | (6)*100/n | (7)*0.83*9.81/100 |
| 1 | C1 | 40 | 66.8 | 176,7 | 377,811 | 363,735 | 29,616 |
| 2 | C2 | 40 | 52.5 | 176,7 | 297,058 | 285,990 | 23,286 |
| 3 | C3 | 40 | 54.6 | 176,7 | 308,594 | 297,096 | 24,190 |

Hasil pengujian tekan beton diperoleh hasil kuat tekan beton (f_c') rata-rata pada umur 28 hari sebesar 25,697 MPa.

Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Hasil perhitungan kuat tarik belah beton dapat dilihat pada tabel sebagai berikut :

Tabel 2. Data hasil perhitungan kuat tarik belah beton

| No | Kode | Umur (hari) | Gaya Tekan (kN) | Diameter Silinder (mm) | Tinggi Silinder (mm) | Kuat tarik belah beton (MPa) |
|----|------|-------------|-----------------|------------------------|----------------------|------------------------------|
| 1 | V1 | 40 | 167,234 | 150 | 300 | 2,366 |
| 2 | V2 | 40 | 179,471 | 150 | 300 | 2,539 |
| 3 | V3 | 40 | 196,806 | 150 | 300 | 2,784 |

Dari hasil pengujian tarik belah beton diperoleh hasil kuat tarik belah rata-rata sebesar 2,563 MPa atau 9,97% dari kuat tekan beton. Hasil tersebut telah memenuhi syarat batas kuat geser sebesar 8-15%.

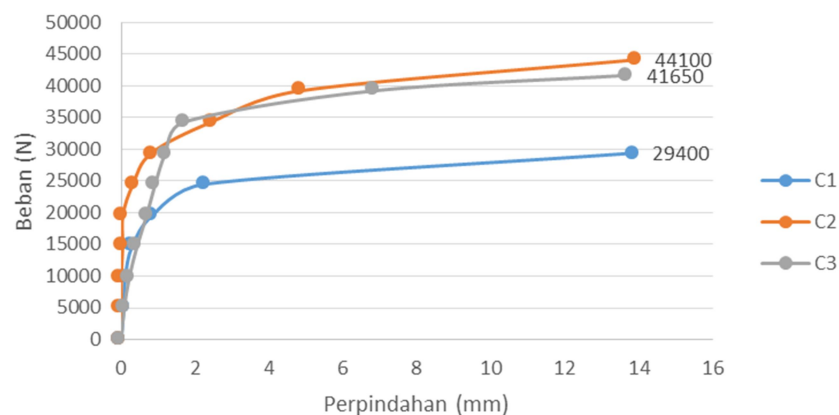
Hasil Pengujian Cabut (*Pull-out Test*)

Kekuatan cabut untuk kelompok angkur yang ditanam pada beton 25,69 MPa yang telah dihitung secara teoritis pada Rumus 1 dan Rumus 2. Data teknis *Hammer drive anchor* : diameter angkur (d_a) 10 mm, kedalaman efektif (h_{ef}) 90 mm dan tegangan tarik belah beton sebesar 2,563 MPa. Hasil perhitungan didapat kuat *interlock* sebesar 30,195 kN untuk 1 kelompok angkur sebanyak 4 unit. Kekuatan cabut yang dihasilkan pada pengujian *pull-out* ditampilkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 4 dan Gambar 5. Foto hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 3.

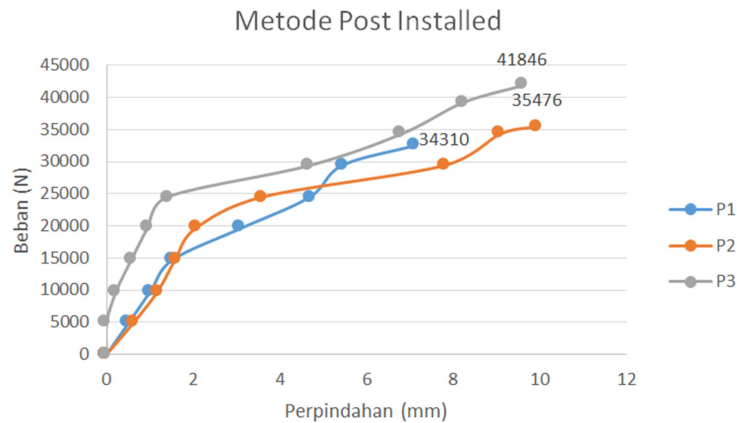


Gambar 3. Hasil pengujian *pull-out*

Metode Cast in Place



Gambar 4. Grafik Hubungan Beban dan Perpindahan Pada Pengujian Metode *Cast in Place*



Gambar 5. Grafik Hubungan Beban dan Perpindahan Pada Pengujian Metode *Post Installed*

Perbandingan kuat cabut teoritis dengan hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan kuat cabut teoritis dengan kuat cabut uji

| Spesimen | Teoritis (kN) | Uji Metode Cast in Place (kN) | Perpindahan (mm) | Uji Metode Post Installed (kN) | Perpindahan (mm) |
|-----------|---------------|-------------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|
| 1 | 30,195 | 29,40 | 13,85 | 34,31 | 7,13 |
| 2 | 30,195 | 44,10 | 13,91 | 35,48 | 9,94 |
| 3 | 30,195 | 41,65 | 13,68 | 41,85 | 9,60 |
| Rata-rata | 30,195 | 39,16 | 13,81 | 37,37 | 8,89 |

Beberapa model kerusakan angkur yang tertanam dalam beton telah dilakukan, seperti yang dilakukan Chen (2018) dimana untuk perilaku kerusakan angkur tercabut (*pull-out*) berdasarkan faktor diameter dan kedalaman pemasangan. Dengan diameter angkur yang sama, kegagalan *pull-out* cenderung terjadi pada angkur yang ditanam lebih dalam ke beton.

Dengan melihat Tabel 3 dan Gambar 3, dimana kuat cabut teoritis sebesar 30,19 kN. Hasil uji rata-rata metode *cast in place* sebesar 39,16 kN dan metode *post installed* rata-rata sebesar 37,37 kN, mengindikasikan angkur telah tercabut dari beton. Hal ini sesuai dengan kondisi yang terjadi pada spesimen dimana terdapat sedikit kerusakan pada beton disekitar angkur dan posisi angkur yang terlihat telah tercabut.

Dari hasil beban maksimum yang terjadi pada kedua metode pemasangan, metode *cast in place* memiliki hasil yang lebih tinggi yaitu sebesar 39,16 kN dibandingkan dengan metode *post installed* sebesar 37,37 kN. Berdasarkan hasil perpindahan yang terjadi, metode *post installed* lebih efisien karena perpindahan rata-rata yang terjadi sebesar 8,89 mm untuk beban tarik rata-rata sebesar 37,37 kN relatif lebih besar daripada yang terjadi pada metode *cast in place* yaitu sebesar 13,81 mm untuk beban tarik rata-rata 39,16 kN.

Pada metode *cast in place*, efek *interlock* terjadi kurang sempurna karena adanya tekanan dinding beton pada ujung angkur sehingga menyebabkan bagian yang mengalami ekspansi tidak bekerja secara maksimal. Terlihat pada pada grafik dan tabel 3 bahwa *slip* yang terjadi lebih besar dari metode *post installed*, diindikasikan dengan beban yang hampir sama, namun perbedaan pada perpindahan angkur rata-rata yang cukup besar.

Efek *interlock* yang terjadi pada metode *post installed* terjadi secara maksimal karena terdapat ruang bagi ujung angkur *hammer drive* untuk mengalami ekspansi, sehingga angkur terikat lebih kuat didalam beton dan *slip* yang terjadi lebih kecil.

KESIMPULAN

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa pemasangan angkur metode *post installed* memberikan hasil kekuatan yang lebih efisien yaitu sebesar 37,37 kN dengan perpindahan rata-rata 8,89 mm relatif lebih besar dari pada metode pemasangan *cast in place* sebesar 39,16 kN dengan

perpindahan rata-rata 13,81 mm. Hasil eksperimen yang telah dilakukan dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian retrofit struktur bangunan.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI. (2011). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) An ACI Standard and Commentary*, ACI, Farmington Hills, U.S.A
- Apriyatno, Henry. 2010. *Kapasitas Geser Balok Beton Bertulang Dengan Polypropylene Fiber Sebesar 4% Dari Volume Beton*. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*. No. 2, Volume 12-Juli 2010. Hal : 161 – 172.
- Bali, Ika, Sadikin. 2017. *Prediksi Lendutan Akibat Bond Slip Pada Dinding Beton Bertulang*. *Fast – Jurnal Sains dan Teknologi* Vol. 1 No. 1, November 2017 ISSN 2598-9596.
- Chen, Zhao. 2018. *Analyzing The Failure Mechanisms And Developing Strength Prediction Models For Concrete Expansion And Screw Anchors In Tension [Disertation]*. Washington. Washington State University.
- Eligehausen, R., Malée, R., and F. Silva, J., 2006. “*Anchorage in Concrete Construction, First edition*”. Ernst & Sohn GmbH & Co. KG.
- Nuroji. 2004. *Studi Eksperimental Lekatan Antara Beton dan Tulangan pada Beton Mutu Tinggi*. Pengajar Jurusan Teknik Sipil Universitas Diponegoro. Volume 12, No. 3, Edisi XXX Oktober 2004.
- Prasetyo, Imam, 2019. “*Studi Literatur Kapasitas Defleksi dan Lentur Balok Beton Bertulang dengan Menggunakan Tulangan Sepiral*”. *Civil Engineering and Environmental Symposium 2019*.
- SNI 1974-2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Triwinanto, Puguh, 2018. *Analisis Kekuatan Cabut \bar{U} -Angkur Tertanam Pada Beton Secara Teoritis Dan Pengujian*. Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS) BPPT. Banten.
- Wahyudi, L., Syahril, A.R., 1999. *Struktur beton Bertulang Standar Baru SNI T-15-1991-03*. PT Gramedia. Jakarta.
- Mahrenholtz, P., Eligehausen, R. 2012. *Behaviour of post-installed expansion anchor under high loading rates*. *Proceedings of The 9th fib International Ph.D Symposium in Civil Engineering 2012*, pp. 673-678, Karlsruhe, Germany.