EKSPERIMEN PERBANDINGAN KAPASITAS KEKUATAN ANGKUR MENGGUNAKAN METODE *CAST IN PLACE* DAN *POST-INSTALLED* PADA KEGAGALAN *PULL-OUT*

Skripsi

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil

Oleh

Wiguntoro

5113416013

TEKNIK SIPIL

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2020

EKSPERIMEN PERBANDINGAN KAPASITAS KEKUATAN ANGKUR MENGGUNAKAN METODE *CAST IN PLACE* DAN *POST-INSTALLED* PADA KEGAGALAN *PULL-OUT*

Skripsi

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil

Oleh

Wiguntoro

5113416013

TEKNIK SIPIL

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2020

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama	: Wiguntoro
NIM	: 5113416013
Program Studi	: Teknik Sipil
Judul	: Eksperimen Perbandingan Kapasitas Kekuatan Angkur Menggunakan Metode *Cast in place* Dan *Post-Installed* Pada Kegagalan *Pull-out*

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, Agustus 2020

Pembimbing,

Drs. Henry Apriyanto, M.T.

NIP. 195904091987021001

PENGESAHAN KELULUSAN

Skripsi dengan judul "**Eksperimen Perbandingan Kapasitas Kekuatan Angkur Menggunakan Metode *Cast in place* Dan *Post-Installed* Pada Kegagalan *Pull-out***" telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal .

Oleh

Nama : Wiguntoro

NIM : 5113416013

Program studi : Teknik Sipil

Panitia :

Ketua	Sekretaris
Aris Widodo, S.Pd., M.T.	Dr. Rini Kusumawardani, S.T., M.T., M.Sc.
NIP. 197102071999031001	NIP. 197809212005012001

Penguji 1	Penguji 2	Pembimbing
Endah Kanti Pangestuti, S.T., M.T.	Agung Budiwirawan, S.T., M.T.	Drs. Henry Apriyatno, M.T.
NIP. 197207091998032003	NIP. 197612252005011002	NIP. 195904091987021001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik UNNES

Dr. Nur Qudus, M.T., IPM.

NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (Sarjana, Magister, dan/atau Doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang,

Yang membuat pernyataan,

Wiguntoro

NIM. 5113416013

MOTTO

- Yang penting adalah bagaimana melakukannya, bukan hasilnya. Kalau anda sudah melakukan yang terbaik, anda bisa bercukup hati tak masalah apapun hasilnya (Ajahn Brahm).
- Bekerjalah kamu, maka Allah dan rasul-Nya serta orang-orang mukmin akan melihat pekerjaanmu itu dan kamu akan dikembalikan kepada Allah lalu diberitakan kepada-Nya apa yang telah kamu kerjakan." (Q.S. At-Taubah : 105)

PERSEMBAHAN

- Untuk Ayah (Honeng Jatmono), Ibu (Solekah), kakak dan adik yang selalu mendukung, memotivasi serta mendo'akan dengan tulus ikhlas untuk kesuksesan dan kebahagiaan saya.
- Untuk dosen pembimbing skripsi (Bapak Drs. Henry Apriyatno, M.T.) yang telah membimbing, memotivasi serta membagi ilmunya dalam proses penyelesaian skripsi ini.
- Untuk rekan-rekan bimbingan yang telah membantu dan saling memberi semangat selama penulisan skripsi ini.
- Almamater UNNES dan untuk teman-teman Teknik Sipil Angkatan 2016.

ABSTRAK

Wiguntoro. 2020. "Eksperimental Perbandingan Kapasitas Kekuatan Angkur Menggunakan Metode *Cast in place* Dan *Post-Installed* Pada Kegagalan *Pull-out*". Skripsi. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Dosen Pembimbing : Drs. Henry Apriyatno, M.T.

Terdapat dua metode yang digunakan untuk memasang angkur yaitu metode *cast in place* dan *post installed*. Metode *cast in place* dan metode *post installed* mengalami mekanisme penyaluran beban yang berbeda serta menghasilkan kekuatan yang berbeda pula. Pada pembebanan tarik, angkur dapat mengalami kegagalan akibat beban eksternal yang lebih besar daripada kapasitas dukungnya. Salah satu bentuk kegagalan angkur adalah kegagalan *pull-out.* Angkur ekspansi yang dibebani secara aksial perlu dipertimbangkan secara rinci karena juga dapat gagal dalam mode *pull-out* dimana angkur tercabut keluar dari beton tanpa mengalami kegagalan pada beton atau baja.

Eksperimen dilakukan untuk mengetahui perbedaan kapasitas *pull-out* pada kondisi pembebanan statis berdasarkan metode pengangkuran *cast in place* dan *post installed* serta untuk mengetahui perilaku kegagalan akibat *pull-out*. Pengujian dilakukan dengan cara menarik kelompok angkur yang tertanam pada media beton f'_c 25 MPa berdimensi 300 mm x 300 mm dengan jarak antar angkur sepanjang 100 mm. Spesimen angkur yang digunakan adalah angkur mekanis jenis *hammer drive* "sanko" dengan diameter 10 mm dan kedalaman pemasangan 90 mm.

Hasil pengujian beton diperoleh tegangan tekan beton (f'_c) sebesar 25,69 MPa, tegangan ultimit angkur (f_u) sebesar 383,25 MPa, tegangan lekat (μ) pada metode pengangkuran *cast in place* sebesar 2,25 MPa, tegangan lekat pada metode *post installed* sebesar 1,56 MPa. Hasil Pengujian *pull-out* menghasilkan gaya sebesar 38,38 kN pada metode *cast in place* dan 36,62 kN pada metode *post installed*.

Kata Kunci *: angkur, pull-out, cast in place, post installed*

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan atas kehadirat Allah SWT atas nikmat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Eksperimental Perbandingan Kapasitas Kekuatan Angkur Menggunakan Metode *Cast in place* Dan *Post-Installed* Pada Kegagalan *Pull-out*". Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil S1 Universitas Negeri Semarang. Shalawat serta salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, semoga kita semua mendapatkan safaat-Nya di yaumul akhir nanti, Aamiin.

Penyelesaian karya tulis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada :

1. Prof. Dr. Fathur Rahman, M.Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatannya sehingga penulis dapat menempuh pendidikan di kampus Universitas Negeri Semarang
2. Dr. Nur Qudus, M.T, IPM., Dekan Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang
3. Aris Widodo, S.Pd., M.T., Ketua Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Semarang
4. Dr. Rini Kusumawardhani, S.T., M.T., M.Sc. Koordinator Program Studi Teknik Sipil, Universitas Negeri Semarang
5. Drs. Henry Apriyatno, M.T., Dosen pembimbing yang selalu memberikan masukan dan arahan dari awal kuliah hingga terselesainya karya tulis ilmiah ini.
6. Endah Kanti Pangestuti, S.T., M.T., Penguji I dan Agung Budiwirawan, S.T., M.T., Penguji II yang telah memberi masukan yang sangat berharga berupa kritik dan saran untuk menambah bobot dan kwalitas karya tulis ini.
7. Asisten Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil FT UNNES yang telah membimbing dan mengawasi selama penelitian ini berjalan serta memberi pengetahuan yang berharga.

8. Semua dosen Jurusan Teknik Sipil FT UNNES yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan yang berharga.
9. Orang tua, kakak dan adik serta keluarga besar yang selalu memberikan dukungan dan semangat dalam penyelesaian skripsi ini.
10. Sahabat-sahabat dan keluarga besar Teknik Sipil angkatan 2016 yang telah bersama-sama berjuang menyelesaikan pendidikan S1.
11. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan atas terselesainya skripsi ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu

Demi perbaikan, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca demi kebaikan dan kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat baik untuk penulis dan semua pihak yang berkepentingan.

Semarang, Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**
PERSETUJUAN PEMBIMBING ..... **ii**
PENGESAHAN KELULUSAN ..... **iii**
PERNYATAAN KEASLIAN ..... **iv**
MOTTO ..... **v**
PERSEMBAHAN ..... **v**
ABSTRAK ..... **vi**
PRAKATA ..... **vii**
DAFTAR ISI ..... **ix**
DAFTAR TABEL ..... **xi**
DAFTAR GAMBAR ..... **xii**
LAMPIRAN ..... **xiv**
DAFTAR NOTASI ..... **xv**
BAB 1 PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Identifikasi Masalah 3
1.3 Rumusan Masalah 4
1.4 Pembatasan Masalah 4
1.5 Tujuan Penelitian 5
1.6 Sistematika Penulisan 5
BAB 2 LANDASAN TEORI **7**
2.1 Penelitian yang Relevan 7
2.2 Material Beton 11
2.2.1 Jenis beton 13
2.2.2 Kuat tekan beton 14
2.3 Tegangan Lekat 16
2.4 Material Baja 18
2.5 Sistem Pengangkuran 20
2.6 Angkur Ekspansi 21
2.7 Perilaku Kegagalan Angkur Akibat Beban Tarik 22
2.7.1 Kegagalan angkur tercabut (*pull-out failure*) 23
2.7.2 Angkur patah akibat gaya tarik (*steel rupture*) 25

2.7.3 Kegagalan jebol (*concrete breakout*) beton terhadap tarik 26
2.7.4 Kegagalan ambrol muka samping (*sideface blowout*) pada beton .. 28
2.7.5 Kegagalan pecah belah pada beton (*concrete splitting failure*) 29
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN 31
3.1 Uraian Umum 31
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian 31
3.3 Tahapan Penelitian 31
3.4 Bahan dan Peralatan 32
3.4.1 Bahan pengujian.....32
3.4.2 Peralatan pengujian 33
3.5 Deskripsi Eksperimen 33
3.5.1 Pengujian tarik angkur 33
3.5.2 Pengujian tekan beton 36
3.5.3 Pengujian *pull-out* angkur.....37
3.6 Analisis Data 41
3.6.1 Kuat tekan beton 41
3.6.2 Tegangan lekat (*bond stress)* 41
3.6.3 Analisis kegagalan angkur akibat gaya tarik.....41
3.7 Standar Pengujian.....44
3.8 Alur Penelitian.....45
BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN..... 46
4.1 Deskripsi Data 46
4.2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baut Angkur 46
4.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 47
4.4 Hasil Pengujian Tegangan Lekatan.....48
4.5 Analisis Kegagalan Akibat Pembebanan Tarik.....48
4.6 Hasil Pengujian *Pull-out* 53
4.7 Komparasi dengan hasil pengujian terkait 60
BAB 5 PENUTUP 66
5.1 Kesimpulan.....66
5.2 Saran 68
DAFTAR PUSTAKA.....72
LAMPIRAN.....74

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Mutu beton dan penggunaannya 12
Tabel 2.2 Hubungan kuat tekan beton terhadap umur beton..... 14
Tabel 4.1 Hasil pengujian kuat tarik baut 46
Tabel 4.2 Hasil pengujian kuat tekan beton 47
Tabel 4.3 Hasil pengujian tegangan lekat metode *cast in place* 48
Tabel 4.4 Hasil pengujian tegangan lekat metode *post installed* 48
Tabel 4.5 Rekapitulasi hasil kuat angkur terhadap jenis kegagalan..... 52
Tabel 4.6 Hasil pengujian *pull-out* metode *cast in place*..... 53
Tabel 4.7 Hasil pengujian *pull-out* metode *post installed*..... 55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bentuk kegagalan pada spesimen GFRP berulir diamter 12 mm pada jarak 150 mm (*Group of double ribbed GFRP*) (Abolghasem, 2013) ... 8
Gambar 2.2 Bentuk kegagalan pada spesimen GFRP berulir diamter 12 mm pada jarak 225 mm (*Group of double ribbed GFRP*) (Abolghasem, 2013) ... 8
Gambar 2.3 Bentuk kegagalan pada spesimen GFRP berulir diamter 12 mm pada jarak 300 mm (*Group of double ribbed GFRP*) (Abolghasem, 2013) ... 9
Gambar 2.4 Jenis kegagalan dominan pengujian *pull-out* ... 10
Gambar 2.5 Jenis kegagalan pengujian *pull-out* (Delhomme dan Brun, 2018) ... 11
Gambar 2.6 Kurva tegangan-regangan beton ... 15
Gambar 2.7 Mekanisme penyaluran lekatan (dalam Abolghasem, 2013) ... 17
Gambar 2.8 Kurva tegangan-regangan baja ... 19
Gambar 2.9 Mekanisme transfer beban pada angkur (Eligehausen, et al. (2006)) ... 20
Gambar 2.10 Mekanisme penyaluran gaya pada angkur ekspansi (Mahrenholtz, 2012) ... 22
Gambar 2.11 Perilaku kegagalan angkur dalam pembebanan tarik (Eligehausen, et al. (2006)) ... 23
Gambar 2.12 Kegagalan *pull-out* angkur terhadap beton ... 24
Gambar 2.13 Kegagalan fraktur angkur terhadap tarik ... 26
Gambar 2.14 Kegagalan *concrete cone breakout* ... 27
Gambar 2.15 Kerusakan ambrol muka samping beton (*concrete sideface blowout*) ... 29
Gambar 3.1 Angkur *hammer drive* ... 34
Gambar 3.2 Spesimen angkur ... 34
Gambar 3.3 Spesimen angkur untuk uji tarik ... 35
Gambar 3.4 Mesin uji tarik ... 35
Gambar 3.5 Benda uji setelah dilakukan proses *capping* ... 36

Gambar 3.6 Proses uji tekan beton 37
Gambar 3.7 Ilustrasi Spesimen pengujian *pull-out* 38
Gambar 3.8 Konfigurasi spesimen *pull-out* 38
Gambar 3.9 Konfigurasi pengujian *pull-out* 40
Gambar 4.1 Kurva hubungan gaya-deformasi uji *pull-out* metode *cast in place* 53
Gambar 4.2 Kurva tegangan-regangan pada pengujian angkur metode *cast in place* 54
Gambar 4.3 Kurva hubungan gaya-deformasi uji *pull-out* metode *post installed* 55
Gambar 4.4 Kurva tegangan-regangan pada pengujian angkur metode *post installed* 56
Gambar 4.5 Kurva perbandingan gaya hasil eksperimen metode *cast in place* dan metode *post installed* 57
Gambar 4.6 Kurva gaya-deformasi pengujian *pull-out* metode *cast in place* (Huda, 2020) 60
Gambar 4.7 Kurva gaya-deformasi pengujian *pull-out* metode *post installed* (Huda, 2020) 60
Gambar 4.8 Kurva gaya-deformasi pengujian *pull-out* metode *cast in place* (Anatasya, 2020) 61
Gambar 4.9 Kurva gaya-deformasi pengujian *pull-out* metode *post installed* (Anatasya, 2020) 61
Gambar 4.10 Komparasi hasil pengujian *pull-out* metode *cast in place* 62
Gambar 4.11 Komparasi hasil pengujian *pull-out* metode *post installed* 62
Gambar 4.12 Bentuk kegagalan *pull-out* pada angkur dekat dengan tepi (Anatasya, 2020) 63
Gambar 4.13 Kerusakan *concrete breakout* pada metode *cast in place* 64
Gambar 4.14 Kerusakan *concrete breakout* pada metode *post installed* (Huda, 2020) 64
Gambar 4.15 Kegagalan *pull-out* pada pengangkuran metode *cast in place* 65
Gambar 4.16 Kegagalan *pull-out* pada pengangkuran metode *post installed* 65

.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Uji Kuat Tekan Beton 74
Lampiran 2 Hasil Uji Kuat Tarik Angkur 75
Lampiran 3 Dokumentasi pengujian 79

DAFTAR NOTASI

A_{Nc}	luas proyeksi kerusakan angkur kelompok (mm^2)
A_{Nco}	luas proyeksi maksimum kerusakan angkur tunggal (mm^2)
A_{seN}	luas nominal angkur (mm^2)
c_{a1}	jarak angkur ke tepi beton (mm)
d_a	diameter angkur (mm)
$f'c$	kuat tekan beton (MPa)
f_{ua}	tegangan ultimit angkur (MPa)
fy	tegangan leleh baja (MPa)
h_{ef}	kedalaman efektif pemasangan angkur (mm)
kc	koefisien nilainya diambil berdasarkan jenis pemasangan (*cast in place* = 10; *post installed* = 7)
N_{cb}	kuat angkur tunggal terhadap *concrete breakout* (kN)
N_{cbg}	kuat angkur kelompok terhadap *concrete breakout* (kN)
N_p	kuat angkur tercabut (*pull-out*) angkur tunggal (kN)
N_{sa}	kuat nominal kegagalan fraktur pada angkur (kN)
N_{sb}	kuat ambrol muka samping beton (*blowout*) pada angkur tunggal (kN)
N_{sbg}	kuat ambrol muka samping beton (*blowout*) pada angkur kelompok (kN)
s	jarak antar angkur (mm)
λa	faktor modifikasi untuk material beton ringan, untuk angkur cor di tempat maka $\lambda a = \lambda$, Beton normal $\lambda = 1$, untuk beton ringan $\lambda = 0.75 \sim 0,85$
μ	tegangan lekat hasil pengujian (MPa)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sekarang ini penggunaan angkur sebagai media untuk menghubungkan dan memasang komponen stuktur beton menjadi sangat populer di dunia konstruksi. Perkembangan sistem pemasangan angkur dari awalnya hanya berupa pemasangan angkur yang dipasang bersamaan ketika beton dituang ke dalam bekisting, berkembang dengan adanya teknologi pengeboran. Adanya teknologi pengeboran pada beton memunculkan adanya sistem pemasangan angkur pasca pasang (*post installed system*), dimana sistem ini memberikan keuntungan dari segi kecepatan serta kemudahan dalam hal pemasangan dan pelepasannya.

Sistem pemasangan angkur cor di tempat (*cast in place*) masih cukup populer dan digunakan di beberapa pekerjaan konstruksi beton karena dikenal lebih baik dalam hal kekuatan, namun terbatas hanya untuk konstruksi baru. Berbeda dengan sistem pemasangan pasca pasang (*post installed*) yang dapat digunakan pada pekerjaan konstruksi baru maupun pekerjaan rehabilitasi bangunan. Teknologi dan model angkur akan terus berkembang dengan arah keunggulan produk yakni : mudah dan cepat dipasang, dapat digunakan untuk adjuster ke dua arah, tahan terhadap beban dinamis, dan mempunyai sifat kimia yaitu tahan korosi (Triwinanto, 2018).

Kekuatan angkur yang tertanam pada beton dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain jenis angkur, dimensi angkur, dan mutu bahan (beton dan komponen angkur). Angkur yang beredar saat ini oleh ACI 318-11 mengklasifikasikannya ke dalam beberapa jenis seperti angkur stud, angkur berkait, angkur ekspansi, angkur *undercut*, angkur berulir, dsb. Berdasarkan jenisnya, angkur mentransfer tegangan ke dalam beton dengan beberapa cara seperti *interlock* mekanis, gesekan, ikatan (*bond*) atau kombinasi dari mekanisme tersebut. Selain mekanisme yang terjadi pada angkur, tegangan beton juga turut berperan dalam menyalurkan beban sehingga terjadi hubungan yang kuat antara angkur dengan beton.

Angkur dapat mengalami keruntuhan ketika diberikan beban yang melebihi kapasitasnya, salah satunya adalah pola keruntuhan terhadap gaya tarik. Beberapa jenis perilaku kerusakan yang diakibatkan adanya pembebanan tarik seperti yang tercantum dalam ACI 318-11 antara lain fraktur pada komponen angkur, *concrete breakout, concrete sideface blowout, pull-out failure*, serta kegagalan *splitting*.

Beberapa perilaku kerusakan akibat tarik didasarkan pada faktor dimensi angkur yaitu kedalaman efektif pemasangan angkur (h_{ef}). Kedalaman efektif pemasangan angkur (h_{ef}) dapat digunakan sebagai acuan atau tolok ukur untuk memprediksi adanya kegagalan angkur. Penelitian yang dilakukan oleh Chen (2018) menjelaskan bahwa pada kedalaman pemasangan angkur yang dangkal dapat memprediksi adanya kerusakan *concrete breakout*, lalu

ketika kedalaman pemasangan ditingkatkan pada nilai tertentu kegagalan *pull-out* dapat diprediksi, selanjutnya kegagalan komponen baja mengontrol ketika angkur dipasang terlalu dalam sehingga batas kekuatan baja tercapai.

Perilaku kegagalan *pull-out* memiliki keunikan tersendiri. Dimana angkur yang dibebani secara aksial perlu dipertimbangkan secara rinci karena juga dapat gagal dalam mode *pull-out* dimana angkur ditarik keluar dari lubang bor tanpa mengalami kegagalan beton atau baja (Mahrenholtz, 2012). Oleh sebab itu, perilaku *pull-out* tetap perlu dipertimbangkan dalam mendesain sambungan angkur.

Ketika menerima gaya eksternal, pengangkuran menggunakan metode *cast in place* dan metode *post installed* mengalami mekanisme penyaluran beban yang berbeda serta menghasilkan kekuatan yang berbeda pula. Berdasarkan hal tersebut, penelitian dilakukan untuk mengetahui perbedaan besar gaya yang dihasilkan pada tiap metode dengan berfokus pada kegagalan *pull-out*. Perbandingan dilakukan agar pembaca diharapkan memahami perbedaan gaya yang dihasilkan antara kedua metode pemasangan angkur serta untuk mengetahui metode yang lebih baik diantara keduanya.

1.2 Identifikasi Masalah

Permasalahan yang timbul berdasarkan latar belakang diidentifikasi sebagai berikut :

a. Nilai gaya prediksi pada kegagalan *pull-out* secara teoritis.

b. Perbedaan besar gaya *pull-out* secara teoritis terhadap gaya *pull-out* hasil pengujian metode *cast in place.*

c. Perbedaan besar gaya *pull-out* secara teoritis terhadap gaya *pull-out* hasil pengujian metode *post installed.*

d. Perbandingan besar gaya *pull-out* hasil pengujian menggunakan metode *cast in place* dan metode *post installed.*

e. Pola kegagalan pada beton yang ditimbulkan akibat pemberian gaya tarik pada angkur kelompok.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah diuraikan, maka rumusan masalahnya adalah sebagai berikut :

a. Bagaimana perbandingan gaya hasil pengujian *pull-out* pada masing – masing metode terhadap gaya hasil prediksi ?

b. Bagaimana perbandingan gaya hasil pengujian *pull-out* yang terjadi pada pengangkuran menggunakan metode *cast in place* dan *post installed*?

c. Bagaimana pola kegagalan yang timbul pada beton akibat pengaruh pengangkuran kelompok ketika diberikan beban tarik?

1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah dalam penulisan skripsi ini antara lain :

a. Perilaku kegagalan pada angkur kelompok terhadap beton dikontrol hanya pada kegagalan *pull-out.*

b. Mutu beton rencana yang digunakan untuk seluruh sampel sebesar 25 MPa.

c. Perancangan dimensi spesimen beton berpedoman pada peraturan ACI 318-11.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui perbandingan besar gaya hasil eksperimen terhadap gaya berdasarkan hasil prediksi.
2. Mengetahui perbedaan besar gaya yang dihasilkan pada metode pengangkuran *cast in place* dan *post installed.*
3. Mengetahui metode pengangkuran yang lebih baik antara metode *cast in place* dan *post installed.*
4. Mengetahui pola kegagalan beton yang timbul akibat pengangkuran kelompok ketika diberi pembebanan tarik.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penelitian ini, penulisan disusun dalam lima bab, diuraikan sebagai berikut :

1. **BAB 1 : PENDAHULUAN**

   Menguraikan dan menjelaskan terkait latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian dan sistematika penulisan.

2. **BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKAN**

Menguraikan tentang teori yang digunakan sebagai landasan untuk membahas permasalahan penelitian.

3. **BAB 3 : METODOLOGI**

   Berisi tentang metode dan prosedur pengujian yang dilakukan dalam penelitian.

4. **BAB 4 : HASIL DAN PEMBAHASAN**

   Menyajikan tentang data yang diperoleh dari hasil pengujian serta pembahasan tentang materi yang diteliti.

5. **BAB 5 : PENUTUP**

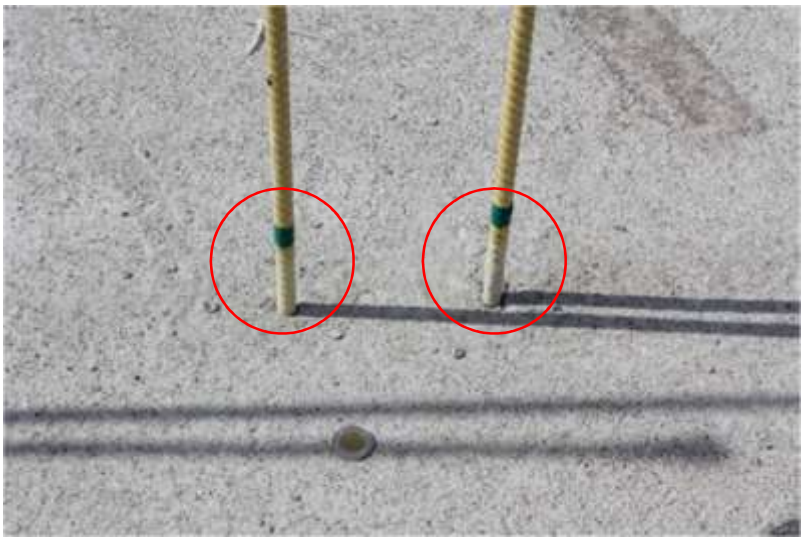
   Berisi kesimpulan dari serangkaian proses penelitian serta saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Penelitian yang Relevan

Penelitian yang dilakukan oleh Abolghasem (2013) dengan judul "*Experimental Investigation on Pull-out Strength of Pre- and Post-Installed GFRP bars for Bridge*", meneliti tentang kekuatan *pull-out* yang dihasilkan oleh angkur GFRP. Dimana hasil eksperimen pada sesi pertama menunjukkan bahwa belum jelas apakah jarak mempengaruhi ikatan angkur terhadap material beton. Pada pengujian kelompok angkur menggunakan angkur GFRP dengan diamter 12 mm, jarak pemasangan tidak berpengaruh signifikan pada kekuatan ikatan. Pada pengujian angkur GFRP dengan ujung berkepala berdiameter 16 mm, kekuatan ikatan meningkat dengan bertambahnya jarak pemasangan. Pada sesi kedua menguji tentang perilaku angkur GFRP pada sistem *post installed* dengan variasi jarak 100 mm, 150 mm, 200 mm, menyimpulkan dari hasil pengujian *pull-out* bahwa beban ultimit rata-rata meningkat seiring dengan bertambahnya jarak pemasangan.



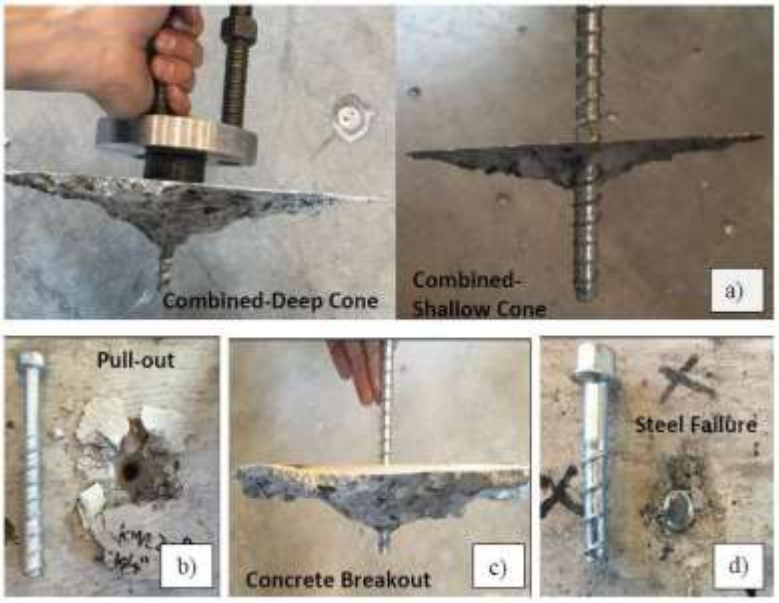
Gambar 2.1 Bentuk kegagalan pada spesimen GFRP berulir diamter 12 mm pada jarak 150 mm (*Group of double ribbed GFRP*) (Abolghasem, 2013)

Gambar 2.2 Bentuk kegagalan pada spesimen GFRP berulir diamter 12 mm pada jarak 225 mm (*Group of double ribbed GFRP*) (Abolghasem, 2013)

Gambar 2.3 Bentuk kegagalan pada spesimen GFRP berulir diamter 12 mm pada jarak 300 mm (*Group of double ribbed GFRP*) (Abolghasem, 2013)

Penelitian yang dilakukan oleh Chen (2018) yang berjudul "*Analyzing The Failure Mechanisms And Developing Strength Prediction Models For Concrete Expansion And Screw Anchors In Tension*" meneliti tentang perilaku yang terjadi pada angkur ekspansi terkontrol torsi yang terdiri dari berbagai diameter yaitu ½", 3/8", ¼" dengan masing-masing 2 variasi kedalaman efektif (h_{ef}) yang berbeda ((3¼", 2¼"); (2½", 1½"); (1½", 1")) pada pelat beton dengan kuat tekan 17,2 MPa. Metode yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah eksperimen dengan cara pengujian *pull-out.* Hasil penelitian memberikan hasil (1) kedalaman efektif (h_{ef}) berpengaruh terhadap jenis kerusakan yang terjadi akibat pembebanan tarik, pada h_{ef} yang dangkal kerusakan dikontrol oleh kerusakan jebol pada beton (*concrete cone breakout*), ketika diuji pada h_{ef} yang lebih dalam kerusakan dikontrol oleh perilaku *pull-out*, hingga h_{ef} dimana kerusakan komponen baja tercapai (2)

rasio h_{ef}/d_a memiliki pengaruh terhadap perilaku kerusakan pada pengangkuran serta kapasitas yang dihasilkan angkur ekspansi tiap spesimen. Nilai h_{ef}/d_a yang rendah cenderung dikontrol oleh kerusakan yang terjadi pada beton, semakin tinggi nilai h_{ef}/d_a kegagalan dikontrol oleh perilaku *pull-out.*

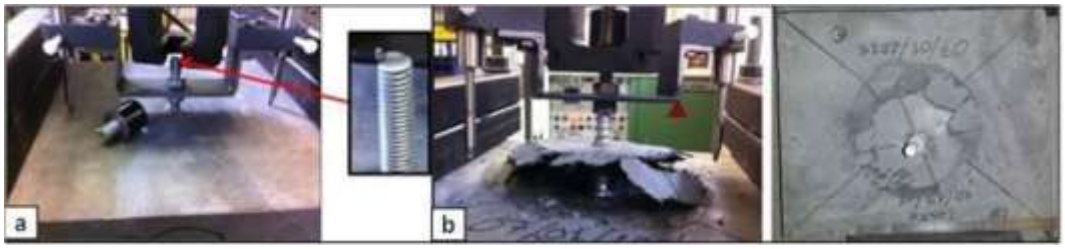


Gambar 2.4 Jenis kegagalan dominan pengujian *pull-out*
(a) Kombinasi (b) *Pull-out* (c) *Concrete breakout* (d) Steel rupture

Kegagalan pada mode kombinasi mendominasi sekitar 80% dari 144 pengujian untuk kedalaman pemasangan dangkal dan dalam. Ukuran kerucut bervariasi di antara pengulangan per skenario d – h_{ef}; kedalaman kerucut berkisar antara 20-67% dari kedalaman embedment (Gambar 2.1a). Hanya 11 tes yang secara jelas diklasifikasikan sebagai mode *pull-out* (Gambar 2.1b). Namun, hasil pengujian yang berada dalam mode *pull-out* tidak menunjukkan kapasitas gaya yang lebih rendah daripada mode kombinasi. Angkur yang gagal dengan kerucut beton yang menutupi lebih dari 70% h_{ef} diperlakukan sebagai mode *concrete breakout* (Gambar 2.1c). Enam tes gagal dalam mode

concrete breakout, yang juga tidak menunjukkan perbedaan kapasitas gaya dibandingkan dengan mode kombinasi. Selain itu, semua angkur SST (8) 1 / 4-2 ½ inci (6,5-63,5 mm) dan hampir setengah (5) angkur Hilti gagal dalam mode baja (Gambar 2.1d).

Penelitian lain yang dilakukan oleh Delhomme dan Brun (2018) menggunakan *chemically bonded anchor* pada UHPFRC (*Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete*) memberikan hasil bahwa angkur yang dipasang pada beton 150 MPa hingga 165 MPa menunjukkan bahwa kombinasi kegagalan *pull-out* dan *concrete cone failure* pada kedalaman pemasangan 40 mm dan kegagalan baja pada kedalaman 100 mm.



Gambar 2.5 Jenis kegagalan pengujian pullout (Delhomme dan Brun, 2018)

(a) Steel rupture pada pengujian h100 (kedalaman efektif = 100 mm) – (b) Kombinasi kegagalan *pull-out* dan *concrete breakout* untukpengujian h40 (kedalaman efektif = 40 mm).

2.2 Material Beton

Beton (*concrete*) adalah campuran semen (*Portland Cement* atau semen hidrolis lainnya), pasir (agregat halus), krikil (agregat kasar), dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (admixture) (SNI 2847:2019).

Menurut Dipohusodo (1994) nilai kekuatan serta daya tahan (*durability*) beton merupakan fungsi dari banyak faktor seperti nilai banding campuran dan mutu bahan penyusun, metode pelaksanaan pengecoran, pelaksanaan finishing, temperatur, dan kondisi perawatan.

Mulyono (2013) menjelaskan bahwa beton perlu disesuaikan dengan kelas dan mutu beton, sehingga bisa disesuaikan dengan keperluan dan peruntukan beton yang akan dibuat. Menurut Puslitbang Prasarana Transportasi Departemen Pekerjaan Umum Divisi 7 – 2005, beton diklasifikasikan berdasarkan mutu dan fungsi penggunaannya sebagai berikut.

Tabel 2.1 Mutu beton dan penggunaannya

Jenis Beton	***fc'*** **(MPa)**	**Uraian**
Mutu tinggi	≥ 45	Umumnya digunakan untuk beton prategang seperti tiang pancang beton prategang, gelagar beton prategang, pelat beton prategang dan sejenisnya
Mutu sedang	20 - 45	Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma, kereb beton pracetak, gorong-gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan, perkerasan kaku jalan
Mutu rendah	15 - 20	Umumnya digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti beton siklop, trotoar dan pasangan batu kosong yang diisi adukan
	10 - 15	Digunkan sebagai lantai kerja, penimbunan kembali dengan beton

Sumber : Puslitbang Prasarana Transportasi, Divisi 7 – 2005

Kuat tekan beton pada umur 28 hari nilainya berkisar antara ± 10 – 65 MPa. Untuk struktur beton bertulang pada umumnya menggunakan beton

dengan kuat tekan berkisar 17 – 30 MPa, sedangkan untuk beton prategang digunakan beton dengan kuat tekan yang lebih tinggi yaitu berkisar antara 30 – 40 MPa (Dipohusodo, 1994).

2.2.1 Jenis beton

Jenis-jenis beton digunakan sesuai dengan keperluan agar dapat menjalankan fungsi yang dikehendaki dengan baik. Menurut Mulyono (2005) jenis-jenis beton diantaranya :

1. Beton bertulang

   Beton bertulang merupakan beton yang diberi tambahan besi tulangan dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum, yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja.

2. Beton normal

   Beton normal merupakan beton yang memiliki massa jenis 2200 kg/m^3 yang dibuat menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah.

3. Beton pracetak

   Beton pracetak merupakan elemen atau komponen beton tanpa atau dengan tulangan yang dicetak terlebih dahulu sebelum dirakit menjadi bangunan.

4. Beton prategang

   Beton prategang merupakan beton yang telah diberikan tegangan dalam bentuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat pemberian beban yang bekerja.

5. Beton ringan

   Beton ringan merupakan beton yang memakai agregat ringan atau campuran antara agregat kasar ringan dan pasir alami sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan tidak boleh melampui berat isi maksimum beton 1850 kg/m^3 kering udara dan harus memenuhi ketentuan kuat tekan dan kuat tarik beton ringan untuk tujuan struktural

2.2.2 Kuat tekan beton

Nilai kuat tekan beton diperoleh dengan cara pengujian standar menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan diatas benda uji silinder beton (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) sampai hancur. Kuat tekan tertinggi (f'_c) dicapai pada umur beton 28 hari. Nilai kuat tekan beton diperoleh dari perbandingan dari besarnya beban tekan per satuan luas yang menyebabkan benda uji hancur.

Tabel 2.2 Hubungan kuat tekan beton terhadap umur beton

Umur (hari)	Kuat tekan beton (%)
3	40
7	65
14	88
21	95
28	100
90	120
365	135

Kuat tekan beton dinyatakan dalam persamaan :

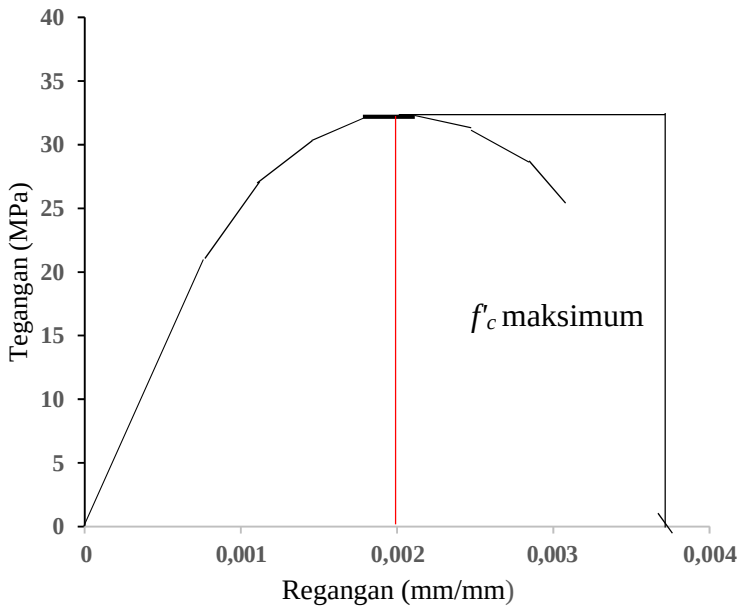
$$f'_c = \frac{P}{Æ} \qquad (2.1)$$

Dengan :

f'_c : kuat tekan beton pada umur 28 hari (MPa)

P : gaya maksimum dari mesin tekan (N)

A : luas penampang benda uji tekan (mm^2)



Gambar 2.6 Kurva tegangan-regangan beton

(Dipohusodo, 1994)

Tegangan f'_c bukanlah tegangan yang timbul pada saat benda uji hancur, melainkan tegangan maksimum pada saat regangan beton (ε_b) mencapai nilai ± 0,002. Selanjutnya nilai tegangan f'_c akan turun dengan bertambahnya nilai regangan sampai benda uji hancur pada nilai ε' mencapai 0,003-0,005 (Dipohusodo, 1994). Bahan beton bersifat elastoplastis dimana akibat beban yang sangat kecil sekalipun

disamping memperlihatkan kemampuan elastis bahan, beton juga menunjukkan deformasi permanen (Dipohusodo, 1994).

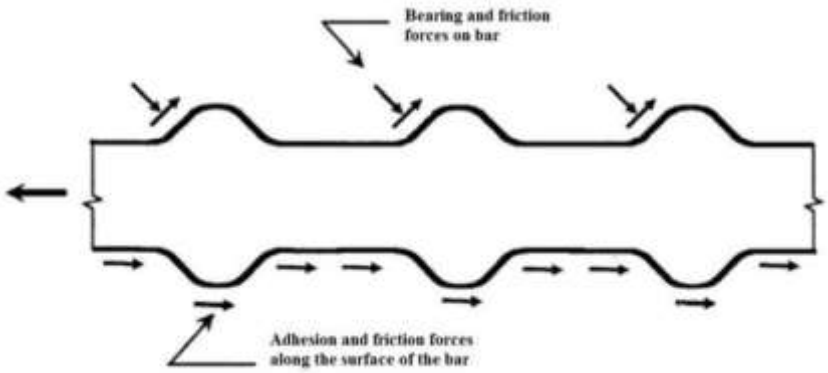
2.3 Tegangan Lekat

Menurut Park dan Paulay (1975), tegangan lekat merupakan hubungan saling geser (*shear interlock*) antara elemen tulangan dan beton disekitarnya yang disebabkan oleh berbagai faktor. Efek ini dapat dinyatakan dalam tegangan geser per satuan luas permukaan tulangan. Tegangan langsung ini ditransformasikan dari beton ke permukaan tulangan sehingga mengubah tegangan tarik diseluruh panjang tulangan melalui mekanisme *bond*.

Menurut Nawy (1998) dan Mac Gregor (1992) (dalam Prasetyo, 2019) Secara umum kekuatan lekatan bergantung pada mekanisme utama sebagai berikut :

1. Adhesi, yaitu ikatan akibat adanya proses reaksi pengerasan semen di permukaan tulangan
2. Friksi, merupakan tahanan geser terhadap gelinciran dan saling mengunci pada saat tulangan mengalami tegangan tarik
3. *Interlocking*

   Mekanisme ini terbentuk karena adanya interaksi antara ulir (*rib*) tulangan dengan matriks beton disekitarnya. Mekanisme ini sangat bergantung pada kekuatan material beton, geometri tulangan, dan diameter tulangan.



Gambar 2.7 Mekanisme penyaluran lekatan (dalam Abolghasem, 2013)

Menurut Nuroji (dalam Prasetyo, 2019) Pada tulangan polos (*smooth bar*), *bond* beton dan tulangan hanya dibentuk oleh adhesi dan friksi semata. Pada saat pembebanan awal adhesi dan friksi bekerja secara bersamaan hingga tercapai beban maksmimum, setelah adhesi rusak *bond* antara beton dan tulangan hanya dipikul oleh friksi. Kapasitas *bond* kemudian berangsur-angsur turun seiring dengan berkurangnya bidang kontak antara tulangan terhadap beton akibat perilaku *slip*.

Mekanisme *bond* pada tulangan berulir (*deformed bar*) dibentuk oleh adhesi, friksi dan *interlocking* antara ulir (*rib*) tulangan dengan matriks beton.

Beberapa kemungkinan yang dapat terjadi dari keruntuhan lekatan antara baja tulangan dan beton pada saat pengujian ditunjukkan oleh beberapa peristiwa berikut (Nuryani, 2005 dalam Sendow, 2018) :

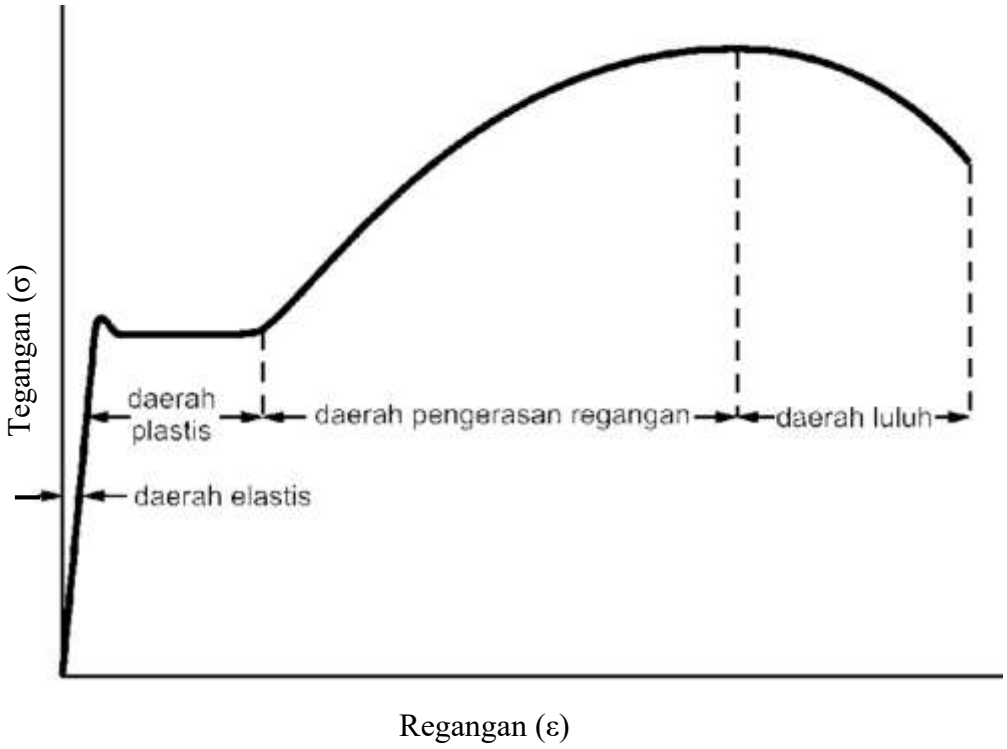
1. *Transverse Failure* yaitu adanya retak pada beton arah transversal/melintang akibat tegangan tarik yang tidak dapat ditahan oleh selimut beton, keruntuhan ini akan menurunkan tegangan lekat antara baja tulangan dan beton.
2. *Splitting Failure* yaitu adanya retak pada beton arah longitudinal/memanjang akibat tegangan radial geser yang tidak dapat ditahan oleh selimut beton, keruntuhan ini akan menurunkan tegangan lekat antara baja tulangan dan beton.
3. *Pull-out Failure/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.
4. Baja tulangan mencapai leleh yaitu apabila baja tulangan meleleh diikuti oleh kontraksi/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.
5. Putusnya tulangan apabila penanamannya terlalu panjang.

2.4 Material Baja

Baja konstruksi adalah *alloy steel* (baja paduan), yang umumnya mengandung lebih dari 95% besi dan biasanya mengandung kurang dari 1% karbon. Sekalipun komposisi aktual kimiawi sangat bervariasi untuk sifat yang diinginkan, seperti kekuatannya dan tahanannya terhadap korosi, baja dapat juga mengandung elemen paduan lainnya seperti silikon, magnesium,

sulfur, fosfor, tembaga, krom dan nikel, dalam berbagai jumlah (Spiegel, 1991).

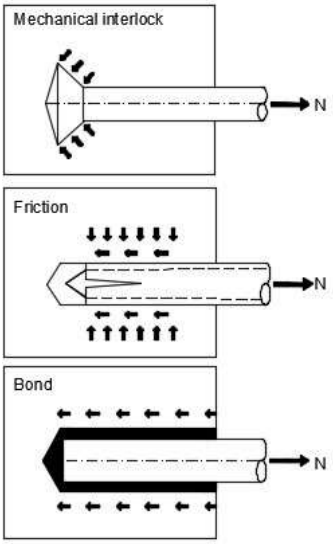
Terdapat dua karakteristik yang dapat menggambarkan perilaku sebuah material untuk struktur yaitu kekuatan dan daktilitas. Beberapa perilaku dari material baja yang berbeda yaitu : daerah elastis, daerah plastis, daerah pengerasan regangan (*strain hardening*) dan daerah luluh (Tall, 1974).



Gambar 2.8 Kurva tegangan-regangan baja

2.5 Sistem Pengangkuran

Angkur digunakan untuk menghubungkan elemen struktural dan non struktural ke dalam beton. Angkur berfungsi untuk mentransfer gaya tarik dan gaya geser eksternal yang bekerja pada sambungan. Mekanisme pemindahan beban yang terjadi pada angkur biasanya diidentifikasi seperti *interlock* mekanis, gesekan dan/atau *bond* (lekatan) seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.1.



Gambar 2.9 Mekanisme transfer beban pada angkur (Eligehausen, et al. (2006))

Terdapat dua jenis sistem pemasangan angkur yang beredar, antara lain sistem *cast in place* dan sistem *post installed*. Terdapat beberapa perbedaan pada sistem *cast in place* dan *post installed* dimana pada masing-masing metode memberikan beberapa keunggulan.

Sistem *cast in place* merupakan metode pemasangan angkur dimana angkur dipasang dan diposisikan sebelum dilakukan pengecoran beton.

Sistem *cast in place* memberikan keunggulan berupa mekanisme ikatan maksimum antara beton dengan angkur, namun memiliki kelemahan utama yaitu tidak dapat dipindahkan setelah setelah beton mengeras serta adanya potensi penempatan yang salah.

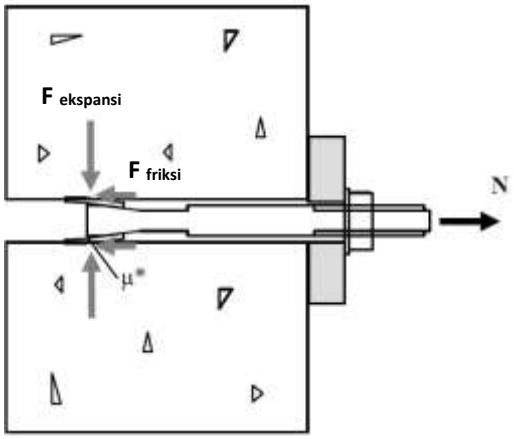
Pada sistem pengangkuran *post installed*, angkur dipasang pada beton ketika beton telah mengeras dengan cara melubangi permukaan beton menggunakan teknologi pengeboran. Keunggulan adanya sistem *post installed* antara lain efisiensi waktu serta kemudahan dalam pemasangan angkur serta pelepasannya. Namun memiliki kekurangan dimana interaksi gaya antara komponen angkur dengan beton menjadi berkurang sebagai akibat dari pengeboran beton.

2.6 Angkur Ekspansi

Angkur ekspansi pada dasarnya terdiri baut dengan ujung kerucut yang kemudian dikembangkan agar menekan ke dinding lubang bor pada beton selama instalasi. Angkur tipe ekspansi mentransfer beban ke beton di sekelilingnya dengan cara ekspansi lateral terhadap sisi lubang yang di bor.

Prinsip mekanisme transfer beban yang terjadi pada angkur ekspansi adalah dengan memanfaatkan gesekan angkur tertanam terhadap beton yang mengelilinginya. Ujung angkur yang tertanam menahan gaya tegangan eksternal melalui gaya ekspansi dan gaya gesek antara permukaan kontak ujung angkur tertanam dengan lubang pada beton yang dibor.

Adanya gaya pratekan yang dihasilkan angkur selama pemasangan menciptakan mekanisme *interlock* pada angkur sebagai fungsi untuk menahan gaya eksternal yang terjadi (Chen, 2018).

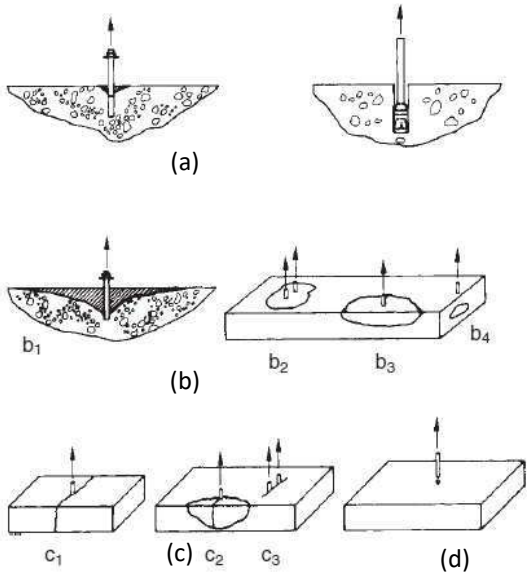


Gambar 2.10 Mekanisme penyaluran gaya pada angkur ekspansi (Mahrenholtz, 2012)

2.7 Perilaku Kegagalan Angkur Akibat Beban Tarik

Pada kondisi pembebanan tarik, angkur biasanya menunjukkan empat mode kegagalan yang mungkin selama terjadinya tegangan. Deformasi yang terjadi diukur pada permukaan beton yang terdiri dari deformasi angkur yang berhubungan dengan beton disekitarnya (*slip*), deformasi pada material beton ataupun material angkur .

Berbagai jenis kegagalan dapat terjadi dalam kasus pembebanan seperti fraktur pada angkur hingga kerusakan kerucut beton. ACI 318M-11 mengembangkan model untuk menentukan perilaku angkur berdasarkan hasil eksperimen.

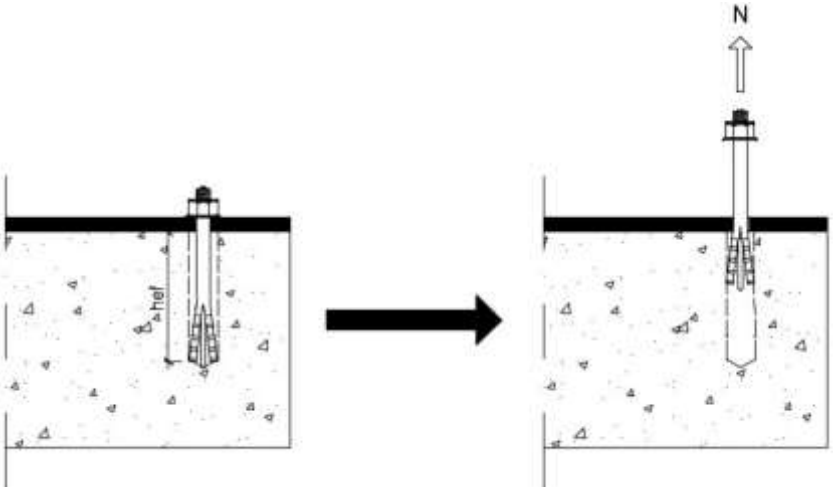


Gambar 2.11 Perilaku kegagalan angkur dalam pembebanan tarik (Eligehausen, et al. (2006))

(a) kegagalan *pull-out* dan *pull-through*; (b) kegagalan *concrete breakout*; (c) kegagalan *splitting*; (d) kegagalan komponen baja angkur

2.7.1 Kegagalan angkur tercabut (*pull-out failure*)

Kegagalan *pull-out* dicirikan dengan angkur yang tertarik keluar dari lubang bor, dimana beberapa kasus ada kemungkinan terjadi kerusakan pada beton disekitar angkur atau bahkan tanpa adanya kerusakan pada beton. Kegagalan *pull-out* dapat terjadi jika mekanisme *interlock* tidak cukup memadai untuk menahan gaya tarik eksternal sehingga terjadi *slip*.



Gambar 2.12 Kegagalan *pull-out* angkur terhadap beton

Beberapa peraturan seperti pada *appendix* D ACI 318-14, tidak memberikan model untuk memprediksi kapasitas *pull-out* pada angkur ekspansi. Untuk itu beberapa penelitian pada dasarnya tergantung pada asumsi yang dibuat mengenai gaya normal yang dihasilkan di zona transfer beban (Eligehausen, 2005 : 98). Bagaimanapun kegagalan *pull-out* tetap perlu diperhitungkan untuk mengantisipasi adanya kemungkinan terjadinya kegagalan struktur.

Kegagalan *pull-out* pada angkur dapat diasumsikan menggunakan pendekatan *bond slip* yang terjadi pada tulangan ulir. Pada tulangan ulir dimana mekanisme friksi, adhesi serta *interlock* pada *rib* tulangan berperan penting dalam aksi ikatan antara komponen besi dengan beton. Pada angkur ekspansi bagian kerucut memegang peran *interlock* mekanis untuk menahan gaya eksternal yang disalurkan ke dalam beton.

Cook (dalam Abolghasem, 2013 : 35) memberikan persamaan untuk menghitung kapasitas lekatan pada angkur :

$N_p = \pi \cdot h_{ef} \cdot d_a \cdot \mu$ (2.2)

Dimana,

N_p : kapasitas *pull-out* angkur (N)

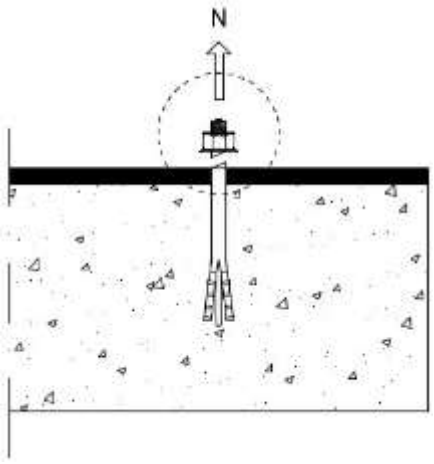
h_{ef} : kedalaman efektif pemasangan angkur (mm)

d_a : kiameter angkur (mm)

μ : tegangan lekat (MPa)

2.7.2 Angkur patah akibat gaya tarik (*steel rupture*)

Kegagalan ini terjadi akibat gaya tarik yang diberikan namun ikatan ke beton lebih besar daripada kekuatan komponen angkurnya akibat kedalaman pengangkuran yang dalam, sehingga angkur mengalami fraktur. Kegagalan yang terjadi adalah baut mengalami putus ketika tegangan tarik mencapai kondisi ultimit yang tidak mampu ditahan oleh baut angkur. Kuat tarik rencana baut angkur ditentukan berdasarkan mutu bahan material dan dimensi fisik angkur (Dewobroto, 2015).



Gambar 2.13 Kegagalan fraktur angkur terhadap tarik

ACI 318-14 memberikan model untuk memprediksi kuat tarik rencana angkur yang dihitung sebagai berikut :

$N_{sa} = A_{seN} \cdot fu_a$ (2.3)

Dimana :

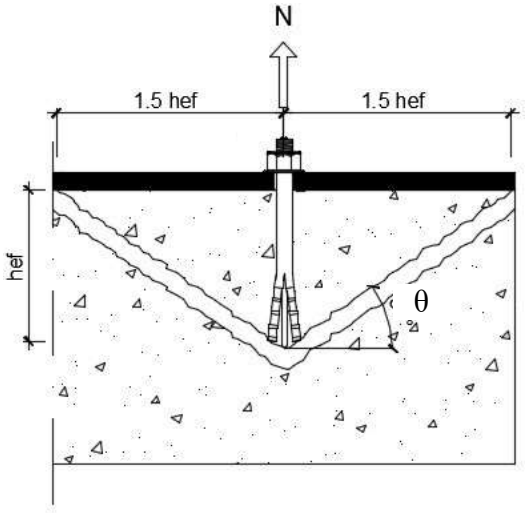
N_{sa} : Kuat tarik nominal baut angkur (N)

A_{seN} : Luas penampang efektif terhadap gaya tarik (mm^2)

fu_a : Kuat tarik baut angkur (MPa)

2.7.3 Kegagalan jebol (*concrete breakout*) beton terhadap tarik

Kegagalan jebol pada beton terjadi jika kedalaman pemasangan angkur relatif kecil, mencabut angkur akan menyebabkan pengembangkan permukaan gagal disekitar angkur dalam bentuk kerucut dengan sudut 35° dari bagian bawah angkur ke permukaan horizontal beton.



Gambar 2.14 Kegagalan *concrete cone breakout*

Eligehausen et.al (2006:275) memberikan persamaan untuk memprediksi kegagalan *concrete breakout* pada kelompok angkur.

$$N_{cbg} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \cdot N_{cb} \qquad (2.4)$$

Nilai awal kekuatan karakteristik angkur dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$N_{cb} = kc \cdot \lambda a \cdot \sqrt{f'c} \cdot h_{ef}^{1.5} \qquad (2.5)$$

Keterangan :

s_1, s_2 : jarak antar angkur (mm)

c_{a1} : jarak angkur ke tepi beton (mm)

kc : koefisien nilainya diambil berdasarkan jenis pemasangan

(*cast in place* = 10; *post installed* = 7)

λa : faktor modifikasi untuk material beton ringan, untuk angkur cor di tempat maka $\lambda a = \lambda$, Beton normal $\lambda = 1$, untuk beton ringan λ = 0.75 ~ 0,85

A_{Nco} : luas proyeksi maksimum kerusakan angkur tunggal (mm^2)

A_{Nc} : luas proyeksi kerusakan angkur kelompok (mm^2)

N_{cbg} : kuat angkur tunggal terhadap *concrete breakout* (N)

N_{cb} : kuat angkur kelompok terhadap *concrete breakout* (N)

2.7.4 Kegagalan ambrol muka samping (*sideface blowout*) pada beton

Kegagalan ambrol muka samping (*sideface blowout*) perlu dievaluasi jika kedalaman pengangkuran (h_{ef}) lebih besar dari 2.5 c_{a1}. ACI 318-11 memberikan model untuk memprediksi kegagalan ambrol muka samping pada beton sebagai berikut :

$$N_{sb} = 13 \cdot c_{a1} \cdot \sqrt{A_{ceN}} \cdot \lambda_a \cdot \sqrt{f'c} \qquad (2.6)$$

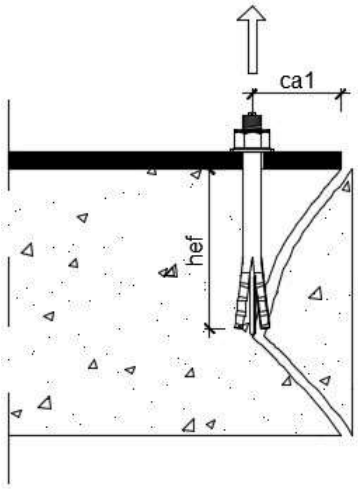
Dimana :

N_{sb} : kuat ambrol angkur tunggal (N)

s : jarak antar angkur (mm)

c_{a1} : jarak angkur ke tepi beton (mm)

A_{seN} : luas nominal angkur (mm^2)



Gambar 2.15 Kerusakan ambrol muka samping beton

(*concrete sideface blowout*)

Untuk baut angkur kelompok yang dipasang dipinggir pada kedalaman pasang $h_{ef} > 2.5\ c_{a1}$ dan spasi antar angkur kurang dari $6\ c_{a1}$, maka kuat nominal angkur kelompok yang aman terhadap ambrol muka samping, Nsbg diambil tidak lebih dari :

$$N_{sbg} = \left(1 + \frac{s}{6 \cdot ca1}\right) \cdot N_{sb} \qquad (2.7)$$

Dimana :

N_{sbg} : kuat ambrol (*blowout*) angkur kelompok (kN)

2.7.5 Kegagalan pecah belah pada beton (*concrete splitting failure*)

Dalam merencanakan angkur, terdapat persyaratan jarak atau spasi minimum yang harus dipenuhi untuk mencegah terjadinya kegagalan struktur. Ketentuan yang dipakai dalam penelitian ini merujuk kepada

Lampiran D peraturan ACI 318-11 tentang jarak tepi, spasi dan tebal minimum untuk mencegah *splitting*. Jarak atau spasi minimum yang ditetapkan untuk mencegah kerusakan adalah sebesar $6d_a$ dari angkur lain atau tepi beton. Untuk kedalaman efektif dari baut angkur secara umum tidak boleh melebihi dari 2/3 tebal komponen struktur.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil dari serangkaian pengujian yang telah dilakukan diperoleh tegangan tekan beton (f'_c) sebesar 25,69 MPa, tegangan ultimit (*fu*) angkur sebesar 383,25 MPa, tegangan lekat (μ_1) pada metode pengangkuran *cast in place* sebesar 2,25 MPa, tegangan lekat pada metode *post installed* sebesar 1,56 MPa. Hasil Pengujian *pull-out* menghasilkan gaya sebesar 38,38 kN pada metode *cast in place* dan 36,62 kN pada metode *post installed*. Berdasarkan analisis hasil pengujian *pull-out* terhadap spesimen uji dengan jarak angkur s = 100 mm, c_{a1} = 100 mm pada beton f'_c = 25,69 MPa dengan metode pengangkuran *cast in place* dan *post installed* yang telah diuraikan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisis teoritis kegagalan sistem pengangkuran, jenis kegagalan dikontrol pada kegagalan *pull-out* karena memberikan nilai gaya terkecil dari keempat jenis kegagalan yaitu sebesar 26,083 kN untuk metode *cast in place* dan 18,084 kN untuk metode *post installed*. Hasil analisis sesuai dengan hasil eksperimen dimana pola kegagalan yang terjadi berupa kegagalan angkur tercabut (*pull-out*).
2. Pengujian *pull-out* pada kedua metode pengangkuran memberikan hasil sebesar 38,38 kN pada deformasi 13,81 mm (*cast in place*) dan 36,62 kN pada deformasi 8,89 mm (*post installed*). Namun teori *Cook* memberikan hasil yang kurang efisien jika diterapkan pada metode *cast in place*

dibandingkan dengan metode *post installed*. Pada metode metode *cast in place* gaya pada kurva elastis lebih rendah dari hasil prediksi (23,70 kN < 26,08 kN) sedangkan pada metode *post installed* memberikan gaya yang lebih tinggi terhadap hasil prediksi (18,61 kN > 18,08 kN).

3. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, metode pengangkuran *cast in place* lebih baik dari pada metode *post installed*. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai gaya ultimit yang lebih besar (38,38 kN > 36,62 kN) serta kenaikan deformasi yang memberikan perbedaan yang signifikan. Kenaikan deformasi awal pada metode *cast in place* cenderung kecil sebagai akibat adanya mekanisme adhesi dan *interlock* pada angkur terhadap dinding lubang beton. Berbeda pada metode *post installed,* kenaikan deformasi pada awal pembebanan tarik cenderung lebih besar karena efek permukaan lubang bor menyebabkan mekanisme penyaluran gaya tidak merata dan hanya mengandalkan efek *interlock* pada ujung angkur.
4. Berdasarkan pola kegagalan yang terjadi pada beton akibat pengangkuran kelompok, menunjukkan bahwa jarak antar angkur tidak mempengaruhi terjadinya kerusakan *pull-out* selama jarak yang dipakai dalam desain masih dalam prosedur perhitungan dalam artian tidak lebih besar dari jarak kritisnya (jarak minimum = $6d_a$). Kedalaman penanaman angkur berpengaruh terhadap jenis kerusakan yang terjadi pada angkur ataupun beton. Pada jarak antar angkur yang sama, namun adanya perbedaan kedalaman penanaman angkur menyebabkan terjadinya

variasi bentuk kerusakan pada spesimen. Nilai kekuatan yang dihasilkan pada pengangkuran yang dangkal (h_{ef} = 60 mm) lebih besar daripada nilai pada pengangkuran yang lebih dalam (h_{ef} = 90), namun deformasi angkur dengan pengangkuran dangkal jauh lebih kecil daripada pengangkuran yang lebih dalam. Semakin rendah kedalaman penanaman angkur, kerusakan dikontrol kearah kerusakan jebol pada beton (*concrete breakout*).

5. Secara eksperimen jarak angkur mempengaruhi kekuatan cabut yang terjadi pada angkur terhadap beton. Semakin renggang jarak antar angkur gaya yang dihasilkan juga semakin besar, selama jarak masih lebih kecil dari jarak kritis yang disyaratkan. Hasil penelitian sesuai dengan teori-teori yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya.

5.2 Saran

Berdasarkan evaluasi yang telah dilakukan pada penelitian ini, baik pada saat pelaksanaan maupun pada hasil yang telah diperoleh, maka diberikan saran untuk penelitian kedepan yang diuraikan sebagai berikut :

1. Perlunya penelitian lanjutan dengan variabel yang lebih banyak dan bervariasi agar memberikan hasil yang lebih aktual.
2. Meskipun metode *cast in place* memiliki keunggulan dalam kekuatan, namun keterbatasan pelaksanaan pemasangan menjadi faktor penyebab kekurangan. Untuk itu perlu dilakukan penelitian untuk menguji metode *post installed* agar hasil kekutannya diharapkan mendekati atau bahkan

melebihi kekuatan pengangkuran metode *cast in place* dengan cara memberi bahan aditif atau semacamnya.

3. Penelitian dapat dikembangkan dengan metode numerik *finite element* menggunakan *software* komersial seperti *software* ABAQUS

DAFTAR PUSTAKA

Abolghasem, Alireza. 2013. Experimental Investigation on Pull-out Strength of Pre- and Post-Installed GFRP bars for Bridge Barrier Construction. *Thesis*. Toronto (CA) Ryerson University.

ACI. 2011. *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11) An ACI Standard and Commentary.* Farmington Hills, U.S.A.

Anatasya, Levina. 2020. Eksperimen Pull-out Test Hammer Drive Anchor M10X120 mm Dengan Jarak Angkur Ke Tepi Beton Kritis Melalui Pemasangan Cast in place Dan Post-Installed. *Skripsi*. Program S1 Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang. Semarang.

Badan Standarisasi Nasional. 1991. *Standar Nasional Indonesia : Metode Pengujian Kuat Tarik Baja Beton*. SNI 07-2529-1991. Indonesia

Badan Standarisasi Nasional. 2011. *Standar Nasional Indonesia : Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. SNI 1947- 2011. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2011. *Standar Nasional Indonesia : Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji di Laboratorium*. SNI 2493- 2011. Jakarta.

Chen, Zhao. 2018. Analyzing The Failure Mechanisms And Developing Strength Prediction Models For Concrete Expansion And Screw Anchors In Tension. *Disertation*. Washington (US) Washington State University.

Delhomme, Fabien dan Michael Brun. 2018. Pullout Simulation Of *Post installed* Chemically Bonded Anchors In UHPFRC. *MATEC Web of Conferences 199, ICCRRR 2018*. Cape Town, South Africa.

Dewobroto, Wirayanto. 2015. *Struktur Baja (Perilaku, Analisis dan Desain – AISC 2010)*. Banten: Lumina Press.

Dipohusodo, Istimawan. 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

DPU. 2005. *Puslitbang Prasarana Transportasi, Divisi 7*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.

Huda, Amirul. 2020. Eksperimen Tarik Angkur Tipe Ekspansi Secara Cast in place Dan Post-Installed Dengan Kegagalan Breakout Beton. *Skripsi*. Program S1 Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang. Semarang.

Eligehausen, R., Mallée, R., Silva, J. F. 2006. *Anchorage In Concrete Construction*. Berlin: Ernst & Sohn.

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.

Mulyono, T., 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi.

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, dan Henry Apriyatno. 2019. Studi Literatur Kapasitas Defleksi dan Lentur dan Defleksi Balok Beton Bertulang dengan Menggunakan Tulangan Spiral. *Civil Engineering and Environmental Symposium 2019*. Semarang.

Prasetyo, Imam. 2019. Studi Literatur Kapasitas Defleksi dan Lentur Balok Beton Bertulang dengan Menggunakan Tulangan Sepiral. *Skripsi*. Program S1 Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang. Semarang.

Sendow, Marchiano R, dkk. 2018. Tegangan Lekat Antara Baja Dan Beton Mutu Tinggi Dengan Variasi Luas Tulangan. *Jurnal Sipil Statik* Vol. 6 No. 11.

Spiegel, L. Dan Limbruner, G.F. 1991. *Desain Baja Struktural Terapan.* Terjemahan Bambang Suryoatmono. Bandung: PT Eresco.

Tall, L. 1974. *Structural Steel Design*. New York: John Wiley & Sons. Inc.

Triwinanto, Puguh. 2018. Analisis Kekuatan Cabut Ц-Angkur Tertanam Pada Beton Secara Teoritis Dan Pengujian. Banten: Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS) BPPT.