



**EKSPERIMENTARIK ANGKUR TIPE EKSPANSI  
SECARA *CAST IN PLACE* DAN *POST-INSTALLED*  
DENGAN KEGAGALAN *BREAKOUT* BETON**

**Skripsi**

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil S1**

**Oleh**  
**Amirul Huda**  
**NIM.5113416005**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
2020**

## **PERSETUJUAN PEMBIMBING**

Nama : Amirul Huda

NIM : 5113416005

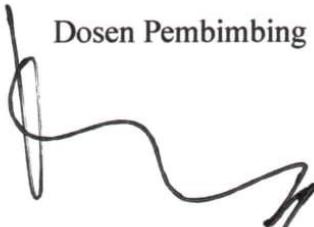
Program Studi : Teknik Sipil S1

Judul : EKSPERIMENTARIK ANGKUR TIPE EKSPANSI SECARA  
*CAST IN PLACE DAN POST INSTALLED* DENGAN  
KEGAGALAN *BREAKOUT* BETON

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi Program Studi Teknik Sipil S1 Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 30 Juli 2020

Dosen Pembimbing



Drs. Henry Apriyatno, M.T.

NIP. 195904091987021001

## PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “EKSPERIMENT TARIK ANGKUR TIPE EKSPANSI SECARA *CAST IN PLACE* DAN *POST-INSTALLED* DENGAN KEGAGALAN *BREAKOUT BETON*” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 6 Agustus 2020.

Oleh

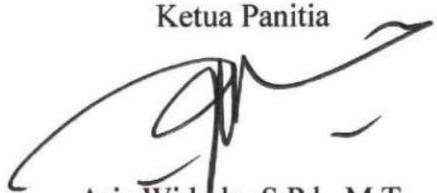
Nama : Amirul Huda

NIM : 5113416005

Program Studi : Teknik Sipil S1

Panitia:

Ketua Panitia



Aris Widdodo, S.Pd., M.T.  
NIP. 197102071999031001

Sekretaris



Dr. Rini Kusumawardhani, S.T., M.T., M.Sc.  
NIP. 197809212005012001

Penguji I

Arie Taveriyanto, S.T., M.T.  
NIP. 196507222001121001

Penguji II

Dr. Alfa Narendra, S.T., M.T.  
NIP. 197705262005011004

Penguji III/Pembimbing

Drs. Henry Apriyatno, M.T.  
NIP. 195904091987021001

Mengesahkan,

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 Sarjana Teknik, baik di Universitas Negeri Semarang 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 orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang 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, 30 Juli 2020

Yang membuat pernyataan,



Amirul Huda

NIM. 5113416005

## **MOTTO**

1. Barang siapa yang menginginkan kebahagiaan dunia maka ia harus mengetahui ilmunya, barang siapa yang menginginkan kebahagiaan akhirat maka dia harus mengetahui ilmunya, dan barang siapa menghendaki kebahagiaan dunia dan akhirat maka dia harus mengetahui ilmu keduanya (H.R. Bukhari).
2. Menuntut ilmu itu wajib atas setiap muslim (H.R. Ibnu Majah).
3. Maka nikmat Tuhan kamu yang manakah yang kamu dustakan (Q.S. Ar-Rahman:13).

## **PERSEMPAHAN**

1. Untuk Bapak saya (Maryadi), Ibu saya (Kastamah) dan saudara saya (Fahrur Najah Ardi dan Fakhrurriza) yang selalu mendukung, mendo'akan, menyayangi, membimbing saya hingga sekarang.
2. Untuk teman-teman seperbimbingan dan teman-teman seperjuangan Prodi Teknik Sipil angkatan 2016.
3. Untuk teman-teman SD, SMP, SMK yang telah memberikan semangat dan dukungan.
4. Untuk seluruh teman-teman, kerabat dan keluarga tercinta.

## **Ringkasan**

**Amirul Huda**

**2020**

### **EKSPERIMENT TARIK ANGKUR TIPE EKSPANSI SECARA *CAST IN PLACE* DAN *POST-INSTALLED* DENGAN KEGAGALAN *BREAKOUT* BETON**

**Pembimbing: Drs. Henry Apriyatno, M.T.  
Teknik Sipil S1**

Angkur merupakan elemen baja baik ditanam dalam beton secara *cast in place* atau *post-installed* dan digunakan untuk menyalurkan beban (tarik) yang bekerja ke beton. Untuk mengetahui kapasitas tarik angkur yang bekerja ke beton dilakukan pengujian tarik. Dalam pengujian, kegagalan-kegagalan yang terjadi salah satunya *breakout* beton. *Breakout* (jebol) beton terjadi pada pemasangan angkur secara *cast in place* karena terlampaui kapasitas tarik angkur ke beton, sehingga beton jebol berbentuk kerucut beton dengan sudut 35°.

Penelitian yang bertujuan untuk mengetahui perbedaan kekuatan angkur berdasarkan metode pemasangan yakni secara *cast in place* dibandingkan *post-installed* dengan pengaruh kedalaman efektif, diameter angkur dan mutu beton. Angkur tipe ekspansi merk “Sanko” M12x100 (hef: 60 mm, diameter 12 mm, panjang 100 mm) dan beton *ready mix* P.T. Bonindo Ungaran, Kabupaten Semarang, fc 25 MPa dengan benda uji 300x300x150 mm sebanyak 6 buah. Setiap benda uji dipasang 4 buah angkur dengan jarak antar angkur 100 cm, jarak angkur ke tepi beton 100 mm, dan kedalaman pemasangan (hef) 60 mm. Pengujian mutu beton yakni uji kuat tekan beton. Uji material angkur yakni uji kuat tarik baut angkur.

Hasil penelitian mengenai tarik angkur tipe ekspansi dengan kegagalan *breakout* beton dengan metode pemasangan secara *cast in place* dan *post installed* adalah nilai prediksi kapasitas tarik angkur dengan kegagalan *breakout* beton akibat tarik secara teoritis yakni 42.223 N, hasil pengujian tarik angkur metode pemasangan secara *cast in place* sebesar 40.574 N dan metode pemasangan secara *post installed* sebesar 37.494 N. Pengujian kuat tarik (bahan) angkur rata-ratanya sebesar ( $f_y$ ) 338 MPa, untuk kuat tekan beton rata rata sebesar ( $f'_c$ ) 25,697 MPa. Hasil pengujian tarik angkur metode *cast in place* lebih besar dibandingkan dengan *post installed* ( $40574 \text{ N} > 37494 \text{ N}$ ), sehingga pemasangan angkur secara *cast in place* lebih baik dari pada *post installed*. Adanya perbedaan nilai kapasitas tarik angkur secara teoritis terhadap hasil pengujian metode pemasangan *cast in place* ( $42223 \text{ N} > 40574 \text{ N}$ ) dengan selisih 4% dan *post installed* ( $42223 \text{ N} > 37494 \text{ N}$ ) dengan selisih 11,20%, perlu adanya angka keamanan 1,5 untuk pengujian tarik angkur ke beton pada penelitian. Kegagalan yang terjadi pada pengujian tarik angkur ke beton secara *cast in place* yakni kegagalan *breakout* beton, sedangkan *post installed* telah terjadi *slip*. Kegagalan yang terjadi sesuai dan relevan dengan teori.

**Kata kunci :** *angkur ekspansi, breakout beton, tarik, cast in place, post installed*

## PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan nikmat, rahmat, serta berkat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “EKSPERIMENT TARIK ANGKUR SECARA CAST IN PLCE DAN POST-INSTALLED DENGAN KEGAGALAN BREAKOUT BETON”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil S1 Universitas Negeri Semarang. Shalawat serta salam semoga terhaturkan kepada junjungan kita Nabi Agung Muhammad SAW, semoga kita semua mendapatkan syafa’at-Nya di Yaumil Qiyamah nanti, Amin.

Penyelesaian skripsi tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, oleh karenanya penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum., selaku Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., IPM., selaku Dekan Fakultas Teknik.
3. Aris Widodo, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil.
4. Dr. Rini Kusumawardani, S.T., M.T., M.Sc., selaku Koordinator Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang.
5. Arie Taveriyanto, S.T., M.T., selaku dosen penguji 1 yang telah memberikan arahan, masukan, dan perbaikan dalam menambah bobot serta kualitas skripsi.
6. Dr. Alfa Narendra S.T., M.T., selaku dosen penguji 2 yang telah memberikan arahan, masukan, dan perbaikan dalam menambah bobot serta kualitas skripsi.
7. Drs. Henry Apriyatno, M.T., selaku dosen penguji 3 sekaligus dosen pembimbing yang telah berkenan memberikan bimbingan, arahan dan menunjukkan sumber-sumber yang relevan dengan penulisan skripsi dari awal hingga akhir penyelesaian skripsi.

8. Semua Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan yang sangat berharga.
9. Bapak Fahrudin selaku Teknisi Laboratorium Bahan dan Struktur Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang yang telah membimbing, mengajari, dan memberikan arahan selama di laboratorium pada saat pengujian.
10. Semua pihak yang telah memberikan bantuan yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi masih banyak kekurangan, oleh karenanya penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar skripsi semakin sempurna dan lebih baik. Semoga skripsi yang penulis susun dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan akademisi.

Semarang, 30 Juli 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUN PEMBIMBING.....	ii
PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
MOTTO .....	v
PERSEMBAHAN.....	v
RINGKASAN .....	vi
PRAKATA.....	vii
DAFTAR ISI.....	.ix
DAFTAR TABEL.....	.xi
DAFTAR GAMBAR .....	.xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	.xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Identifikasi Masalah .....	3
1.3. Pembatasan Masalah .....	3
1.4. Perumusan Masalah.....	4
1.5. Tujuan Penelitian.....	5
1.6. Manfaat Penelitian .....	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....	7
2.1. Hasil Penelitian Terdahulu .....	7
2.2. Beton .....	11
2.3. Lekatan .....	12
2.4. Kuat Tekan Beton .....	16
2.5. Kuat Tarik (Bahan) Angkur .....	18
2.6. Angkur ( <i>anchor</i> ).....	19
2.6.1. Angkur Ekspansi .....	21
2.7. Spasi dan Jarak Angkur .....	21
2.8. Kegagalan Angkur Akibat Tarik .....	22
2.2.1. Kegagalan <i>Breakout</i> (Jebol) Beton Akibat Tarik .....	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	30

3.1. Metode Penelitian.....	30
3.2. Waktu dan Tempat Penelitian .....	30
3.3. Alur Penelitian.....	31
3.4. Alat dan Bahan Penelitian .....	32
3.5. Benda Uji atau Spesimen .....	34
3.6. Pengujian Kuat Tarik (Bahan) Angkur .....	35
3.7. Pengujian Beton Silinder.....	40
3.8. Perawatan Benda Uji .....	43
3.9. Pengujian Tarik Angkur ke Beton.....	44
3.10. Standar Pengujian.....	48
BAB IV HASIL PEMBAHASAN .....	49
4.1. Deskripsi Penelitian.....	49
4.2. Hasil Pengujian Kuat Tarik (Bahan) Angkur .....	49
4.3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton .....	50
4.4. Pengujian Kuat Tarik Angkur ke Beton .....	51
4.4.1.Tinjauan Teoritis .....	51
4.4.2.Hasil Pengujian Tarik Angkur ke Beton Secara <i>Cast In Place</i> .....	56
4.4.3.Hasil Pengujian Tarik Angkur ke Beton Secara <i>Post Installed</i> .....	58
4.4.4.Hasil Pengujian Tarik Angkur Ke Beton Secara <i>Cast In Place</i> Dibandingkan Secara <i>Post Installed</i> .....	60
4.4.5.Perbandingan .....	62
BAB III PENUTUP .....	67
4.1. Simpulan .....	67
4.2. Saran .....	68
DAFTAR PUSTAKA .....	69
LAMPIRAN .....	73
Lampiran A. Hasil Pengujian Tarik (Bahan) Angkur .....	73
Lampiran B. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton .....	77
Lampiran C. Perhitungan Teoritis Menggunakan <i>Software Mathcad</i> .....	78
Lampiran C. Hasil Pengujian Tarik Angkur ke Beton .....	82

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Tarik (Bahan) Angkur .....	50
Tabel 4.2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton .....	50
Tabel 4.3. Hasil Pengujian Metode Pemasangan <i>Cast In Place</i> .....	56
Tabel 4.4. Hasil Pengujian Metode Pemasangan <i>Post Installed</i> .....	58

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Kerusakan Pada Pengujian Tarik Angkur Penelitian Delhomme (2018) .....	7
Gambar 2.2. Kegagalan Jebol Krucut Beton Penelitian Bokor 2019.....	8
Gambar 2.3. Kegagalan Jebolnya Krucut Beton Penelitian Nilforoush 2017....	9
Gambar 2.4. Pola keruntuhan beton membentuk sudut $45^\circ$ dengan kedalaman baut 50 mm .....	10
Gambar 2.5. Tegangan Lekat Penangkuran Tarik .....	14
Gambar 2.6. Perilaku <i>Interlocking</i> .....	16
Gambar 2.7. Pengujian Kuat Tekan .....	17
Gambar 2.8. Benda Uji Tarik .....	18
Gambar 2.9. Grafik Tegangan Regangan Tarik Baja.....	18
Gambar 2.10. Jenis Baut Angkur Cor di Tempat ( <i>Cast In Place</i> ) .....	19
Gambar 2.11. Jenis Baut Angkur Pasca Pasang ( <i>Post-Installed</i> ).....	20
Gambar 2.12. Angkur Tipe Ekspansi ( <i>Hammer Drive Anchor</i> ) .....	21
Gambar 2.13. Kegagalan Akibat Tarik (ACI 2011).....	22
Gambar 2.14. Kegagalan Baut Angkur Terhadap Tarik .....	23
Gambar 2.15. Kegagalan <i>Breakout</i> Beton Akibat Tarik .....	24
Gambar 2.16. Kegagalan Baut Angkur Tercabut Dari Betonnya .....	25
Gambar 2.17. Kuat Ambrol Muka Tepi Beton.....	26
Gambar 2.18. Kegagalan <i>Breakout</i> (Jebol) Beton Akibat Tarik.....	27
Gambar 2.19. Perhitungan ANC .....	29
Gambar 2.20. Perhitungan ANCO .....	29
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian .....	31
Gambar 3.2. Desain Potongan Benda Uji (Uji Tarik Angkur ke Beton) .....	35
Gambar 3.3. Baut Angkur Tipe Ekspansi .....	36

Gambar 3.4. Baut Angkur Telah Dibubut .....	37
Gambar 3.5. Sketma Penyambungan Baut Angkur Dengan Baja Tulangan.....	38
Gambar 3.6. Spesimen Kuat Tarik (Bahan) Baut Angkur .....	38
Gambar 3.7. Mesin UTM Uji Tarik (Bahan) Baut Angkur.....	39
Gambar 3.8 Pengujian Bahan Baut Angkur (Uji Tarik) .....	40
Gambar 3.9. Pembuatan Benda Uji Silinder Beton.....	41
Gambar 3.10. <i>Capping</i> Pada Benda Uji .....	42
Gambar 3.11. Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton.....	42
Gambar 3.12. Pengecoran ke Bekisting Benda Uji Berbentuk Balok T .....	44
Gambar 3.13. Angkur Tipe Ekspansi Yang Digunakan.....	45
Gambar 3.14. Desain Uji Tarik Baut Angkur ke Beton.....	46
Gambar 3.15. Pengujian Tarik Angkur Ke Beton.....	47
Gambar 4.1. Benda Uji Tarik Angkur Ke Beton .....	52
Gambar 4.2. Kegagalan Baut Angkur Terhadap Tarik .....	53
Gambar 4.3. Kegagalan <i>Breakout</i> Beton Akibat Tarik .....	53
Gambar 4.4. Kegagalan Baut Angkur Tercabut Dari Betonnya .....	54
Gambar 4.5. Kuat Ambrol Muka Tepi Beton .....	55
Gambar 4.6. Grafik Hubungan Beban dan <i>Displacement</i> Pengujian Metode <i>Cast In Place</i> .....	56
Gambar 4.7. Kegagalan Pasca Pengujian <i>Cast in place</i> .....	57
Gambar 4.8. Grafik Hubungan Beban dan <i>Displacement</i> Pengujian Metode <i>Post Installed</i> .....	58
Gambar 4.9. Kegagalan Pasca Pengujian <i>Post Installed</i> .....	59
Gambar 4.10. Grafik Hasil Pengujian <i>Cast In Place</i> dan <i>Post Installed</i> .....	60
Gambar 4.11. Grafik Hasil Pengujian.....	62
Gambar 4.12. Grafik Hasil Pengujian Wiguntoro.....	62

Gambar 4.13. Grafik Hasil Pengujian Anatasya .....	63
Gambar 4.14. Komparasi Hasil Pengujian <i>Cast In Place</i> .....	63
Gambar 4.15. Komparasi Hasil Pengujian <i>Post Installed</i> .....	64
Gambar 4.16. Kegagalan <i>Pullout</i> Angkur Secara <i>Cast In Place</i> (Wiguntoro,2020) .....	65
Gambar 4.17. Kegagalan <i>Pullout</i> Angkur Secara <i>Post Installed</i> (Wiguntoro,2020) .....	65
Gambar 4.18. Kegagalan <i>Pullout</i> Angkur Secara <i>Cast In Place</i> (Anatasya,2020) .....	66
Gambar 4.19. Kegagalan <i>Pullout</i> Angkur Secara <i>Post Installed</i> (Anatasya,2020) .....	66

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran A. Hasil Pengujian Tarik (Bahan) Angkur .....	73
Lampiran B. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton.....	77
Lampiran C. Perhitungan Teoritis Menggunakan <i>Software Mathcad</i> .....	78
Lampiran D. Hasil Pengujian Tarik Angkur ke Beton.....	82

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

Angkur merupakan elemen baja yang ditanam dalam beton saat dicor (*cast in place*) atau dipasang kemudian (*post-installed*) ke dalam beton yang sudah mengeras dan digunakan untuk menyalurkan beban (tarik dan geser) yang bekerja ke beton (SNI 2847:2019). Penggunaan angkur dalam dunia konstruksi semakin populer untuk membantu menghubungkan antar struktur beton. Pemasangan angkur mengalami perkembangan dari awal angkur dipasang sebelum pengecoran beton (*cast in place*), berkembang menjadi angkur dipasang setelah beton mengeras (*post installed*) dengan melakukan pengeboran. Adanya pengeboran pada beton, pemasangan dan pelepasan angkur menjadi lebih mudah. Pemasangan angkur secara *cast in place* pada umumnya digunakan pada perancangan konstruksi baru. Sedangkan pemasangan angkur secara *post installed* umumnya digunakan pada konstruksi lama untuk perbaikan atau *retrofitting*.

Berdasarkan jenis angkur, dalam ACI 2011 terdapat beraneka ragam jenis angkur diantaranya: angkur baut segi enam dan ring, angkur *stud*, angkur berkait, angkur bertakik, angkur ekspansi, angkur *undercut*, angkur adesif. Angkur tipe ekspansi merupakan angkur *post installed* yang mana pemasangannya pada beton yang telah mengeras dengan cara dipukul hingga tertanam dalam beton, dan memanfaatkan gaya gesekan gelincir antara angkur dan beton (Eligehausen, 2006).

Angkur tipe ekspansi merupakan produk pabrik yang harganya relatif lebih mahal dan terbatas ukuran (Dewobroto, 2015).

Untuk mengetahui kapasitas tarik dilakukan pengujian tarik angkur ke beton (*pull-out test*). Dalam pengujian, terdapat kemungkinan-kemungkinan kegagalan atau kerusakan yang akan terjadi, salah satunya *breakout* (jebol) beton akibat tarik (Dewobroto, 2015).

*Breakout* beton pada prinsipnya terjadi karena terlampaui kapasitas tarik ke beton, sehingga beton rusak atau jebol dan terangkat ke atas (Strba, 2015). Kegagalan *breakout* beton terjadi pada pemasangan angkur secara *cast in place* mengansumsikan krucut beton jebol dengan sudut  $35^\circ$ . Mode kegagalan *breakout* beton memperkirakan angkur kelompok yang terjadi dengan memperhitungkan faktor jumlah jarak atau spasi angkur, jarak tepi angkur ke beton, kedalaman pemasangan angkur (Dewobroto, 2015).

Penelitian yang dilakukan yaitu pengujian tarik angkur ekspansi ke beton dengan metode pemasangan secara *cast in place* dan *post installed*, mode kegagalan *breakout* beton akibat tarik. Spesimen atau benda uji berdimensi 300 mm x 300 mm x 15 mm dengan mutu beton fc 25 MPa. Angkur yang digunakan tipe ekspansi yakni *hammer drive anchor* merk “SANKO” M12 x 100 berdiameter 12 mm dan kedalaman efektif (hef) 60 mm.

## 1.2. Identifikasi Masalah

Permasalahan pada baut angkur dapat diidentifikasi sebagai berikut:

- a. Nilai prediksi kapasitas tarik angkur dengan kegagalan *breakout* beton akibat tarik secara teoritis.
- b. Hasil pengujian tarik angkur metode pemasangan secara *cast in place* dan *post installed*.
- c. Perbandingan hasil pengujian tarik angkur metode pemasangan secara *cast in place* dengan *post installed*.
- d. Perbedaan nilai kapasitas tarik angkur secara teoritis terhadap hasil pengujian metode pemasangan *cast in place* dan *post installed*.
- e. Kegagalan yang terjadi pada pengujian tarik angkur ke beton secara *cast in place* dan *post installed*.

## 1.3. Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah yang diambil berdasarkan identifikasi masalah diantaranya :

- a. Mutu bahan (*f<sub>y</sub>*) angkur diketahui dengan pengujian tarik (bahan) angkur tipe ekspansi yaitu merk “Sanko” *hammer drive anchor* M12x150 sebanyak 4 buah.
- b. Beton yang digunakan beton *ready mix* fc 25 MPa.
- c. Mutu beton fc 25 MPa dengan dibuktikan uji kuat tekan beton dengan 3 benda uji silinder diameter 150 mm x tinggi 300 mm.

- d. Benda uji beton (spesimen) berdimensi 300 mm x 300 mm x 150 mm sebanyak 3 buah untuk pengujian tarik angkur ke beton dengan pemasangan secara *cast in place*.
- e. Benda uji beton (spesimen) berdimensi 300 mm x 300 mm x 150 mm sebanyak 3 buah untuk pengujian tarik angkur ke beton dengan pemasangan secara *post installed*.
- f. Angkur tipe ekspansi merk “Sanko” *hammer drive anchor* M12 x 100 mm, diameter 12 mm, kedalaman efektif (hef) 60 mm.
- g. Setiap benda uji beton (spesimen) dipasang 4 buah angkur untuk pengujian tarik angkur secara *cast in place*.
- h. Setiap benda uji beton (spesimen) dipasang 4 buah angkur untuk pengujian tarik angkur secara *post installed*.
- i. Kegagalan fokus pada *breakout* (jebol) beton akibat tarik dalam pengujian tarik angkur ke beton.

#### **1.4. Perumusan Masalah**

Berdasarkan identifikasi masalah, penulis dapat mengambil rumusan masalah, yaitu:

- a. Berapa besar nilai prediksi kapasitas tarik angkur dengan kegagalan *breakout* beton akibat tarik secara teoritis?
- b. Bagaimana hasil pengujian tarik angkur metode pemasangan secara *cast in place* dan *post installed*?
- c. Bagaimana perbandingan hasil pengujian tarik angkur metode pemasangan secara *cast in place* dengan *post installed*?

- d. Bagaimana perbedaan nilai kapasitas tarik angkur secara teoritis terhadap hasil pengujian metode pemasangan *cast in place* dan *post installed*?
- e. Bagaimana kegagalan yang terjadi pada pengujian tarik angkur ke beton?

### **1.5. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan permasalahan yang diangkat dalam latar belakang di atas dapat diambil tujuan penelitian yaitu:

- a. Mengetahui nilai prediksi kapasitas tarik angkur dengan kegagalan *breakout* beton akibat tarik secara teoritis.
- b. Mengetahui besarnya hasil pengujian tarik angkur metode pemasangan secara *cast in place* dan *post installed*.
- c. Mengetahui perbandingan hasil pengujian tarik angkur metode pemasangan secara *cast in place* dengan *post installed*.
- d. Mengetahui perbedaan nilai kapasitas tarik angkur secara teoritis terhadap hasil pengujian metode pemasangan *cast in place* dan *post installed*.
- e. Mengetahui kegagalan yang terjadi pada pengujian tarik angkur ke beton secara *cast in place* dan *post installed*.

### **1.6. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Manfaat teoritis, diharapkan penelitian pengujian tarik angkur ke beton dapat digunakan sebagai bahan tambahan dan masukan untuk perkembangan ilmu pengetahuan ketekniksipilan, khususnya dalam hal angkur. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai referensi bagi mahasiswa untuk penelitian lebih lanjut mengenai kuat tarik angkur.

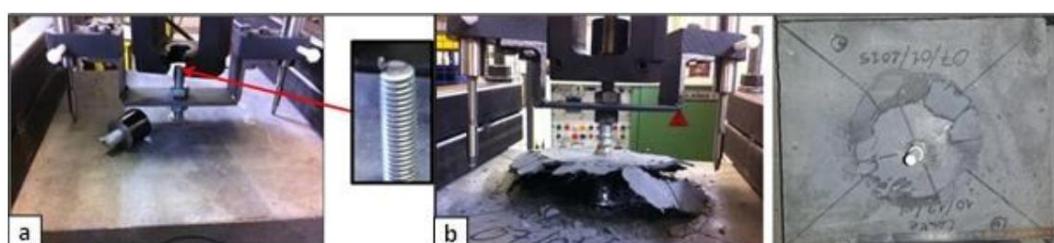
- b. Manfaat praktis, sebagai referensi dan pengetahuan dalam penggerjaan konstruksi mengenai penggerjaan pemasangan angkur yang dipasang secara *cast in place* dengan *post installed*.
- c. Mengidentifikasi perilaku kegagalan *breakout* beton akibat tarik angkur ke beton secara teoritis dan pengujian.
- d. Mengetahui kapasitas pengujian tarik angkur secara *cast in place* dengan *post installed*.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1. Hasil Penelitian Terdahulu

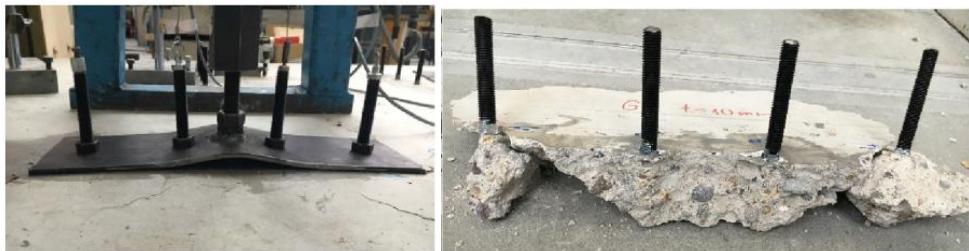
Penelitian Delhomme,Fabien dan Michael Brun (2018) “*Pullout simulation of post installed chemically bonded anchors in UHPFRC*” menghasilkan bahwa pengujian h60 (kedalaman angkur tertanam 60 mm) dengan kegagalan *pullout*, pengujian h100 (kedalaman angkur tertanam 100 mm) dengan kerusakan fraktur angkur (Gambar. 2.1.a). Untuk kedalaman angkur 40 mm (pengujian h40), mode kegagalan adalah gabungan *pullout* dan kegagalan kerucut beton (Gbr. 2.1.b). Angkur yang digunakan tipe *chemically bonded anchor* pada beton UHPFRC (*Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete*) mutu beton fc 150 MPa hingga 165 MPa.



Gambar 2.1. Kerusakan Pada Pengujian Tarik Angkur Penelitian Delhomme (2018)

Penelitian Bokor, Boglárka; Akanshu Sharma; dan Jan Hofmann (2019) “*Experimental Investigations On Concrete Cone Failure Of Rectangular And Nonrectangular Anchor Groups*“ menghasilkan bahwa (1) hasil pada pengaruh pembebanan eksentris dan pengaruh jarak tepi angkur beton yang diperoleh dari program eksperimental ini mengkonfirmasi bahwa keduanya pengaruh kegagalan

jebol beton menyebabkan pengurangan pembebanan. (2) Dalam pengujian untuk nilai efisiensi pembebanan yang sama, beban 26% lebih tinggi ketika pemuatan jauh dari tepi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa posisi pemuatan yang tepat harus dipertimbangkan ketika memprediksi tahanan kerucut beton untuk kelompok angkur. (3) Investigasi pada kelompok angkur dengan pelat dasar yang bervariasi ketebalan menunjukkan pengaruh signifikan dari kekakuan pelat dasar pada kapasitas kerucut beton dan pada perilaku penempatan beban non-linier dari kelompok angkur.



(a) Kegagalan Jebol Krucut Beton Pada *Baseplate* tipis



(b) Kegagalan Jebol Krucut Beton Pada Angkur Kelompok (4 Angkur)



(c) Kegagalan Jebol Krucut Beton Pada Angkur Sejajar (4 Angkur)

Gambar 2.2. Kegagalan Jebol Krucut Beton Penelitian Bokor 2019

Penelitian Nilforoush, Rasoul; Martin Nilsson; dan Lennart Elfgren, (2017) “*Experimental Evaluation Of Tensile Behaviour Of Single Cast-In-Place Anchor Bolts In Plain And Steel Fibre-Reinforced Normal- And High-Strength Concrete*” menghasilkan bahwa (1) kapasitas *breakout* beton akibat tarik *headed anchor* meningkat dengan meningkatnya ketebalan beton, kapasitas angkur meningkat hingga 17% dengan meningkatkan ketebalan anggota dari 1,5 menjadi 3,0 kali kedalaman angkur. (2) Kapasitas tarik baut angkur meningkat dengan meningkatkan kekuatan beton, perilaku pengangkuran pada beton *High-strength Plain Concrete* (HPC) lebih rapuh dari pada beton *Normal-strength Plain Concrete* (NPC). (3) Penambahan serat baja ke campuran beton menyebabkan peningkatan yang signifikan dalam kapasitas *breakout headed anchor* di kedua beton kekuatan normal dan tinggi. (4) Pengujian tarik angkur yang diuji semua kegagalan jebol kerucut beton, kecuali untuk pengujian tarik angkur pada beton NPC tertipis yang kegagalan *splitting* beton. Mode kegagalan *splitting* dari beton yang tipis dapat terjadi kegagalan jebol kerucut beton ketika ketebalan beton meningkat. (5) Pada *displacement* angkur yang sama, lebih sedikit retakan beton yang terbentuk pada baut angkur pada kekuatan *Normal-Reinforced Fiber* (NFRC) dan *High-strength Fiber Reinforced Concrete* (HFRC) daripada di beton NPC dan HPC.



Gambar 2.3. Kegagalan Jebolnya Krucut Beton Penelitian Nilforoush 2017

Penelitian terdahulu Rao, G. Appa dan B. Sundeep (2015), “*Strength of Bonded Anchors in Concrete in Direct Tension*”. Menganalisa tipe keruntuhan baut angkur pada beton dengan membuat variasi variabel kekuatan beton, panjang angkur dan diameter angkur. Untuk mode kegagalan, pembebahan dihentikan pada saat beton pecah. Beton pecah membentuk sudut  $45^\circ$  pada kedalaman 50 mm, sedangkan pada kedalaman 100 mm dan 150 mm sudut pecah betonnya bervariasi sekitar 30-40 derajat.



Gambar 2.4. Pola keruntuhan beton membentuk sudut  $45^\circ$  dengan kedalaman baut 50 mm

Pada percobaan dibuat modifikasi kekuatan betonnya yakni 45 MPa, 52 MPa dan 62 MPa. Semakin meningkat kekuatan beton, maka daya memikul beban juga makin besar. Untuk pengaruh kedalaman angkur, dibuat dengan panjang 50 mm, 100 mm dan 150 mm. Semakin dalam panjang angkur maka, kekuatan beban tarik juga makin meningkat. Menurut metode CCD (*Concrete Capacity Design*) beban daya dukung angkur meningkat sebagai fungsi kedalaman efektif ( $hef^{1.5}$ ). Sesuai

dengan metode ACI 349, beban daya dukung angkur meningkat sebagai fungsi dari kedalaman efektif ( $h_e^2$ ). Perbandingan hasil eksperimen dengan kedua metode CCD dan metode ACI 349 sangat mirip. Pada kedalaman 50 mm, kekuatan yang lebih tinggi daripada yang diberikan oleh metode CCD dan laporan ACI-349. Namun, hasil eksperimen yang sangat dekat dengan yang ada pada metode CCD. Laporan ACI-349 sekitar 40-45%, sedangkan metode CCD beban daya dukung sekitar 25-30%. Pada kedalaman embedment yang lebih besar, kekuatan angkur jauh lebih dekat dengan metode CCD dengan deviasi dari 2 sampai 5%, sedangkan penyimpangan dari metode ACI-349 adalah 7 sampai 10%. Pengujian dengan variasi diameter dilakukan dengan kedalaman angkur 150 mm dengan kekuatan beton 52 MPa menggunakan diameter 20 mm dan 30 mm. Belum ada pengaruh yang signifikan dari diameter angkur. Metode CCD tidak menyebutkan pengaruh diameter pada kapasitas angkur, sedangkan metode ACI 349 untuk menentukan kapasitas angkur termasuk diameter angkur.

## 2.2 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). Agregat halus secara umum digunakan pasir alam sebagai hasil dari disintegrasi alami batu-batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu. Umumnya pasir digali dari sungai cocok untuk pembuatan beton dengan diameter pasir antara 0-5 mm. Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai

ukuran butir antara 5-40 mm (SK-SNI T-15-1991-03 dalam Apriyatno, 2009). air diperlukan untuk proses hidrasi semen serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat kasar agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan hanya sekitar 25% berat semen (Apriyatno, 2009).

Menurut Dipohusodo 1994, beton didapat dari campuran agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan secukupnya semen, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung. Agregat halus dan kasar, merupakan komponen utama beton. Nilai kekuatan serta daya tahan (*durability*) beton merupakan fungsi dari banyak faktor, di antaranya ialah nilai banding campuran dan mutu bahan penyusun, metode pelaksanaan pengecoran, pelaksanaan *finishing*, temperatur, dan kondisi perawatan pengerasannya.

Mutu beton dalam petunjuk perencanaan pemasangan angkur ke beton di Appendix D (ACI 2011) dapat dipakai jika mutu beton  $\leq 70$  MPa untuk angkur cor ditempat (*cast in place*), atau  $\leq 55$  MPa untuk angkur pasca pasang (*post installed*). Jika mutu beton lebih dari itu maka kinerja angkur dibuktikan dengan uji empiris.

### 2.3. Lekatan

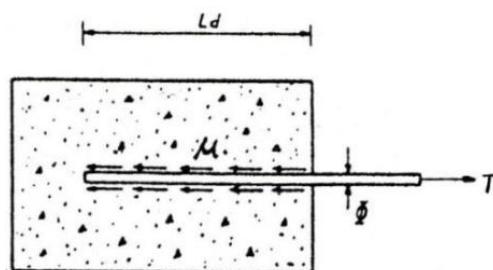
Keruntuhan lekatan antara baja tulangan dan beton yang mungkin terjadi pada saat dilakukan pengujian biasanya ditunjukkan oleh salah satu atau lebih dari peristiwa berikut ini (Nuryani TA, 2005 dalam Langi, 2018)

1. *Transverse Failure* yaitu adanya retak pada beton arah tranversal/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 keruntuhan lekatan (*bond failure*) dengan tulangan berprofil dalam beton normal hampir selalu merupakan keruntuhan *slip* akibat terlepasnya tulangan dari beton akibat kegagalan *interlocking*. Pola keruntuhan pembelahan beton terbelah menjadi dua atau tiga bagian karena aksi *interlocking* baji (*wedging*) dari gerigi terhadap beton serta gaya-gaya interaksi antara tulangan berprofil dan beton sekeliling.

Secara umum mengatakan tegangan lekat antara beton dan tulangan (baja) dipengaruhi oleh (Nawy,1998 dan MacGregor, J.M,1992 dalam Prasetyo, 2019):

- a) Adhesi, yaitu ikatan akibat adanya proses reaksi pengerasan semen di permukaan tulangan;
- b) Friksi, merupakan tahanan geser terhadap gelinciran dan saling mengunci pada saat tulangan mengalami tegangan tarik;
- c) Interlocking reaksi ulir/tonjolan tulangan (rib) terhadap matriks beton di sekitar tulangan;
- d) Gripping efek memegang (gripping), akibat susut pengeringan beton di sekeliling tulangan;
- e) Efek kualitas beton yang meliputi kuat tarik dan kuat tekan, akibat desakan oleh tegangan radial, beton mengalami tegangan tarik keliling;
- f) Efek mekanisme penangkuran ujung tulangan, pembengkokan.

Kuat lekat beton dan baja merupakan gaya luar yang bekerja pada struktur beton akan ditahan bersama oleh beton dan baja. Untuk menunjang hal tersebut, *slip* atau gelincir antara beton dan bajanya diharapkan tidak terjadi, sehingga diperlukan adanya kuat lekat (*bonding*) yang memadai antara beton dan baja (Budi, 2019)



Gambar 2.5. Tegangan lekat penangkuran tarik

Tegangan lekat dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Langi, 2018):

$$\mu = \frac{T}{ld \cdot \pi \cdot db}$$

dengan:

$T$  = Gaya tarik yang terjadi (N)

$\mu$  = Tegangan lekat antara baja tulangan dan beton (MPa)

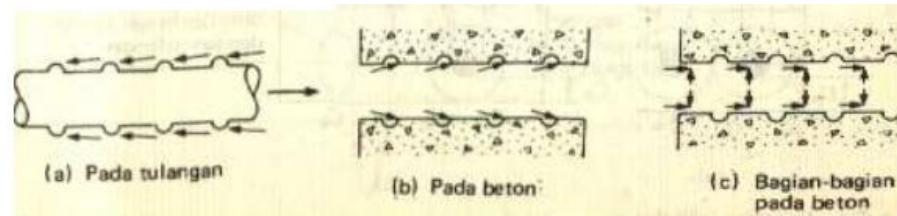
$ld$  = Panjang penangkuran (mm)

$db$  = Diameter tulangan/angkur (mm)

$\pi$  = Phi

Pada tulangan polos, *bond* antara beton dan tulangan hanya dibentuk oleh adhesi dan friksi semata. Pada pembebahan awal adhesi dan friksi bekerja bersama sama sampai mencapai beban maksimum. Setelah adhesi rusak, *bond* antara beton dan tulangan hanya dipikul oleh friksi. Kapasitas *bond* kemudian berangsurn turun seiring dengan berkurangnya bidang kontak antara beton dan tulangan akibat *slip* (Prasetyo, 2019).

Berbeda dengan mekanisme *bond* pada tulangan polos, mekanisme *bond* pada tulangan ulir dibentuk oleh adhesi, friksi dan *interlocking* antara ulir tulangan dan matriks beton sekitarnya. Bahkan kontribusi terbesar dalam pembentukan *bond* antara beton dan tulangan didominasi oleh *interlocking* antara ulir tulangan dengan matriks beton disekitarnya, sedangkan pengaruh adhesi dan friksi relatif kecil dibanding *interlocking* (Prasetyo, 2019).



Gambar 2.6. Perilaku *Interlocking*

Batang tulangan berprofil direncanakan untuk merubah pola perilaku lekatan (*bonded*) yaitu memperkecil andalan adhesi, friksi, *gripping* dan lain-lain dan lebih mengandalkan *interlocking* akibat reaksi gerigi (*slug*) terhadap beton. Apa yang dinamakan “keruntuhan lekatan (*bond failure*)” dengan tulangan berprofil dalam beton normal hampir selalu merupakan keruntuhan *slip* akibat terlepasnya tulangan dari beton akibat kegagalan *interlocking*. Pola keruntuhan pembelahan beton terbelah menjadi dua atau tiga bagian karena aksi *interlocking* baji (*wedging*) dari gerigi terhadap beton serta gaya-gaya interaksi antara tulangan berprofil dan beton sekeliling pada Gambar 2.6 (Prasetyo,2019).

Untuk rumus interlocking dapat kita lihat dibawah ini (Prasetyo, 2019):

$$F = As \cdot fv$$

dengan :

$$F = \text{Kuat } interlocking \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

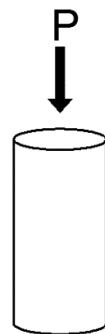
$$As = \text{Luas selimut angkur mengembang (mm}^2\text{)}$$

$$fv = \text{Tegangan geser beton} = 0,30 \sqrt{fc} \text{ (N)}$$

#### 2.4. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya kapasitas beton dalam menerima beban tekan per satuan luas penampang beton. Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui

tata cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan dengan kecepatan peningkatan beban tertentu atas benda uji silinder beton (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) sampai hancur. (Apriyatno,2010)



Gambar 2.7. Pengujian kuat tekan

Kuat tekan dapat dihitung dengan membagi beban maksimum yang diterima oleh benda uji selama pengujian dengan luas penampang melintang rata dan nyatakan hasilnya satuan MPa. Kekuatan tekan beton yang umum digunakan dalam perencanaan berkisar antara 20– 40 MPa. Adapun rumus yang digunakan sebagai berikut (SNI 1974-2011).

$$f'c = \frac{P}{A}$$

dengan:

$f'c$  = kuat tekan beton (MPa)

$P$  = besar beban tekan (N)

$A$  = luas penampang beton (mm<sup>2</sup>)

## 2.5. Kuat Tarik (Bahan) Angkur

Kuat tarik (bahan) angkur sama halnya dengan kuat tarik baja adalah kemampuan baja dalam menerima beban tarik per satuan luas penampang, yang bertujuan untuk mengetahui grafik tegangan regangan baja. Pengujian dengan penarikan batang uji secara terus menerus dengan gaya yang bertambah besar sampai putus dengan tujuan untuk menentukan nilai tarik. (SNI 07-0408-1989)

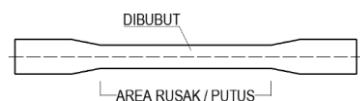
$$\sigma = \frac{P}{A}$$

dengan:

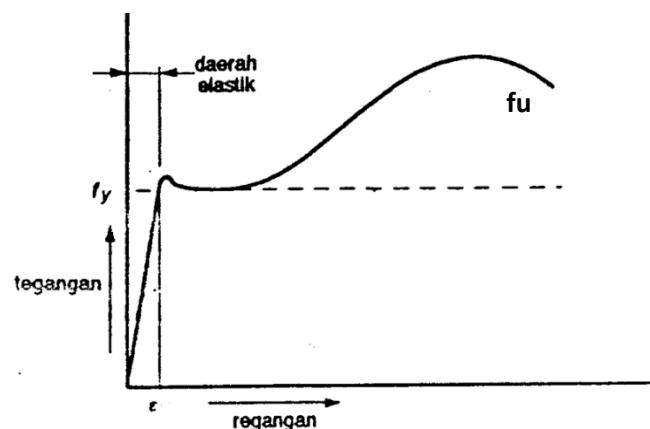
$\sigma$  = Tegangan (MPa)

P = Tekanan (N)

A = luas penampang (mm<sup>2</sup>)



Gambar 2.8. Benda uji tarik



Gambar 2.9. Grafik Tegangan Regangan Tarik Baja

Dengan pengujian tarik baja didapat  $f_y$  (*yield*) dan  $f_u$  (*ultimate*).

$$\epsilon_c = \frac{L}{L_0}$$

dengan:

$$\epsilon_c = \text{Regangan}$$

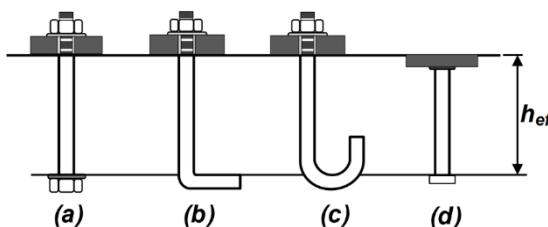
$$L = \text{Pertambahan panjang (mm)}$$

$$L_0 = \text{Panjang mula mula (mm)}$$

## 2.6. Angkur (*anchor*)

Angkur merupakan elemen baja baik ditanam dalam beton pada saat sebelum dicor (*cast in place*) atau dipasang setelahnya (*post-installed*) ke dalam beton yang mengeras dan digunakan untuk menyalurkan beban (tarik dan geser) yang bekerja ke beton (SNI 2847:2019). Angkur diklasifikasikan dalam 2 kelompok berdasarkan cara pemasangannya yaitu angkur cor di tempat (*cast in place*) dan angkur pasca cor (*post-installed*).

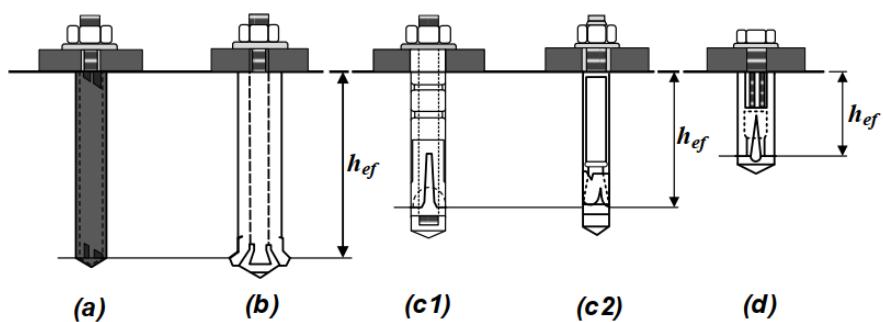
Baut angkur cor di tempat (*cast in place*) adalah [a] baut segi enam dan ring; [b] baut-L; [c] baut-J; dan [d] stud dilas ke *base-plate*, yang dipasang sebelum pengecoran beton. (Dewobroto,2015)



Gambar 2.10. Jenis baut angkur cor di tempat (*cast in place*)

Baut angkur pasca pasang (*post-installed*) adalah angkur yang dipasang dalam beton yang sudah mengeras, diantaranya angkur ekspansi, angkur bertakik, dan angkur adesif. Angkur *post-installed* sangat cocok untuk berbagai macam konstruksi, dari *base-plate* sampai penggantung, baik angkur secara individu maupun kelompok, dan pada proyek kecil maupun besar. (Dewobroto, 2015).

Baut angkur pasca pasang memiliki beragam jenisnya. Secara umum terbagi dalam kelompok [a] angkur adesif; [b] angkur bertakik; [c1] angkur ekspansi; [c1] angkur terkontrol puntir tipe selongsong; [c2] angkur terkontrol puntir tipe stud; [d] angkur ekspansi terkontrol perpindahan tipe *drop-in*. Angkur jenis pasca pasang merupakan produk buatan pabrik, yang dibuat berdasarkan riset atau patent yang pabrik miliki. (Dewobroto, 2015).



Gambar 2.11. Jenis baut angkur pasca pasang (*post-installed*)

Baut angkur buatan pabrik yang angkur tipe *post-installed* relatif mahal dan terbatas ukurannya. Keunggulan utamanya adalah fleksibilitas waktu pemasangan sehingga memudahkan mengatur jadwal konstruksi. Spesifikasi angkur *post-installed* sudah ditentukan, maka pemakai cukup mengikuti petunjuk pabrik, menerima kelebihan atau keterbatasannya saja. (Dewobroto, 2015)

### 2.5.1. Angkur Tipe Ekspansi

Menurut ACI 2011, angkur ekspansi (*expansion anchor*) adalah angkur pasca pasang (*post-installed*), yang ditanam ke dalam beton yang telah mengeras dan menyalurkan beban ke / dari beton oleh tumpuan / friksi langsung / keduanya. *Expansion anchor* dikendalikan puntir, dimana perpanjangan dicapai dengan puntir yang bekerja pada baut angkur; atau dikendalikan perpindahan, dimana perpanjangan dicapai dengan gaya benturan yang bekerja pada selongsong (*sleeve*) atau penyumbat (*plug*) dan perpanjangan dikendalikan oleh panjang perpindahan selongsong (*sleeve*) atau penyumbat (*plug*).



Gambar 2.12. Angkur tipe ekspansi (*hammer drive anchor*)

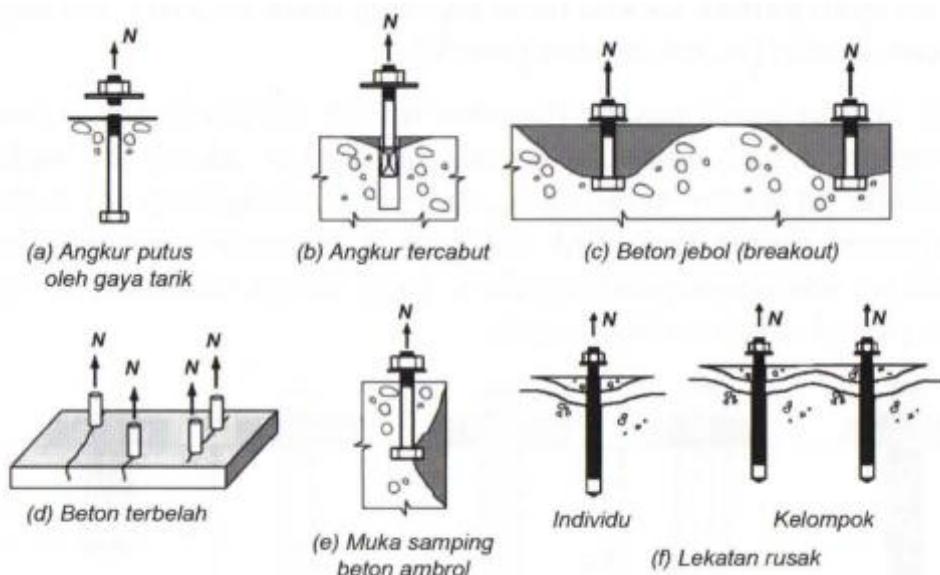
## 2.7. Spasi dan Jarak Angkur

Dalam perencanaan, menurut ACI 2011 baut angkur kelompok yang dipasang dalam dengan jarak minimum  $6d$  (enam kali diameter baut angkur) dari angkur satu ke angkur lain ( $s1$ ) atau dari angkur ke tepi beton ( $ca1$ ), dilakukan agar tidak terjadi kegagalan struktur *splitting* (pecah belah). Untuk kedalaman efektif

dari baut angkur secara umum tidak boleh melebihi dari 2/3 tebal komponen struktur.

## 2.8. Kegagalan Baut Angkur Akibat Tarik

Pada perencanaan struktur yang mengidentifikasi kapasitas kekuatan, maka setiap keruntuhan/kegagalan perlu ditinjau juga agar mengetahui kemungkinan-kemungkinan kegagalan struktur yang akan terjadi. Dalam mengidentifikasinya perlu dilakukan pengujian tarik baut angkur. Pada saat pembebanan tarik pada pengujian, baut angkur maupun beton menunjukkan 4 tipe kegagalan yang mungkin terjadi. Berikut kemungkinan kerusakan terkait baut angkur ataupun kegagalan pada beton akibat tarik.

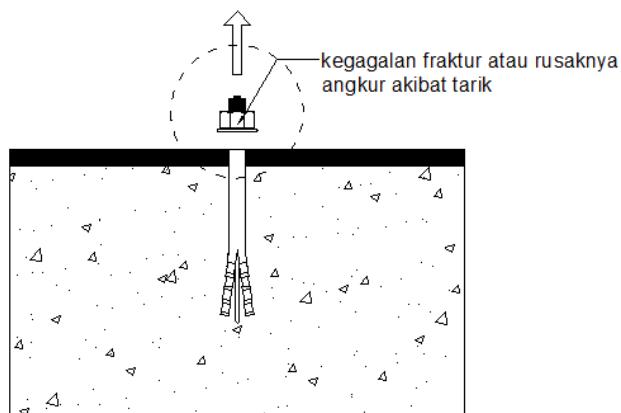


Gambar 2.13. Kegagalan akibat tarik (ACI 2011)

- Kegagalan atau rusaknya baut angkur terhadap tarik

Keruntuhan kuat baut angkur akibat tarik terjadi akibat gaya tarik yang diberikan, dengan kekuatan beton lebih tinggi daripada baut angkurnya,

sehingga baut tercabut sebagian. Kegagalan yang terjadi pada kondisi tarik adalah baut mengalami putus ketika tegangan tarik mencapai kondisi ultimit yang tidak mampu ditahan oleh baut angkur. Kuat tarik rencana baut angkur ditentukan dari mutu bahan material dan ukuran. (Dewobroto, 2015)



Gambar 2.14. Kegagalan baut angkur terhadap tarik

$$AseN = \frac{1}{4} \times \pi \times da^2$$

$$Nsa = AseN \times fu$$

dimana,

$AseN$  = luas penampang angkur terhadap tarik ( $\text{mm}^2$ )

$da$  = diameter angkur (mm)

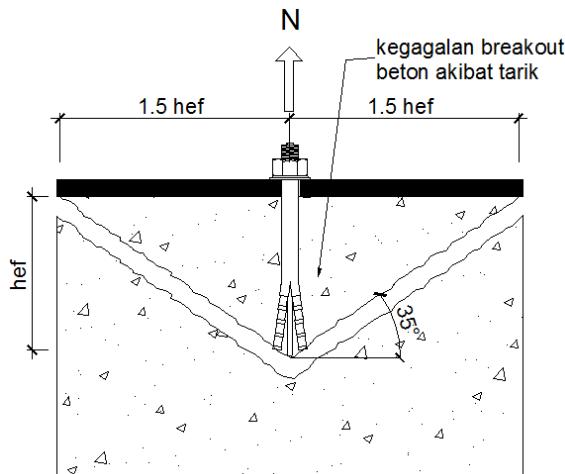
$Nsa$  = kuat tarik nominal angkur (N)

$fu$  = kuat tarik (bahan) baut angkur (MPa)

#### b) Kegagalan *breakout* (jebol) beton terhadap tarik

Akibat gaya tarik yang diberikan, dengan kekuatan baut angkur yang lebih kuat daripada betonnya, keruntuhan yang terjadi seperti pada gambar berikut dimana posisi baut berada di tengah dan beton ikut terangkat.

Keruntuhan/ kegagalan yang terjadi ditandai oleh pembentukan kerusakan berbentuk krucut dalam beton.



Gambar 2.15. Kegagalan *breakout* beton akibat tarik

$$ANc = (ca1 + s1 + 1.5 hef)(ca2 + s2 + 1.5 hef)$$

$$ANco = 9 hef^2$$

$$ANc < n \cdot ANco \text{ (ok)}$$

$$Nb = kc \times \lambda a \times \sqrt{fc} \times hef^{1.5}$$

$$Nc_{bg} = \frac{ANc}{ANco} \times Nb$$

dimana,

$ANc$  = luas proyeksi kerusakan beton pada angkur kelompok untuk memperhitungkan kuat tarik ( $\text{mm}^2$ )

$ANco$  = luas proyeksi kegagalan maksimum untuk kuat jebol akibat tarik ( $\text{mm}^2$ )

$N$  = jumlah angkur

$kc$  = 7

$\lambda a$  = 1

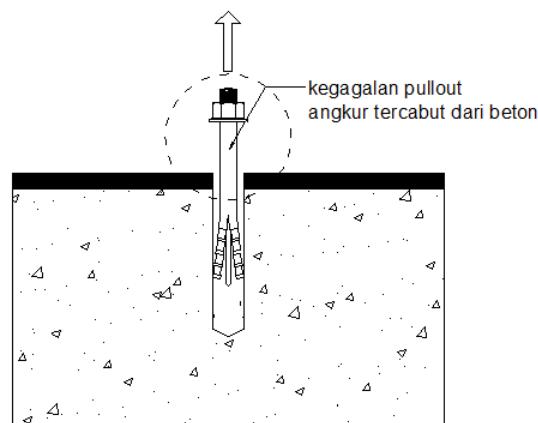
$f_c$  = mutu beton (MPa)

$N_b$  = kuat dasar jebol beton angkur terhadap tarik (N)

$N_{cbg}$  = kuat jebol beton nominal terhadap tarik dari angkur (N)

c) Kuat cabut (*pullout*) angkur dari beton

Kuat cabut baut angkur adalah baut angkur yang tercabut atau terlepas dari beton secara kesulurahan, lihat gambar berikut.



Gambar 2.16. Kegagalan baut angkur tercabut dari betonnya

Untuk rumus perhitungan perilaku kegagalan *pullout* angkur dengan pendekatan teori *bond slip* da interlocking, sebagai berikut.

$As1$  = luas selimut angkur =  $\pi \times da \times hef$  (mm<sup>2</sup>)

$As2$  = luas selimut angkur yang mengembang (kerucut mengembang)

$$= \pi \times \frac{da}{2} \times s (\text{mm}^2)$$

$Np1$  =  $n \times As1 \times 0,30 \times \sqrt{fc}$  (N)

$Np2$  =  $n \times As2 \times fc$  (N)

$Npg$  =  $Np1 + Np2$

dimana,

$da$  = diameter angkur (mm)

$hef$  = kedalaman angkur (mm)

$s$  = sisi miring kerucut mengembang angkur (mm)

$fc$  = mutu beton (MPa)

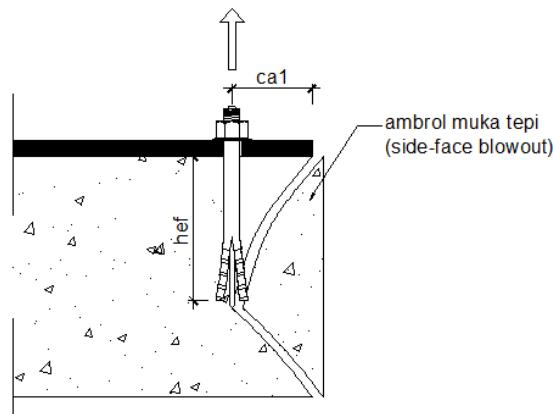
$Npg$  = kuat cabut nominal angkur kelompok (MPa)

d) Kuat ambrol tepi muka tepi (*sideface blowout*) terhadap tarik

Pengaruh kuat ambrol tergantung pada kedalaman penyaluran, jarak baut angkur ke tepi beton. Perhitungan dengan rumus:

$$Nsb = 13 \times ca1 \times \sqrt{Ab} \times \lambda a \times \sqrt{fc}$$

$$Nsb_g = \left(1 + \frac{s}{6 \times ca1}\right) Nsb$$



Gambar 2.17. Kuat ambrol muka tepi beton

dimana,

$ca1$  = jarak as angkur ke tepi beton (mm)

$Ab$  = luas baut angkur ( $\text{mm}^2$ ) =  $\frac{1}{4} \times \pi \times da^2$

$\lambda a$  = 1

$fc$  = mutu beton (MPa)

$s$  = jarak angkur satu dengan yang lain (mm)

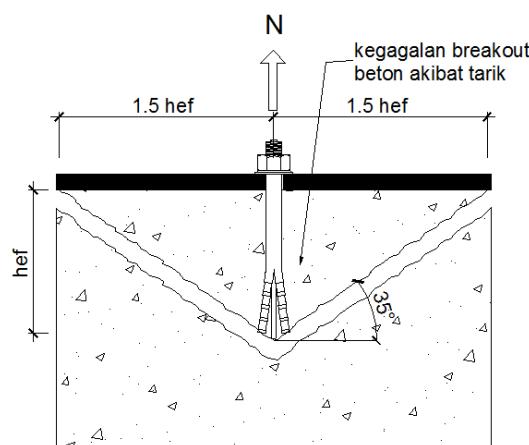
$Nsb$  = kuat ambrol muka tepi beton nominal terhadap tarik (N)

$N_{sbg}$  = kuat nominal ambrol muka samping beton (N)

### 2.8.1. Kegagalan *breakout* (jebol) beton akibat tarik

Akibat gaya tarik yang diberikan, dengan kekuatan baut angkur yang lebih kuat daripada betonnya, keruntuhan yang terjadi seperti pada Gambar 2.18. posisi baut berada di tengah dan beton ikut terangkat. Keruntuhan/ kegagalan yang terjadi ditandai oleh pembentukan kerusakan berbentuk krucut dalam beton.

Pada saat pengujian tarik, kegagalan pada permukaan dapat membentuk yang menyerupai krucut beton, dan terangkatnya beton akibat beban tarik maka disebut *breakout* beton akibat tarik. Mode *Create Concrete Design* (e.g., CEB 1994; Fuchs et al. 1995; ACI 2001, 2005; Eligehausen et al. 2006b) mengasumsikan area persegi yang diproyeksikan pada permukaan beton dengan dimensi sisi tiga kali kedalaman efektif angkur yaitu 1.5 kali kedalaman efektif yang merupakan jarak dari angkur ke setiap sisi area kegagalan persegi dan sudut kegagalan  $35^\circ$  dari dalam beton ke permukaan. Secara umum, model CCD berkorelasi baik untuk berbagai kedalaman pengangkuran. (SNI 2847- 2019)



Gambar 2.18. Kegagalan *breakout* (jebol) beton akibat tarik

Dalam SNI 2847-2019, perhitungan kekuatan jebol (*breakout*) beton didasarkan pada model yang disarankan yaitu model CCD, dengan sudut *breakout* (jebol) beton sekitar  $35^\circ$ , seperti pada Gambar 2.18.

Kekuatan nominal *breakout* (jebol) beton dalam tarik Ncb untuk angkur kelompok, tidak boleh melebihi (Dewobroto,2015):

$$N_{cgb} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} N_b$$

dimana

$A_{Nc}$  = Luas proyeksi kerusakan beton pada angkur kelompok untuk memperhitungkan kuat tarik ( $\text{mm}^2$ )

$A_{Nco}$ = Luas proyeksi kegagalan maksimum untuk kuat jebol akibat tarik ( $\text{mm}^2$ )

$N_b$  = Kuat dasar jebol (*breakout*) angkur terhadap tarik, dapat dihitung sebagai berikut:

$$N_b = k_c \cdot \lambda_a \cdot \sqrt{f_c} \cdot h_{ef}^{1.5}$$

dimana

$$k_c = 7$$

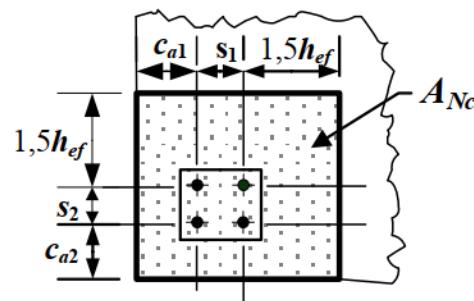
$\lambda_a$  = faktor modifikasi untuk material beton normal  $\lambda=1$

$f_c$  = mutu beton (MPa)

$h_{ef}$  = kedalaman efektif baut angkur (mm)

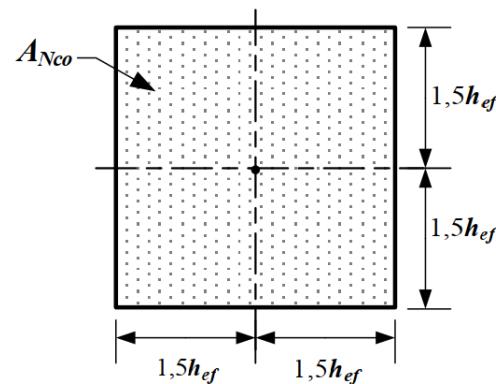
Nilai ANc dihitung dengan pendekatan dasar dari gambar persegi yang dihasilkan dari memproyeksikan permukaan kegagalan ke sisi luar baut angkur sebesar 1.5 hef dari as baut angkur, atau dalam angkur kelompok yaitu dari barisan deretan angkur yang berdekatan. Nilai ANc dapat dihitung dengan persamaan:

$$ANc = (Ca1 + s1 + 1.5 hef)(Ca2 + s2 + 1.5 hef)$$



Gambar 2.19. Perhitungan ANc

$$ANco = 9 hef^2$$



Gambar 2.20. Perhitungan ANco

$A_{NC}$  tidak boleh melebihi  $n \cdot ANco$ , dimana  $n$  adalah jumlah angkur yang dikencangkan dalam kelompok.

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Metode Penelitian

Metode penelitian merupakan suatu cara atau langkah-langkah yang ditempuh untuk melaksanakan sebuah penelitian secara sistematis dan teknik pengumpulan data yang diperoleh dalam penelitian. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah metode eksperimental laboratorium, suatu pengujian yang dilakukan di suatu laboratorium yang disesuaikan dengan teori dan mendapatkan hasil data dalam penelitian.

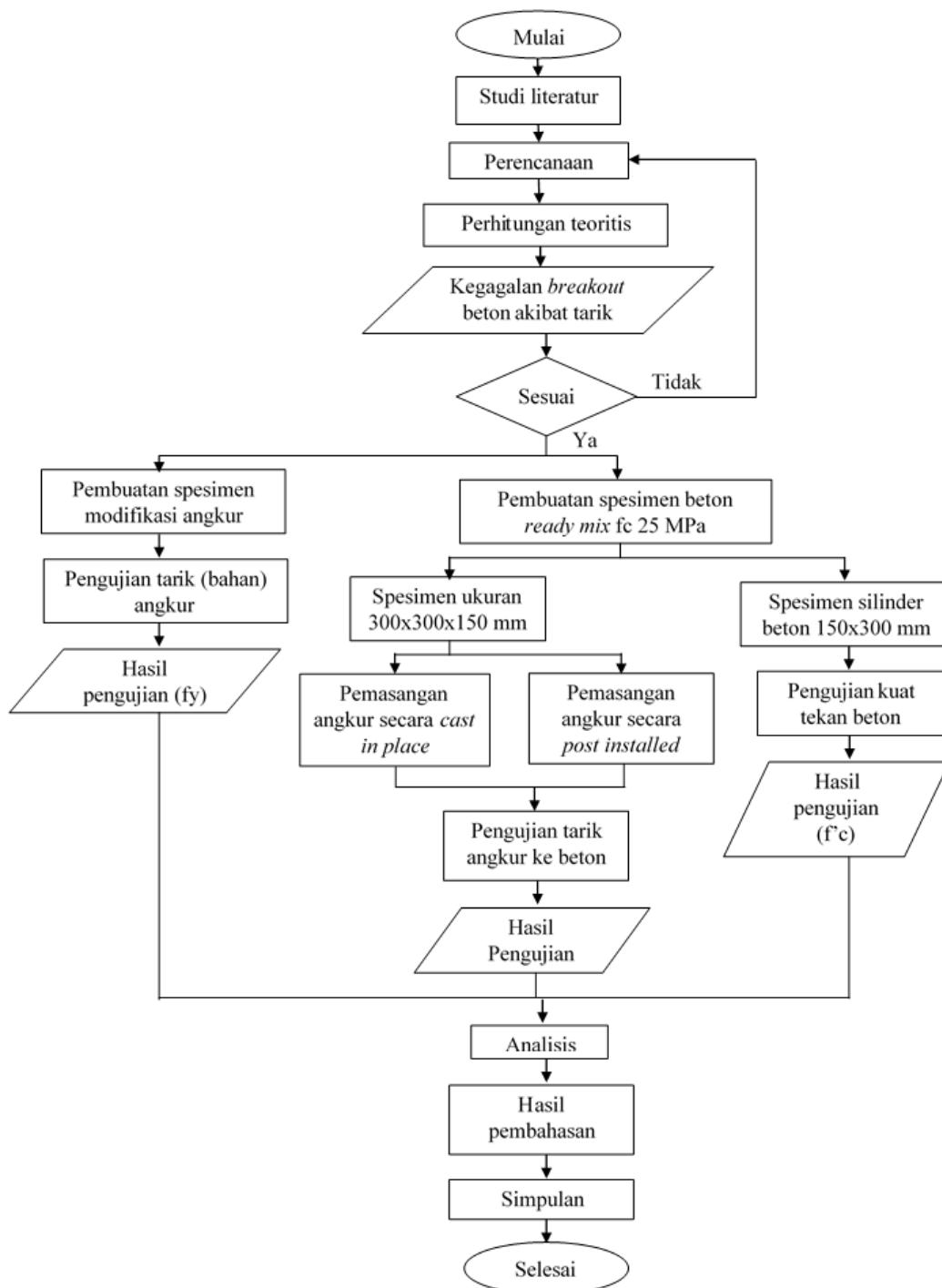
Penelitian yang dilakukan ialah pengujian tarik baut angkur secara *cast in place* dan *post installed* dengan diameter baut angkur 12 mm, kedalaman efektif (hef) 60 mm, dan mutu beton 25 MPa. Penelitian bertujuan untuk mengetahui bagaimana perbedaan kapasitas tarik baut angkur yang dipasang secara *cast in place* dengan *post installed* dan fokus kegagalan *breakout* beton akibat tarik.

#### 3.2. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian pengujian tarik baut angkur yang dilaksanakan dari bulan Februari hingga Juni tahun 2020 di Laboratorium Bahan dan Struktur Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang.

### 3.3. Alur Penelitian

Berikut diagram alir yang menjadi acuan alur penelitian secara garis besar, lihat Gmbar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

### 3.4. Alat dan Bahan Penelitian

Dalam penelitian kapasitas tarik baut angkur ke beton bahan-bahan yang perlu dipersiapkan diantaranya:

- a. Baut angkur tipe ekspansi diameter 12 mm dengan kedalaman efektif (hef) 60 mm bermerk "Sanko" M12x100.
- b. Beton yang digunakan ialah beton *ready mix* fc 25 MPa.
- c. Plat bujur sangkar dengan tebal 12 dan 16 mm.
- d. Tulangan baja diameter 6 mm untuk tulangan longitudinal dan 4 mm untuk tulangan sengkang.
- e. Kawat bendarat

Dalam melakukan penelitian memerlukan peralatan-peralatan pendukung, diantaranya sebagai berikut:

- a) Bekisting

Bekisting sebagai cetakan yang digunakan untuk menentukan bentuk struktur beton dalam pengujian tarik baut angkur. Bekisting yang digunakan dalam penelitian diantaranya untuk kuat tekan beton dengan bentuk bekisting silinder dan untuk pengujian tarik angkur ke beton berbentuk balok T. Silinder beton yang digunakan berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm sesuai SNI 1974-2011. Sedangkan bekisting untuk pengujian tarik baut angkur beton baik yang instalasi secara *cast in place* dan juga secara *post installed*, dengan benda uji berbentuk balok T dengan spesimen berdimensi 300 mm x 300 mm x 150 mm.

b) *Capping*

Pada proses *capping* digunakan untuk meratakan permukaan sampel atau benda uji beton silinder menggunakan belerang, agar pada saat uji kuat tekan beton beban tersalurkan secara merata.

c) Sekop

Alat sekop yang digunakan untuk membantu mengambil bahan material beton ataupun untuk mengisi bekisting dengan beton segar agar efisien.

d) Timbangan dan alat ukur

Timbangan yang digunakan untuk menimbang benda uji silinder beton. Alat ukur yang digunakan seperti pengaris atau meteran, sebagai pengukur tinggi *slump* pada saat uji *slump* beton dan pengukur dimensi benda uji.

e) Mesin Uji Tarik Baut Angkur ke Beton / *Loading Frame*

Untuk *loading frame* bermerk cara kerja hampir sama dengan mesin UTM yaitu melakukan uji tarik pada baut angkur terhadap beton untuk memperoleh kapasitas tarik. *Loading frame* direkayasa sebagaimana mestinya sehingga bisa menarik baut yang tertanam dalam beton dengan fokus kegagalan *breakout* beton akibat tarik.

f) *Dial Gauge*

Alat *dial gauge* digunakan dalam penelitian untuk menghitung dan mengetahui besarnya *displacement* atau panjang tercabutnya angkur dalam mm. Alat *dial gauge* dipasang pada benda uji, sehingga diperoleh besarnya *displacement* atau panjang tercabutnya angkur pada saat beban tarik yang diberikan secara bertahap.

g) *Load Cell*

Dalam pengujian tarik angkur ke beton digunakan *load cell* untuk mengetahui beban yang terjadi pada saat pengujian secara bertahap hingga beban maksimum.

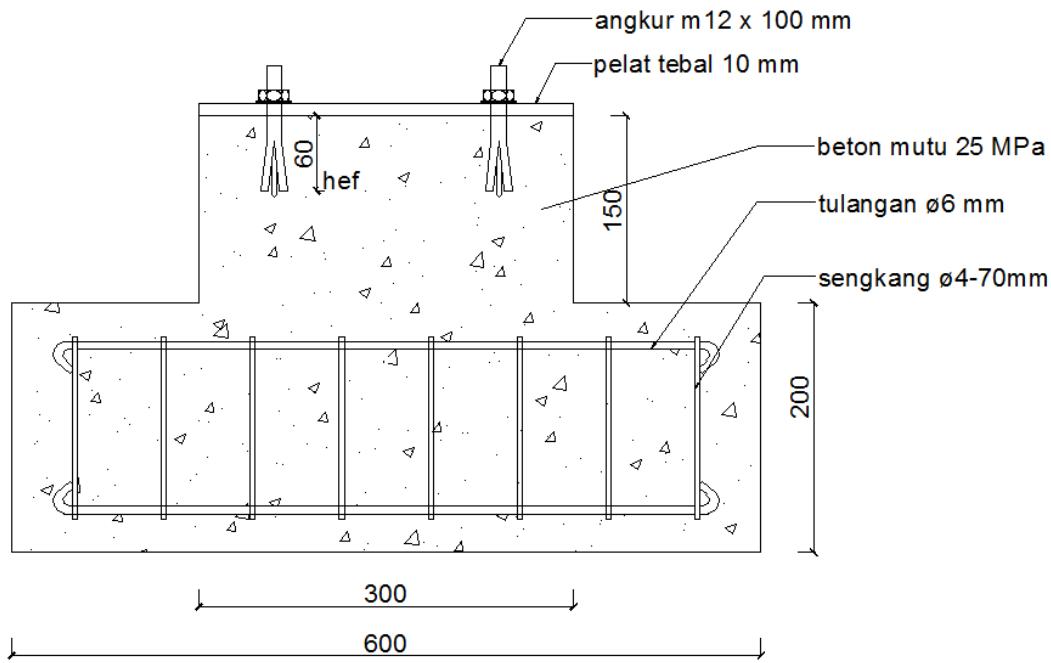
h) *Hidraulic jack/ dongkrak hidrolis*

Dalam merekayasa *loading frame* untuk pengujian tarik baut angkur ke beton digunakan dongkrak, dengan tujuan memberikan beban tarik. Dongkrak dipasang posisi tengah diatas benda uji sehingga dapat memberikan pembebanan tarik dalam pengujian tarik angkur ke beton dengan rekayasa yang sudah direncanakan.

### 3.5. Benda Uji atau Spesimen

Benda uji atau spesimen yang dibutuhkan dalam penelitian pengujian tarik baut angkur ke beton menggunakan benda uji beton 6 buah dan baut angkur yang diperlukan sebanyak 24 buah. Pengujian dengan uji tarik baut angkur diameter 12 mm secara *cast in place* mutu beton fc 25 MPa dengan 3 buah sampel benda uji, dengan setiap sampel benda uji dipasang 4 buah baut angkur. Dan juga uji tarik baut angkur diameter 12 mm secara *post installed* mutu beton fc 25 MPa dengan 3 buah sampel benda uji, dengan setiap sampel benda uji dipasang 4 buah baut angkur.

Untuk benda uji beton diberi penulangan agar pada saat pengujian tarik tidak terjadi geser dan kerusakan pada media yang bawah. Ditujukan dengan kerusakan tepat pada area spesimen dengan kegagalan *breakout* beton. Berikut desain potongan benda uji dengan spesimen di atas seperti Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Desain Potongan Benda Uji (Uji Tarik Angkur Ke Beton)

Dalam penelitian pengujian tarik angkur ke beton dilakukan beberapa pengujian untuk memperoleh data pendukung, diantaranya sebagai berikut.

### 3.6. Pengujian Kuat Tarik (Bahan) Angkur

Pengujian di Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang untuk memperoleh  $f_y$  angkur dan grafik tegangan dari pengujian kuat tarik (bahan) angkur. Untuk pengujian bahan angkur dilakukan uji kuat tarik baut angkur dengan menggunakan 3 spesimen baut angkur merk “Sanko” *hammer drive anchor* M12x150 (diameter 12 mm, panjang 150 mm). Spesimen baut angkur dibuat dengan membubut atau memperkecil area tengah baut menjadi diameter 8 mm, dan menyambungnya ujung atas dan bawah menggunakan tambahan tulangan

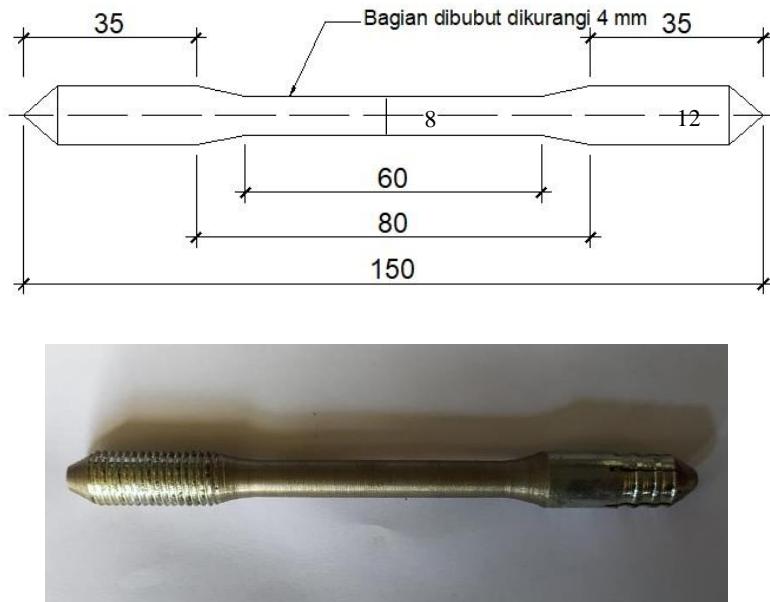
ulir diameter 16 mm dengan cara mengelasnya. Langkah-langkah pengujian kuat tarik (bahan baut angkur) sebagai berikut.

- a. Menyiapkan angkur diameter dan panjang adalah 12 mm dan 150 mm dengan menggunakan tipe baut ekspansi merk “sanko” M12 x 150 karena proses pembubutan pada benda uji lebih efisien dan tidak banyak tulangan dalam penyambungan serta mempermudah saat pengujian.



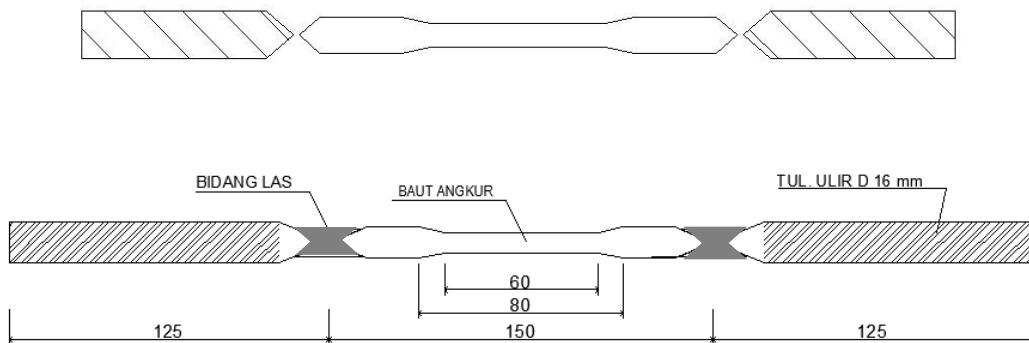
Gambar 3.3. Baut Angkur Tipe Ekspansi

- b. Dengan tujuan agar putus di area tengah, dengan cara diperkecil diameter angkur di area tengah. Dibubut menjadi diameter 8 mm, diameter semula 12 mm. Pada sisi ujungnya diruncingkan untuk memperluas bidang las pada saat penyambungan, dengan detail skema seperti Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Baut angkur telah dibubut

- c. Dikarenakan mesin yang digunakan untuk uji tarik mengharuskan menggunakan sampel benda uji yang panjang minimal 25 cm maka dilakukan penyambungan pada sisi ujung kanan dan kiri sehingga diperoleh panjang total 40cm. Penyambungan dengan las listrik di Bengkel Las Sederhana, Barito, Kaligawe, Kota Semarang, dengan penambahan panjang menggunakan tulangan baja ulir diameter 16 mm. Sebelum dilakukan pengelasan, baja tulangan diruncingkan pada salah satu sisi ujungnya untuk memperluas bidang las pada saat penyambungan menggunakan las. Pada waktu penyambungan antara baja tulangan dengan baut angkur disambung dengan posisi tidak menempel, diberi jarak sedikit seperti pada skema Gambar 3.5.



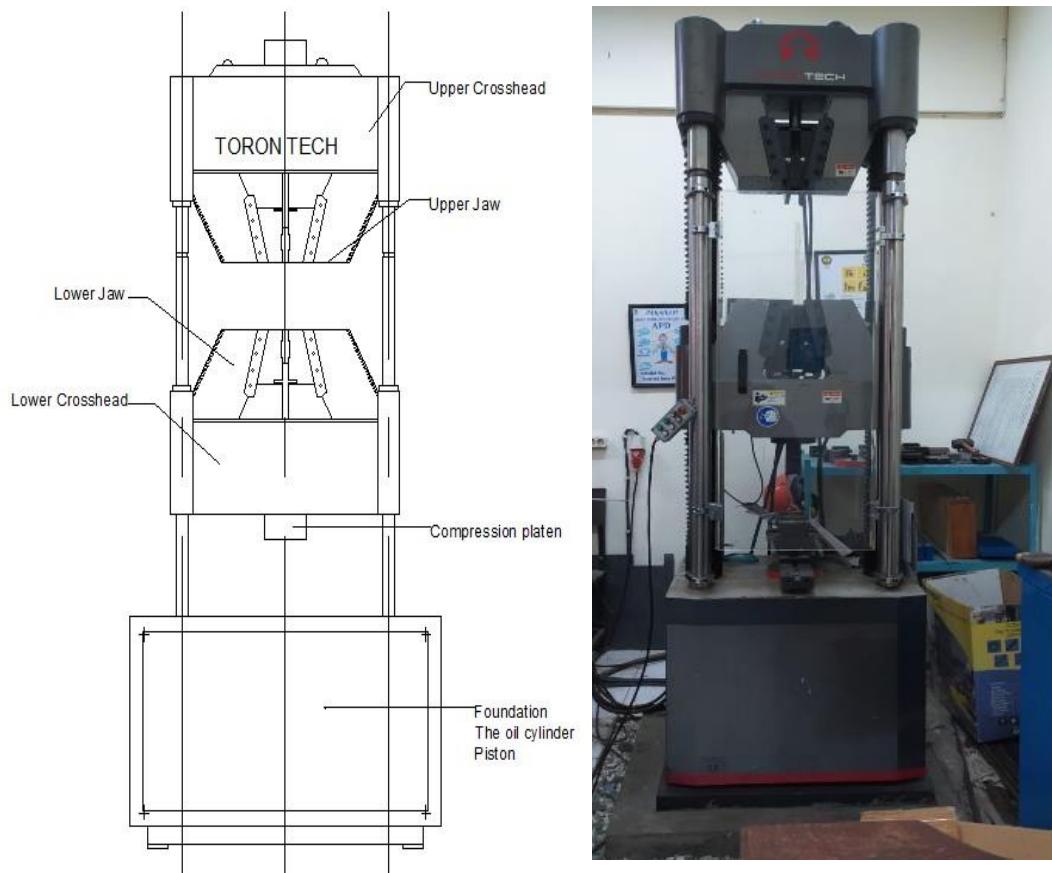
Gambar 3.5. Skema penyambungan baut angkur dengan baja tulangan

- d. Setelah dibubut dan disesuaikan dengan skema yang seperti pada Gambar 3.5., dan disambung baja tulangan ulir diameter 16 serta dilas sehingga hasilnya seperti pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Spesimen kuat tarik (bahan) baut angkur

- e. Setelah sampel benda uji siap, maka dilakukan pengujian.
- f. Hidupkan mesin uji tarik sesuai prosedur, dengan menekan tombol ON. Atur format data seperti satuan, diameter. Pastikan data pengujian dalam posisi nol sebelum pengujian dimulai.



Gambar 3.7. Mesin UTM Uji Tarik (Bahan) Baut Angkur

- g. Pasang spesimen pada kedua grip dan atur sesuai ukuran diameter angkur dan panjangnya.
- h. Pengujian siap dimulai dengan menekan tombol *start* pada layar monitor.
- i. Amati proses pengujian yang sedang berjalan pada layar monitor dan terlihat grafik tegangan pengujian secara otomatis.
- j. Setelah terdengar bunyi bahwa spesimen rusak maka tunggu beberapa saat dan lepaskan spesimen dari kedua grip. Lihat kerusakan spesimennya.

- k. Setelah pengujian selesai diperoleh nilai  $f_y$  pada tampilan layar komputer dan kerusakannya berada di area specimen.



Gambar 3.8. Pengujian Bahan Baut Angkur (Uji Tarik)

- l. Mengatur format hasil pengujian agar terlihat dibaca
- m. Cetak hasil pengujian tarik (bahan) baut angkur pengujian agar terlihat dibaca.

Pengujian kuat tarik (bahan) dilaksanakan agar mendapatkan grafik tegangan regangan baut angkur, dan juga memperoleh  $f_y$  (*yield*) dan  $f_u$  (*ultimate*).

### 3.7. Pengujian Beton Silinder

Pengujian silinder beton yakni uji kuat tekan beton digunakan untuk mengkorelasikan dengan mutu rencana beton. Benda uji berbentuk silinder

diameter 150 mm dan tinggi 300 mm sebanyak 3 buah untuk pengujian kuat tekan beton. Langkah-langkah pengujian kuat tekan sebagai berikut.

- a) Buatlah benda uji pada bekisting silinder berdimensi 150x300 mm dengan menuangkan adonan beton secara bertahap hingga penuh dan benda ujinya dibuat 6 sampel.



Gambar 3.9. Pembuatan Benda Uji Silinder Beton

- b) Keluarkan dan ambillah benda uji setelah proses *curing* (perendaman benda uji dalam bak pada saat proses perawatan benda uji), sebaiknya ditunggu permukaan beton mengering dan bersihkan dari kotoran yang menempel dengan kain yang lembab.
- c) Timbang masing-masing sampel benda uji, lalu catat hasilnya.
- d) Lalu ke proses *capping* dengan melapisi permukaan silinder beton bagian atas permukaan menggunakan belerang agar permukaannya rata dan ketika pembebanan uji tekan dapat tersalurkan secara merata.



Gambar 3.10. *Capping* Pada Benda Uji

- e) Benda uji yang sudah siap kemudian diletakkan pada mesin uji tekan secara sentris dan tepat, uji kuat tekan beton dengan posisi berdiri untuk posisinya dalam mesin uji.



Gambar 3.11. Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

- f) Jalankan mesin uji tekan dan lakukan pembebanan uji tekan hingga terjadi kerusakan akibat beban tekan. Ulangi pengujian ke semua benda uji satu persatu.
- g) Catatlah beban maksimum selama pengujian kuat tekan beton berlangsung hingga ke benda uji terakhir.

### 3.8. Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji (*curing*) merupakan langkah berkelanjutan yang dilakukan dalam menjaga kualitas benda uji agar hasilnya sesuai dengan perencanaan. Dalam pembuatan beton, proses *curing* dilakukan dengan tujuan agar pada saat pengerasan beton akibat reaksi dari dalam tanpa pengaruh lingkungan yaitu dengan menjaga proses pengeringan dalam beton dan bukan karena suhu udara akibat panas matahari pada saat proses pengeringan. Dengan menjaga kelembapan dan suhu beton dilakukan agar tercegahnya keretakan dan penyusutan volume yang besar.

Perawatan beton segera dilakukan setelah memasuki fase *hardening* (permukaan beton terbuka) atau setelah pembongkaran bekisting. Beberapa cara perawatan berdasarkan SNI 2493-2011:

- a) Benda uji ditutup permukaannya untuk menghindari masuknya tetasan air atau benda lain ke dalam beton, dan menghindari penguapan air dari beton yang belum mengeras.
- b) Benda uji dibuka dari bekisting atau proses pembongkaran bekisting 24 jam ± 8 jam setelah penuangan beton ke dalam bekisting.

- c) Benda uji direndam dalam bak berisi air tenang sebagai langkah perawatan benda uji setelah membuka cetakan. Benda uji tidak boleh diletakkan pada air mengalir atau air yang menetes.

### 3.9. Pengujian Tarik Baut Angkur ke Beton

Benda uji dalam pengujian tarik angkur ke beton berupa balok T dengan spesimen 300 x 300 x 150 mm. Pembuatan benda uji terlebih dahulu dilakukan pengecoran ke bekisting yang disiapkan secara bertahap satu persatu hingga terisi ke seluruh bekisting seperti pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12. Pengecoran ke Bekisting Benda Uji Berbentuk Balok T

Pengujian tarik baut angkur ke beton dilakukan di Laboratorium Bahan dan Struktur Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kapasitas kuat tarik antara baut angkur yang dipasang secara *cast in*

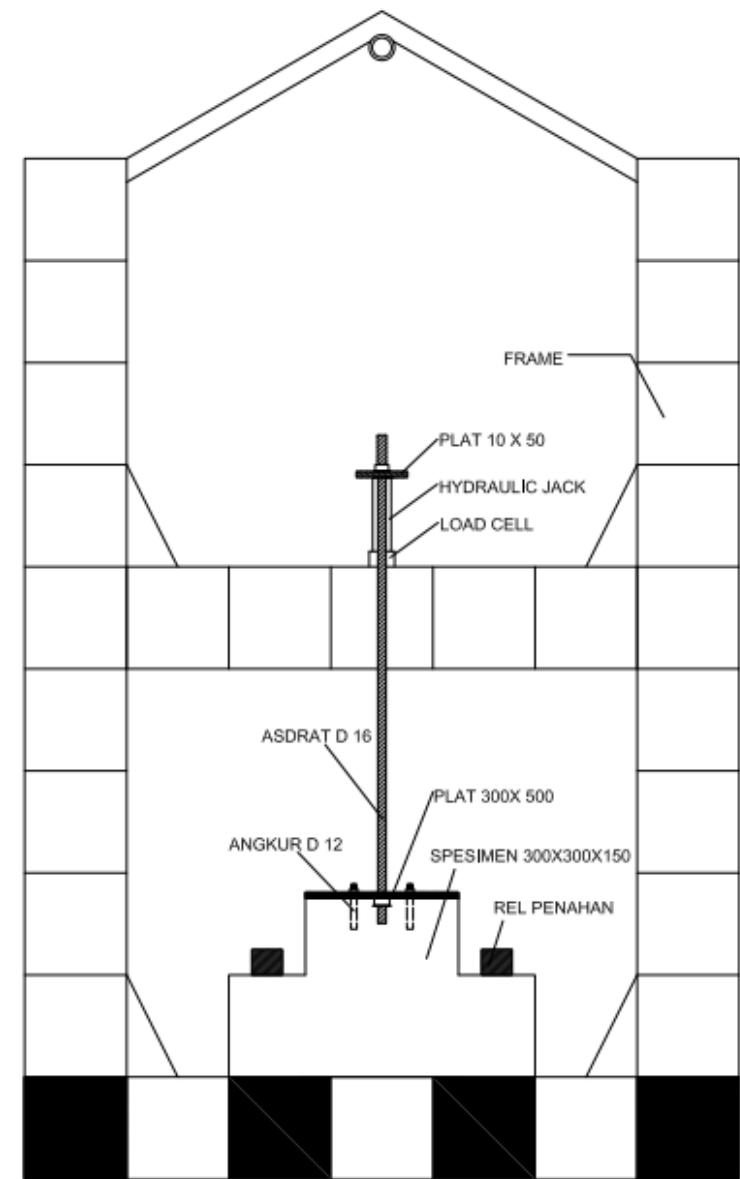
*place* (angkur dipasang pada saat akan melakukan pengecoran) dengan *post installed* (angkur dipasang setelah beton jadi atau mengeras). Angkur yang digunakan tipe ekspansi merk "sanko" M12 x 100 mm..



Gambar 3.13. Angkur Tipe Ekspansi Yang Digunakan

Pengujian tarik baut angkur ke beton menggunakan *loading frame* yang mana alatnya direkayasa sesuai perencanaan, langkah-langkah yang dilakukan diantaranya.

- a) Siapkan mesin atau alat untuk uji tarik baut angkur ke beton yaitu *loading frame* yang sudah direkayasa sesuai dengan perencanaan.
- b) Atur benda uji sesuaikan dengan perencanaan sehingga siap untuk dilakukan pengujian. Letakkan benda uji pas di tengah. Untuk sistematika gambaran pengujian pada alat yang direncanakan seperti pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14. Desain Uji Tarik Baut Angkur ke Beton

- c) Pasang plat, asdrat baja, dongkrak, profil I baja atau rel sebagai penahan benda uji agar tidak ikut terangkat betonnya.



Gambar 3.15. Pengujian Tarik Angkur ke Beton

- d) Peletakan benda uji disesuaikan di tengah dan sentris kemudian kencangkan pada asdrat dibawah yang bersentuhan dengan plat baja dan asdrat diatas yang bersentuhan dengan plat baja yang mengenai dongkrak. Atur pembebanan.
- e) Pasang dial gauge di atas rel baja yang berdekatan dan bersentuhan dengan benda uji agar terlihat panjang angkur yang tercabut atau *displacement*.

- f) Naikkan tuas dongkrak dan mulai memberikan beban tarik hingga terjadi melampaunya kapasitas dan kerusakan pada benda uji.
- g) Catat hasilnya besaran gaya secara bertahap dan nilai *displacement* hingga beban maksimum akibat tarik.

### 3.10. Standar Pengujian

Beberapa standar atau peraturan-peraturan yang digunakan dalam penelitian ialah sebagai berikut:

- a) Pengujian kuat tekan mengacu pada SNI 1974-2011.
- b) Mutu beton yang digunakan pada pengujian tarik baut angkur ke beton mengacu pada ACI 2011 (318-11).
- c) Pengujian kuat tarik baja (angkur) mengacu SNI 07-2529-1991 dan SNI 07-0408-1989.
- d) Pengujian tarik baut angkur yang dipasang pada beton secara *cast in place* dan *post installed* mengacu pada ACI 318-11 (ACI 2011), SNI 2847-2019.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Deskripsi

Sebelum melakukan penelitian pengujian tarik angkur ke beton metode pemasangan *cast in place* dan *post installed* dengan kegagalan *breakout* beton, dilakukan tahapan-tahapan pengujian meliputi:

1. Pengujian tarik (bahan) angkur tipe ekspansi merk "Sanko" M12 x 150 di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.
2. Pengujian tekan beton silinder 150 x 300 mm, *ready mix* fc 25 MPa di *Batching Plan* P.T. Bonindo Ungaran, Kabupaten Semarang

Berikut hasil pengujian yang menghasilkan data data dimulai dari hasil pengujian tarik (bahan) angkur, hasil pengujian kuat tekan beton, serta hasil pengujian tarik angkur ke beton.

#### 4.2. Hasil Pengujian Kuat Tarik (Bahan) Angkur

Pengujian kuat tarik (bahan) angkur dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik angkur tipe ekspansi diameter 12 mm merk "sanko" M12x150. Pengujian dilakukan dengan menggunakan UTM (*Ultimate Testing Machine*) di Laboratorium Bahan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.

Pengujian kuat tarik (bahan) angkur berdasarkan SNI 07-0408-1989 tentang cara uji tarik logam dan SNI 07-2529-1991 tentang metode pengujian kuat tarik baja beton. dengan hasil pengujian sebagai berikut pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Tarik (Bahan) Angkur

Benda uji	Diameter (mm)	Panjang (mm)	$\Delta L$ (mm)	$f_y$ (Mpa)	$f_u$ (Mpa)	$\epsilon (\%)$
1	8	400	4.2	310	358	1.05
2	8	400	5.2	385	425	1.30
3	8	400	4.5	345	375	1.13
4	8	400	4.5	310	375	1.13
Rata-rata			4.6	337.5	383.25	1.15

Berdasarkan hasil pengujian kuat tarik (bahan) angkur pada Tabel 4.1. menunjukkan tegangan leleh ( $f_y$ ) rata-rata sebesar 337,5 MPa dan tegangan ultimit ( $f_u$ ) rata rata 383,25 MPa.

#### 4.3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kekuatan tekan beton *ready mix* fc 25 MPa dengan benda uji silinder beton 150 x 300 mm di *Batching Plant* P.T. Bonindo Ungaran, Kabupaten Semarang. Pengujian kuat tekan beton mengacu pada SNI 1947-2011 tentang cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder. Pengujian dengan cara diberi beban hingga mengalami kerusakan pada silinder beton sebagai benda uji. Hasil pengujian tekan beton dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Benda Uji	Umur (hari)	D (mm)	H (mm)	Gaya tekan (ton)	Kokoh Silinder 28 Hari (kg/cm <sup>2</sup> )	Kokoh Silinder 28 Hari (MPa)
1	40	150	300	66,8	363,735	29.616
2	40	150	300	52,5	285,990	23,286
3	40	150	300	54,6	297,096	24,190
Rata-rata			58,0	315,607	25.698	

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan pada tabel 4.2. bahwa kuat tekan beton rata-rata sebesar 25,698 MPa dan telah memenuhi kuat tekan beton rencana 25 MPa.

#### 4.4. Pengujian Tarik Angkur ke Beton

Pengujian tarik angkur ke beton dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang untuk mengetahui kapasitas tarik angkur ke beton dengan kegagalan *breakout* atau jebolnya beton pada pengujian terjadi. Pengujian tarik angkur dipasang secara *cast in place* atau pemasangan sebelum pengecoran beton dan secara *post installed* atau pemasangan dilakukan setelah beton mengeras.

Benda uji atau spesimen pada pengujian dimensinya 300 x 300 x 150 mm dalam bentuk balok T. Benda uji terdiri dari 3 buah untuk metode pemasangan secara *cast in place* dan 3 benda uji secara *post installed*. Setiap benda uji dipasang 4 buah angkur tipe ekspansi merk “sanko” *hammer drive anchor* M12x100 diameter 12 mm, kedalaman efektif (hef) 60 mm.

##### 4.4.1. Tinjauan teoritis

Kegagalan yang ditinjau dalam pengujian tarik angkur ke beton yaitu kegagalan *breakout* beton sesuai dengan ACI 2011 mengenai pengangkuran ke beton yang termuat dalam buku Struktur Baja oleh Wiryanto Dewobroto dan juga SNI 2847-2019 tentang persyaratan beton struktural untuk gedung dan penjelasan. Pada perencanaan struktur berbasis kuat batas, maka setiap keruntuhan atau kegagalan perlu ditinjau, kekuatan terkecil yang menentukan. Dengan demikian, maka perilaku keruntuhan yang terjadi dapat diprediksi terlebih dahulu. Tinjauan

perilaku kegagalan atau keruntuhan dalam penelitian pengujian tarik ialah *breakout* atau jebolnya beton akibat tarik.

Terdapat 4 macam kerusakan akibat tarik dengan perhitungan diantaranya sebagai berikut:

$$n = 4 \text{ unit (jumlah angkur)}$$

$$da = 12 \text{ mm (diameter angkur)}$$

$$f_{ya} = 330 \text{ MPa (tegangan leleh angkur)}$$

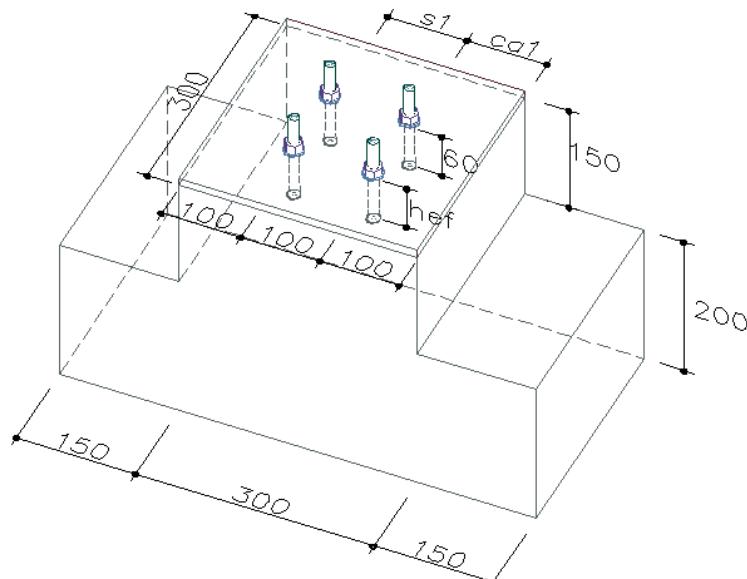
$$f_{ua} = 380 \text{ MPa (tegangan putus angkur)}$$

$$hef = 60 \text{ mm (kedalaman pemasangan angkur)}$$

$$ca1 = ca2 = 100 \text{ mm} \geq 6d \text{ (72 mm) (jarak tepi beton ke angkur)}$$

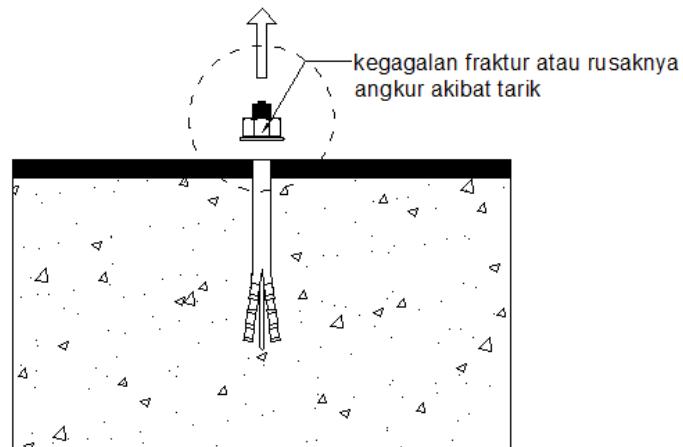
$$s1 = s2 = 100 \text{ mm} \geq 6d \text{ (72 mm) (jarak antar angkur)}$$

$$fc = 25 \text{ MPa (mutu beton)}$$



Gambar 4.1. Benda Uji Tarik Angkur Ke Beton

- a) Kerusakan fraktur pada angkur akibat tarik

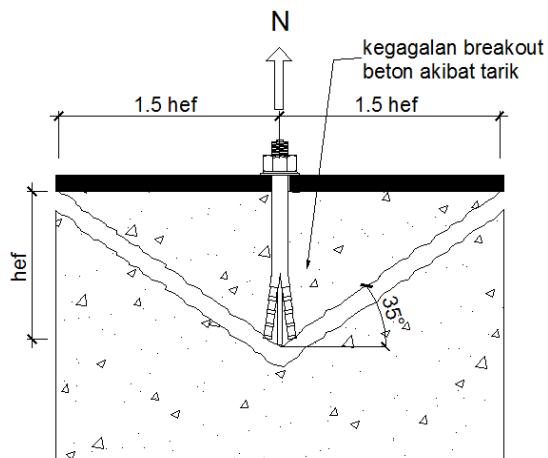


Gambar 4.2. Kegagalan baut angkur terhadap tarik

$$A_{seN} = \frac{1}{4} \times \pi \times da^2 = 113,097 \text{ mm}^2$$

$$N_{sa} = n \times (A_{seN} \times f_{ua}) = 171908 \text{ N}$$

- b) Kegagalan *breakout* (jebol) beton akibat tarik



Gambar 4.3. Kegagalan *breakout* (jebol) beton akibat tarik

$$A_{Nc} = (ca_1 + s_1 + 1.5 \text{ hef})(ca_2 + s_2 + 1.5 \text{ hef}) = 84100 \text{ mm}^2$$

$$kc = 7$$

$$ANco = 9 hef^2 = 32400 \text{ mm}^2$$

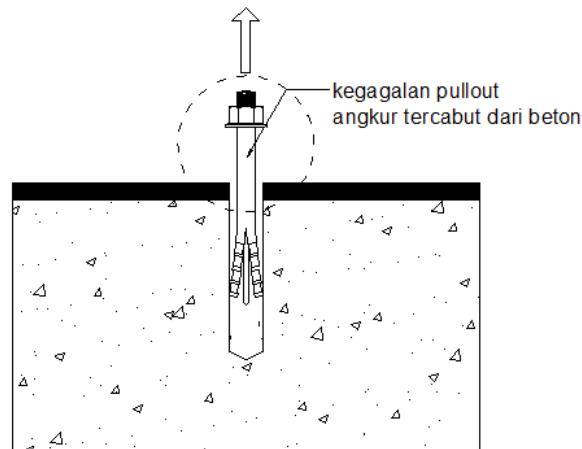
$ANc < n \cdot ANco$  (ok)

$$\lambda a = 1$$

$$Nb = kc \times \lambda a \times \sqrt{fc} \times hef^{1.5} = 16267 \text{ kN}$$

$$Nc_{bg} = \frac{ANc}{ANco} \times Nb = 42223 \text{ N}$$

c) Kuat cabut (*pullout*) angkur dari beton



Gambar 4.4. Kegagalan baut angkur tercabut dari betonnya

$$da1 = 12 \text{ mm}$$

$$da2 = 15 \text{ mm}$$

$$h1 = 40 \text{ mm}$$

$$h2 = 20 \text{ mm}$$

$$s = 36,101 \text{ mm} (\text{sisi miring kerucut mengembang})$$

$$As1 = \pi \times da1 \times hef = 2262 \text{ mm}^2$$

$$As2 = \pi \times \frac{da2}{2} \times s = 850,612 \text{ mm}^2 (\text{kerucut mengembang})$$

$$f_v = 2,5 \text{ MPa}$$

$$N_{p1} = n \times A_s \times f_v = 22619 \text{ N}$$

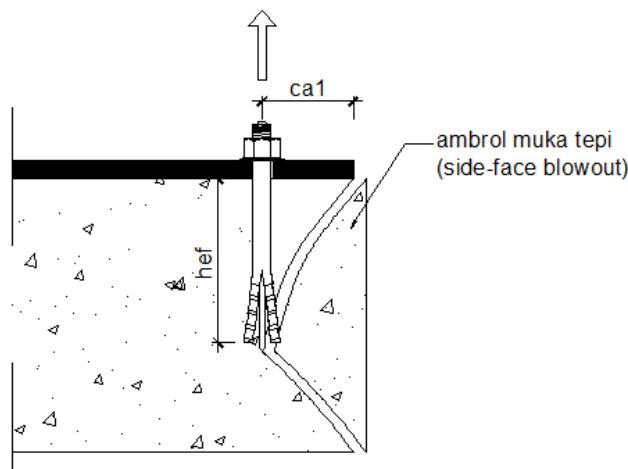
$$N_{p2} = n \times A_{s2} \times f_c = 85061 \text{ N}$$

Sehingga, menjadi  $N_p = N_{p1} + N_{p2} = 107680 \text{ N}$

- d) Kegagalan ambrol tepi muka tepi (*sideface blowout*) terhadap tarik

$$N_{sb} = 13 \times c_{a1} \times \sqrt{A_b} \times \lambda_a \times \sqrt{f_c} = 69126 \text{ N}$$

$$N_{sbg} = \left(1 + \frac{s}{6 \times c_{a1}}\right) N_{sb} = 80649 \text{ N}$$



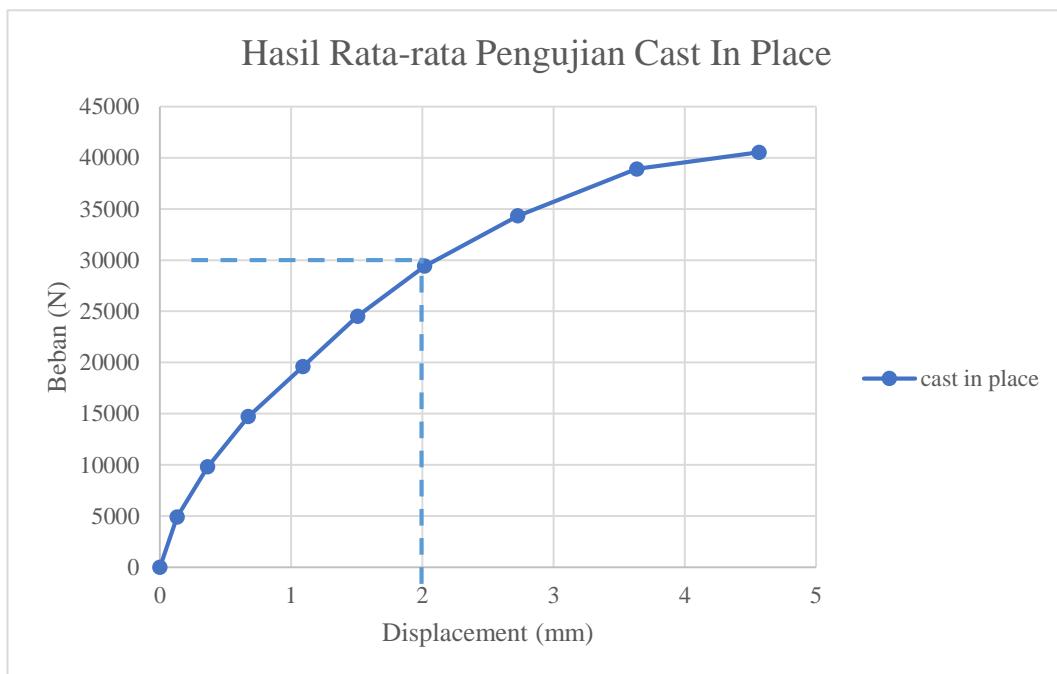
Gambar 4.5. Kuat ambrol muka tepi beton

Dari hasil perhitungan teoritis dengan variabel kegagalan yang ditentukan, maka kegagalan *breakout* (jebol) beton akibat tarik merupakan nilai nominal terkecil sebesar 42223 N sehingga kegagalan *breakout* beton akan menentukan dari kegagalan akibat tarik pada saat pengujian.

#### 4.4.2. Hasil Pengujian Tarik Angkur Ke Beton Secara *Cast In Place*

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Metode Pemasangan *Cast In Place*

No	P load (kg)			P load (N)			Rata-rata (N)	Panjang angkur tercabut (mm)			Rata-rata (mm)
	C1	C2	C3	C1	C2	C3		C1	C2	C3	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	500	500	500	4903.3	4903.3	4903.3	4903.3	0.1	0.14	0.15	0.13
3	1000	1000	1000	9806.6	9806.6	9806.6	9806.6	0.24	0.4	0.45	0.36
4	1500	1500	1500	14709.9	14709.9	14709.9	14709.9	0.45	0.72	0.85	0.67
5	2000	2000	2000	19613.2	19613.2	19613.2	19613.2	0.7	1.1	1.47	1.09
6	2500	2500	2500	24516.5	24516.5	24516.5	24516.5	1	1.48	2.04	1.51
7	3000	3000	3000	29419.8	29419.8	29419.8	29419.8	1.4	2	2.65	2.02
8	3500	3500	3500	34323.1	34323.1	34323.1	34323.1	2.2	3	2.98	2.73
9	4000	4000	3900	39226.4	39226.4	38245.74	38899.51	3.2	4.2	3.5	3.63
10	4300	4200	3900	42168.38	41187.72	38245.74	40533.95	5	5.2	3.5	4.57



Gambar 4.6. Grafik Beban dan *Displacement* Pengujian Metode *Cast In Place*

Hasil pengujian tarik angkur ke beton metode pemasangan *cast in place* didapatkan hasil maksimum sebesar 40533,95 N dengan *displacement* 4,57 mm. Hasil pengujian metode pemasangan *cast-in place* lebih kecil daripada hasil

perhitungan secara teoritis ( $40533,95 < 42223$ ). Terdapat perbedaan selisih sebesar 4% antara perhitungan teoritis dengan hasil pengujian. Pembebanan pada kondisi leleh sebesar 3000 N dengan displacement 2 mm. Dengan demikian perhitungan secara teoritis belum dapat digunakan dan perlu digunakannya angka keamanan sebesar 1,5.

Perhatikan hasil pengujian pada kegagalan yang terjadi yakni kegagalan *breakout* beton. Prediksi secara teoritis dengan kegagalan *breakout* (jebol) beton, kerucut beton dengan sudut  $35^\circ$  seperti pada Gambar 4.3. Pada pengujian tarik angkur ke beton terjadi kegagalan *breakout* (jebol) beton, dikarenakan adanya pengaruh lekatan antara beton dan angkur yakni adhesi, friksi, dan *interlock*, lihat Gambar 4.7. Tidak terjadi kegagalan lain yaitu kegagalan *pull-out*, kegagalan *side face blowout*, serta kerusakan angkur akibat tarik.

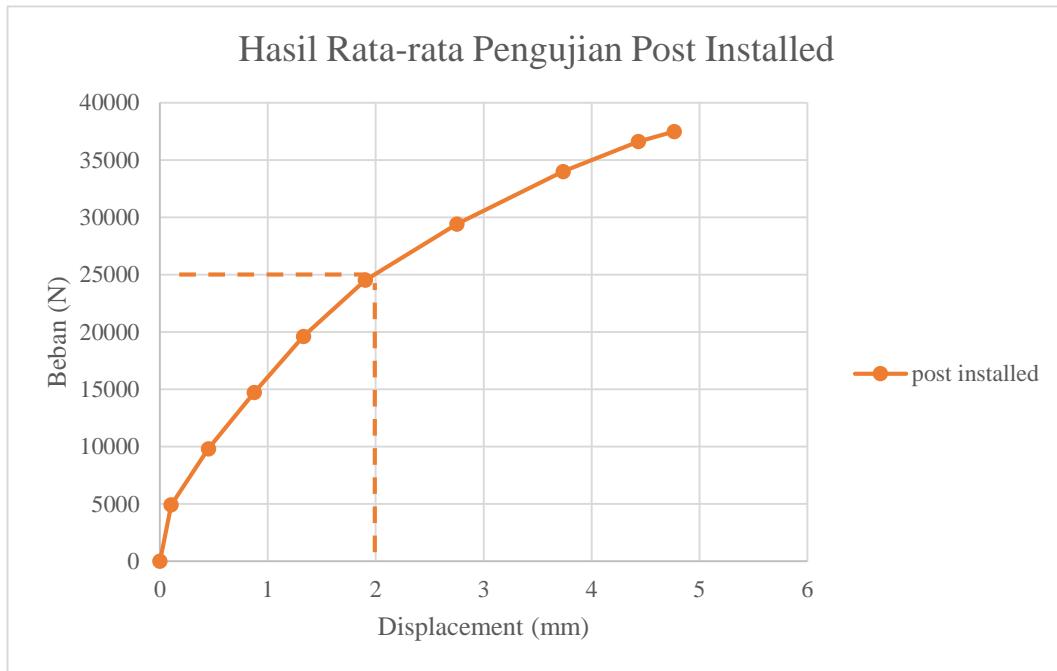


Gambar 4.7. Kegagalan Pasca Pengujian *Cast In Place*

#### 4.4.3. Hasil Pengujian Tarik Angkur Ke Beton Secara *Post Installed*

Tabel 4.4. Hasil Pengujian Metode Pemasangan *Post Installed*

No	P load (kg)			P load (N)			Rata-rata (N)	Panjang angkur tercabut (mm)			Rata-rata (mm)
	C1	C2	C3	C1	C2	C3		C1	C2	C3	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	500	500	500	4903.3	4903.3	4903.3	4903.3	0.01	0.1	0.2	0.10
3	1000	1000	1000	9806.6	9806.6	9806.6	9806.6	0.11	0.32	0.92	0.45
4	1500	1500	1500	14709.9	14709.9	14709.9	14710	0.22	0.8	1.6	0.87
5	2000	2000	2000	19613.2	19613.2	19613.2	19613	0.49	1.38	2.12	1.33
6	2500	2500	2500	24516.5	24516.5	24516.5	24517	1.2	1.9	2.61	1.90
7	3000	3000	3000	29419.8	29419.8	29419.8	29420	2.05	3.3	2.91	2.75
8	3500	3400	3500	34323.1	33342.4	34323.1	33996	3.3	4.7	3.21	3.74
9	4000	3400	3800	39226.4	33342.4	37265.1	36611	4.8	4.7	3.8	4.43
10	4270	3400	3800	41874.2	33342.4	37265.1	37494	5.8	4.7	3.8	4.77



Gambar 4.8. Grafik Beban dan *Displacement* Pengujian Metode *Post Installed*

Hasil pengujian dengan metode pemasangan secara *post installed* didapatkan hasil dengan beban maksimum sebesar 37493,9 N dengan *displacement* 4,77 mm. Hasil pengujian metode pemasangan *post installed* lebih kecil daripada perhitungan

secara teoritis ( $38147,67 < 42223$ ). Terdapat selisih perbedaan sebesar 11,20%.

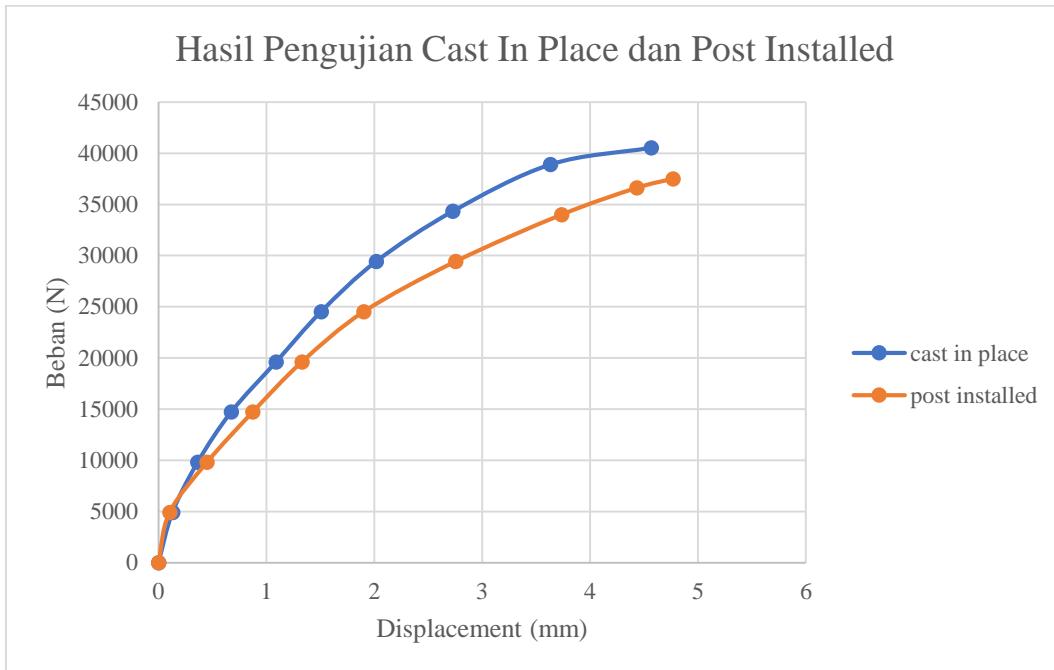
Pada kondisi elastis pada grafik, pembebanan sebesar 2500 N dengan *displacement* 2 mm. Dengan demikian angka kemanan 1,25 dan diambil 1,5 untuk angka keamanan sehingga perhitungan secara teoritis dapat digunakan.

Kegagalan yang terjadi pengujian akibat tarik pada angkur metode pemasangan secara *post installed*, kegagalan sesuai dengan teori *bond slip*. Secara teoritis kegagalan akibat tarik ialah *slip* ditandai dengan tercabutnya angkur, sedangkan hasil pengujian tarik angkur metode pemasangan *post installed* kegagalan yang terjadi yakni *slip*, lihat Gambar 4.9. Tidak adanya kerusakan angkur. Pada pengujian tarik angkur metode pemasangan *post installed* terjadi *slip*, dikarenakan angkur pemasangan *post installed* hanya mengandalkan peran *interlock*, adanya perlakuan pada beton pada pemasangan angkur dengan pengeboran menyebabkan rambut-rambut keretakan pada beton serta gaya gesekan antara angkur terhadap beton berkurang sehingga terjadi *slip*.



Gambar 4.9. Kegagalan Pasca Pengujian *Post Installed*

#### 4.4.4. Hasil Pengujian Tarik Angkur Ke Beton Secara Cast In Place Dibandingkan Secara Post Installed



Gambar 4.10. Grafik Hasil Pengujian *cast in place* dan *post installed*

Hasil pengujian menunjukkan metode pemasangan angkur secara *cast in place* dapat menerima beban yang lebih besar (40533,95 N) dan *displacement* lebih kecil (4,60 mm), sedangkan pada pengujian metode *post installed* kebalikannya yakni menerima beban yang lebih kecil dari *cast in place* ( $37493,9 \text{ N} < 40533,95 \text{ N}$ ) dengan *displacement* yang lebih besar dari pada *cast in place* ( $4,77 \text{ mm} > 4,60 \text{ mm}$ ), sehingga pemasangan angkur *cast in place* lebih baik daripada *post installed*.

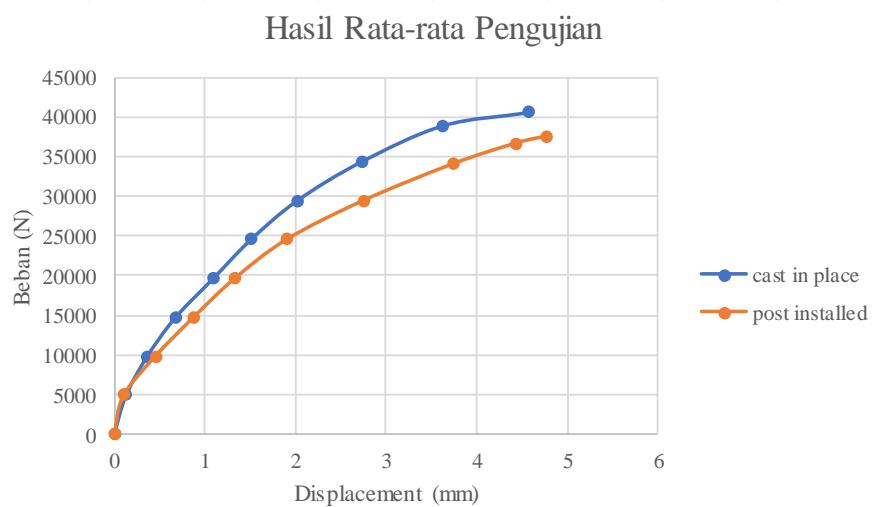
Dalam hal kekuatan pemasangan angkur secara *cast in place* lebih besar dan *displacementnya* lebih kecil daripada pemasangan angkur secara *post installed*. Artinya bahwa peran lekatan yang terjadi (adhesi dan *interlock*) pada pemasangan angkur secara *cast in place* lebih besar dan kuat sehingga berpengaruh terhadap lekatan antara angkur dengan beton, yang mana beban yang mampu dipikul lebih

besar. Untuk angkur pemasangan secara *post installed* lebih kecil beban yang diterima karena hanya mengandalkan peran *interlock* pada ujung angkur yang bekerja dan sudah adanya perlakuan pada beton yakni pengeboran yang menyebabkan gaya gesekan antara angkur terhadap beton menjadi berkurang, sehingga terjadi *slip* atau *displacement* yang dihasilkan besar.

Kegagalan yang terjadi hasil pengujian baik pemasangan secara *cast in place* maupun *post installed* memiliki perbedaan sebesar 7,5%. Untuk hasil pengujian tarik angkur dengan pemasangan *cast in place* terjadi *breakout* (jebol) beton, disebabkan pemasangan angkur sebelum dicor telah terjadi adhesi (proses pengerasan beton), friksi (tahanan geser terhadap gelinciran), dan *interlock* (angkur yang mengembang bekerja pada ujung bawah). Peran inilah yang mengakibatkan jebol beton terjadi pada pengujian tarik angkur ke beton. Sedangkan pada hasil pengujian tarik angkur dengan pemasangan *post installed* terjadi *slip*, dikarenakan hanya mengandalkan peran *interlock* pada ujung angkur yang mengembang. Pemasangan angkur dengan melakukan pengeboran mengakibatkan gaya gesekan berkurang antara angkur dengan beton sehingga mudah untuk terjadi *slip* atau angkur tercabut pada saat pengujian. Adanya perlakuan beton dengan pengeboran pada saat pemasangan angkur mengakibatkan terjadinya rambut-rambut keretakan pada beton sebelum pengujian yang mana dan hasil pengujian tidak terjadi kegagalan pada beton yakni jebol beton.

#### 4.4.5. Perbandingan

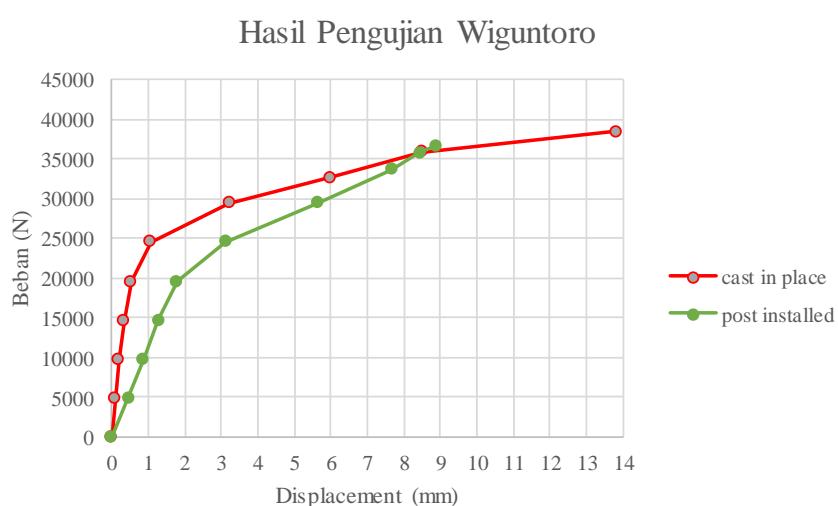
Berdasarkan hasil pengujian, grafik hubungan beban dan *displacement* ditunjukkan sebagai berikut:



Gambar 4.11. Grafik Hasil Pengujian

$$s = 100 \text{ mm}, ca1 = 100 \text{ mm}, da = 12 \text{ mm}, hef = 60 \text{ mm}$$

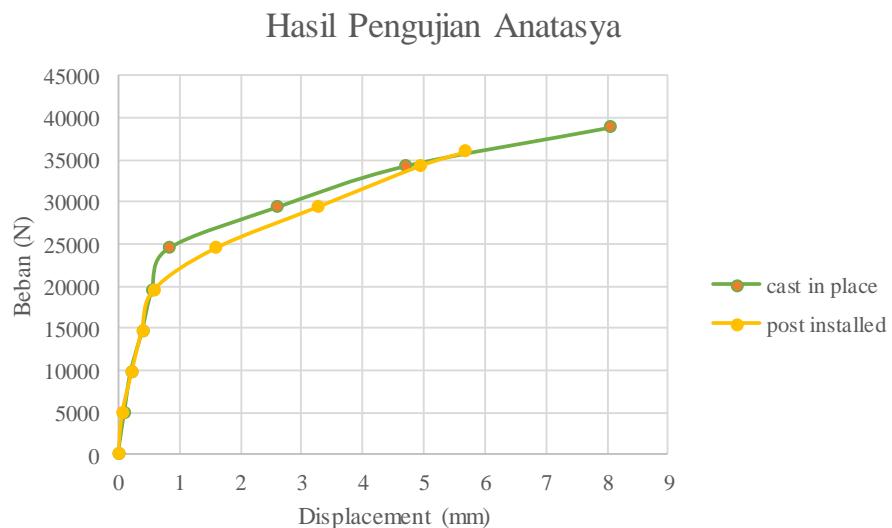
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wiguntoro (2020), grafik hubungan beban dan *displacement* angkur sebagai berikut:



Gambar 4.12. Grafik Hasil Pengujian Wiguntoro

$$s = 100 \text{ mm}, ca1 = 100 \text{ mm}, da = 10 \text{ mm}, hef = 90 \text{ mm}$$

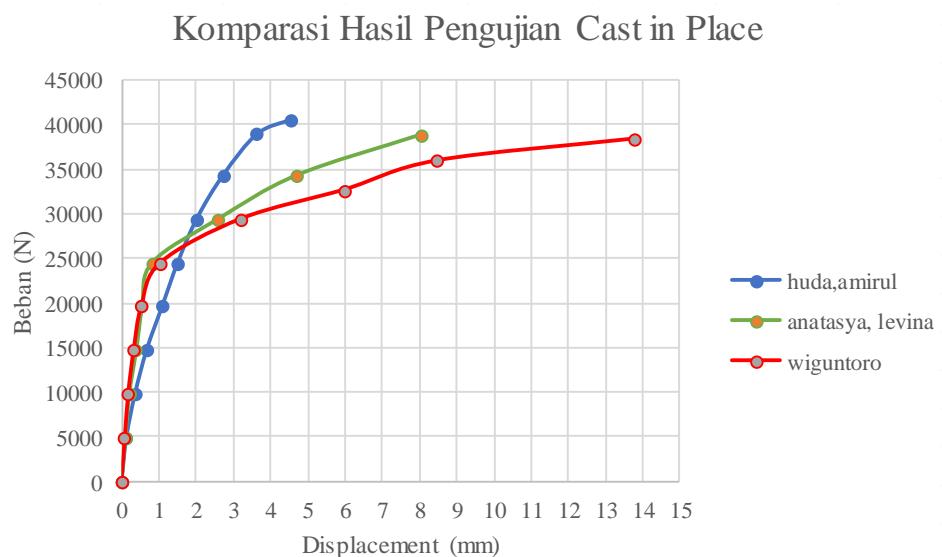
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Anatasya (2020), grafik hubungan beban dan *displacement* angkur sebagai berikut:



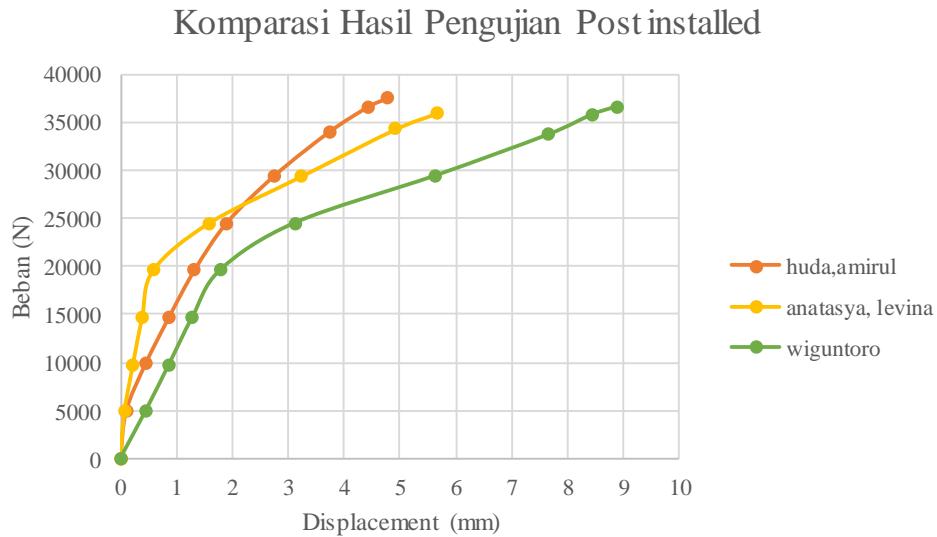
Gambar 4.13. Grafik Hasil Pengujian Anatasya

$$s = 180 \text{ mm}, ca1 = 60 \text{ mm}, da = 10 \text{ mm}, hef = 90 \text{ mm}$$

Hasil eksperimen-eksperimen yang telah ditunjukkan, dapat dikomparasikan atau dibandingkan sebagai berikut:



Gambar 4.14. Perbandingan Hasil Pengujian *Cast In Place*

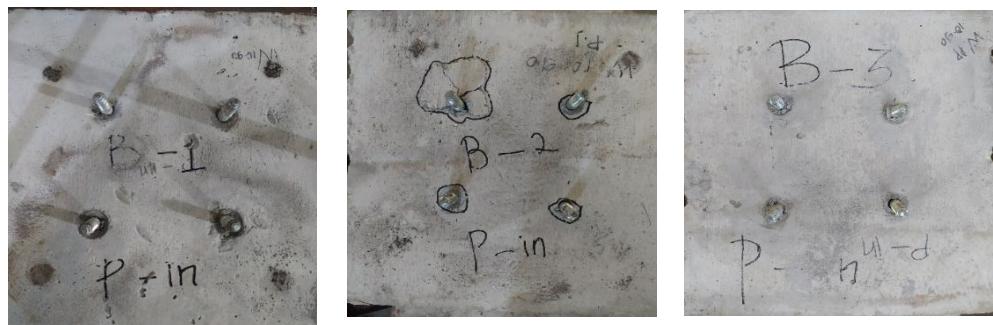


Gambar 4.15. Perbandingan Hasil Pengujian *Post Installed*

Pada penelitian Wiguntoro (2020) pemasangan angkur memiliki kesamaan dalam hal jarak antar angkur ( $s_1 = 100$  mm) dan jarak angkur ke tepi beton (ca $l_1=100$  mm). Dalam hal diameter angkur ( $d_a=10$  mm) dan kedalaman pemasangan angkur berbeda ( $h_{ef}=90$  mm). Berdasarkan grafik pada Gambar 4.14 dan Gambar 4.15, penelitian yang dilakukan Wiguntoro (2020) bahwa pengaruh besar kedalaman dan diameter angkur menimbulkan jenis kegagalan yang berbeda yakni kegagalan *pullout* (tercabutnya angkur). Kapasitas kekuatan yang diperoleh dari hasil pengujian dengan kedalaman pemasangan angkur yang besar ( $h_{ef}=90$  mm) lebih kecil dengan *displacement* yang besar, daripada pemasangan angkur ke beton dengan penanaman yang lebih dalam ( $h_{ef}=60$  mm).



Gambar 4.16. Kegagalan *pullout* angkur secara *cast in place* (Wiguntoro,2020)



Gambar 4.17. Kegagalan *pullout* angkur secara *post installed* (Wiguntoro,2020)

Penelitian Anatasya memiliki perbedaan di seluruh aspek yakni diameter ( $da=100$ ), jarak antar angkur ( $s_1=180$  mm), jarak angkur ke tepi beton ( $ca_1= 100$  mm), dan kedalaman efektif pemasangan angkur ( $hef=90$  mm). Penelitian yang dilakukan Anatasya (2020) bahwa semakin lebar jarak antar angkur memberikan kekuatan yang lebih kecil daripada jarak yang lebih rapat (masih dalam acuan perencanaan jarak angkur minimum  $6da$ ), dapat ditunjukkan grafik pada Gambar 4.14 dan Gambar 4.15. Pemasangan angkur secara *cast in place* dan *post installed* diperoleh kapasitas kekutan angkur lebih kecil dengan kenaikan *displacement* yang lebih besar daripada angkur yang dipasang dengan jarak ( $s=100$ ). Kedalaman

pemasangan angkur ( $hef=90$  mm) dan diameter angkur ( $da=10$  mm) menimbulkan kegagalan yang berbeda yakni kegagalan *pullout* angkur.



Gambar 4.18. Kegagalan *pullout* angkur secara *cast in place* (Anatasya 2020)



Gambar 4.19. Kegagalan *pullout* angkur secara *post installed* (Anatasya 2020)

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1. Simpulan

Dari hasil penelitian mengenai tarik angkur tipe ekspansi dengan kegagalan *breakout* beton dengan metode pemasangan secara *cast in place* dan *post installed*, yang dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai prediksi kapasitas tarik angkur dengan kegagalan *breakout* beton akibat tarik secara teoritis yakni 42.223 N.
2. Hasil pengujian tarik angkur metode pemasangan secara *cast in place* sebesar 40.574 N dan metode pemasangan secara *post installed* sebesar 37.494 N. Pengujian kuat tarik (bahan) angkur rata-ratanya sebesar ( $f_y$ ) 338 MPa, untuk kuat tekan beton rata rata sebesar ( $f'_c$ ) 25,697 MPa.
3. Hasil pengujian tarik angkur metode *cast in place* lebih besar dibandingkan dengan *post installed* ( $40574 \text{ N} > 37494 \text{ N}$ ), sehingga pemasangan angkur secara *cast in place* lebih baik dari pada *post installed*.
4. Adanya perbedaan nilai kapasitas tarik angkur secara teoritis terhadap hasil pengujian metode pemasangan *cast in place* dan *post installed*, yang mana nilai perhitungan teoritis lebih besar daripada hasil pengujian tarik angkur secara *cast in place* ( $42223 \text{ N} > 40574 \text{ N}$ ) dengan selisih 4%, pada pengujian tarik angkur secara *post installed* sama yakni perhitungan secara teoritis lebih besar daripada hasil pengujian ( $42223 \text{ N} > 37494 \text{ N}$ ) dengan selisih 11,20%. Perlu

adanya angka keamanan 1,5 untuk pengujian tarik angkur ke beton pada penelitian.

5. Kegagalan yang terjadi pada pengujian tarik angkur ke beton secara *cast in place* yakni kegagalan *breakout* beton, sedangkan *post installed* telah terjadi *slip*. Kegagalan yang terjadi sesuai dan relevan dengan teori.

#### 5.2. Saran

1. Penelitian lebih lanjut dengan mendesain dan merencanakan pengujian angkur metode pemasangan *post installed* lebih baik dari angkur metode pemasangan *cast in place*, dengan cara memberikan zat aditif berupa perekat pada saat pemasangan *post installed*.
2. Penelitian lebih lanjut dengan mendesain dan merencanakan pengujian angkur tipe ekspansi jenis yang sama dengan cara tanpa dipukul dibandingkan dengan dipukul pada pemasangannya.
3. Dalam pelaksanaan penelitian tarik angkur ke beton dengan kegagalan *breakout* beton ditemukan terbatasnya ketersediaan bahan dan kemampuan alat uji sehingga perlu adanya pengkajian ulang lebih lanjut untuk meningkatkan hasil penelitian yang lebih baik lagi.

## DAFTAR PUSTAKA

- ACI. 2011. *Building Code Requirements for Structural Concrete (318-11) An ACI Standard and Commentary*. ACI 318-11. First Printing. Farmington Hills U.S.A : Reported by ACI Committee 318.
- 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
- Apriyatno, Henry. 2010. Kapasitas Geser Balok Beton Bertulang dengan *Polypropylene Fiber* sebesar 4% dari Volume Beton. Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan 12 (2): 161-171.
- Apriyatno, Henry. 2009. Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang dengan *Polypropylene Fiber* sebesar 6% dari Berat Semen. Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan 11 (2): 149-160.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. Standar Nasional Indonesia: *Persyaratan Beton Struktural Untuk Gedung dan Penjelasan*. SNI 2847-2019. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2011. Standar Nasional Indonesia: *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. SNI 1947- 2011. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 1991. Standar Nasional Indonesia: *Metode Pengujian Kuat Tarik Baja Beton*. SNI 07-2529-1991. Indonesia

Badan Standarisasi Nasional. 1989. Standar Nasional Indonesia: *Cara Uji Tarik Logam*. SNI 07-0408-1989. Indonesia.

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

Bokor, Boglarka, Akanshu Sharma, dan Jan Hofmann. 2019. *Experimental Investigations on Concrete Cone Failure of Rectangular and Nonrectangular Anchor Groups*. *Engineering Structures* 188: 202-2017

Budi, Oktiano. 2019. Studi Eksperimen Kapasitas Lentur dan Defleksi Balok Beton dengan Tulangan Puntir Plat Baja Segi Empat ukuran 4 x 25 x 1000 mm pada Mutu Beton 20 MPa. *Skripsi*. Program S1 Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang. Semarang.

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)*. Edisi Pertama. Cetakan Pertama. Banten: Lumina Press.

Eligehausen, R. et. al. 2006. *Anchorage in Concrete Construction*. First Edition. Berlin: Ernst & Sohn GmbH & Co. KG. Published.

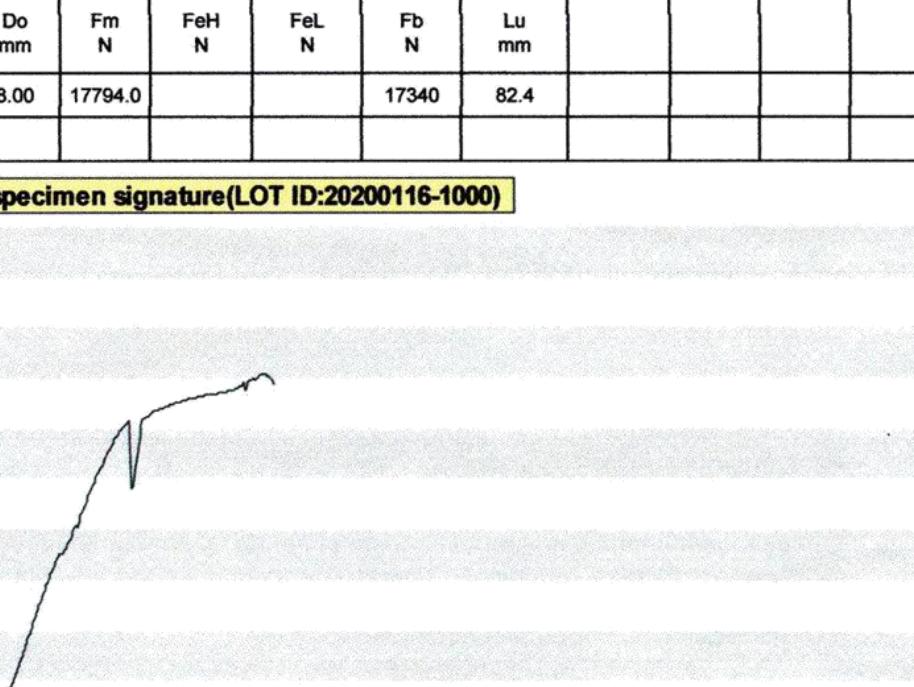
Eligehausen, Rolf, Ronald A Cook, and Jorg Appl. 2006. *Behavior and Design of Adhesive Bonded Anchors*. *ACI Structural Journal* 5 (6): 103-S83.

- Langi, William, Ellen J. Kumaat, dan Hieryco Manalip. 2018. Tegangan Lekat antara Baja dan Beton dengan Mutu Beton 40-70 MPa. *Jurnal Sipil Statik* 11 (6): 995-1002.
- Nilforoush, Rasoul, Martin Nilsson, dan Lennart Elfgren. 2017. *Experimental Evaluation Of Tensile Behaviour Of Single Cast-In-Place Anchor Bolts In Plain And Steel Fibre-Reinforced Normal- And High-Strength Concrete. Engineering Structure* 147: 195-206.
- 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 Eksperimen Lentur dan Defleksi Balok Beton dengan Tulangan Puntir Plat Baja Segi Empat dengan Ukuran 3 x15 x 1000. *Skripsi*. Program S1 Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Pusjatan-Balitbang PU. 2008. Standar Nasional Indonesia: *Cara Uji Slump Beton*. SNI 1972- 2008. Indonesia.
- Rao G. Appa dan B. Sundeep. 2015. *Strength of Bonded Anchors in Concrete in Direct Tension*. Digital Library of University Moratuwa. <http://dl.lib.mrt.ac.lk/handle/123/9517>. 24 Oktober 2019 (07:30).
- Strba, Michal and Marcela Karmazinova. 2015. *Experimental Verification of Load-Carrying Capacity in Case of Steel Post-Installed Expansion Anchors Subjected to a Tension Loading*. *Fluids, Heat and Mass Transfer, Mechanical and Civil Engineering*. ISBN: 978-1-61804-358-0.

Wigunoro. 2020. Studi Eksperimental Perilaku Kegagalan *Pull-Out* Pada Angkur Dengan Perbandingan Kekuatan Metode Pemasangan *Cast In Place* Dan *Post-Installed*. Skripsi. Program S1 Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang. Semarang

## LAMPIRAN

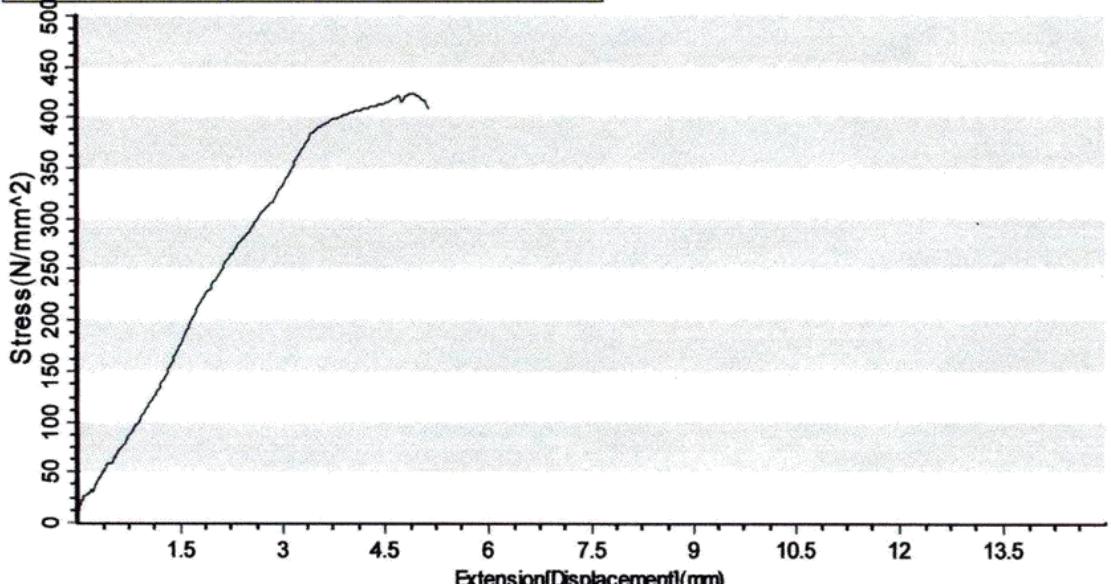
## Lampiran A. Hasil Pengujian Tarik (Bahan) Angkur

 <b>UNNES</b>	Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Gd. E5 Lt.1 Teknik Mesin Gunungpati, Semarang 50229 Telp. (024) 8508103				<b>Laboratorium Pengujian Bahan</b> <b>Teknik Mesin - UNNES</b>			
					LOT ID.	20200116-1000		
	Company	Uji 1			Test Date	01-16-2020		
	Standard				Operator	Imam		
Temperature	23C			Relative Humidity	80%			
Machine Model	TT-HW2-600S			Capacity	600kN			
Test Data								
No.	Do mm	Fm N	FeH N	FeL N	Fb N	Lu mm		
01	8.00	17794.0			17340	82.4		
<b>No.1 specimen signature(LOT ID:20200116-1000)</b>								
								

## Operator

QC:

Page 1

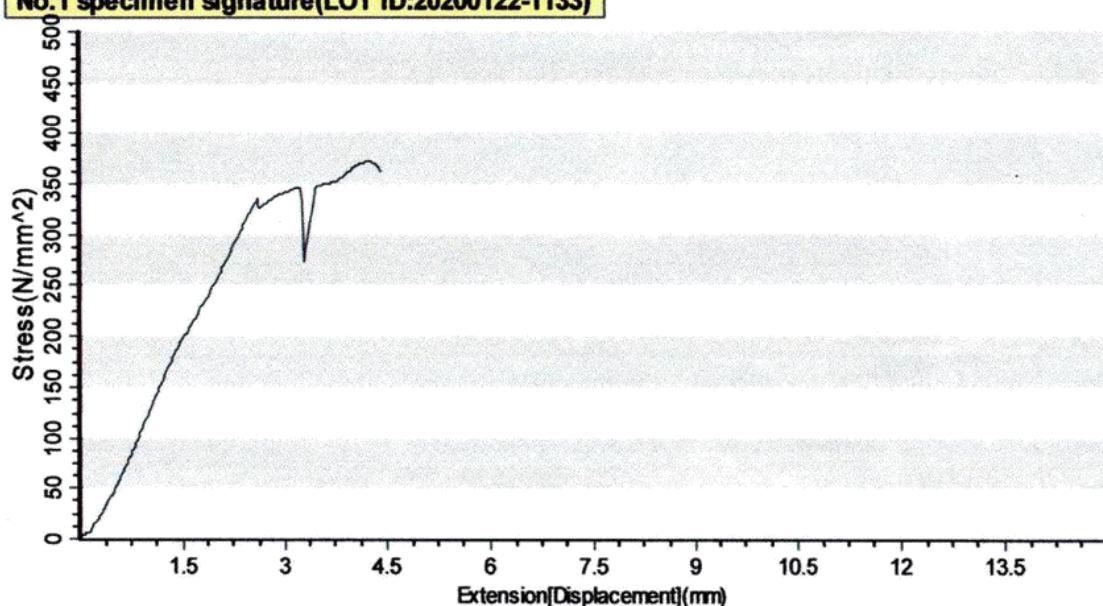
 <b>UNNES</b>	Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Gd. E5 Lt.1 Teknik Mesin Gunungpati, Semarang 50299 Telp. (024) 8508103		<b>Laboratorium Pengujian Bahan</b> <b>Teknik Mesin - UNNES</b>									
			LOT ID.	20200122-1129								
Company	Uji 2		Test Date	01-22-2020								
Standard			Operator	Imam								
Temperature	23C		Relative Humidity	80%								
Machine Model	TT-HW2-600S		Capacity	600kN								
<b>Test Data</b>												
No.	Do mm	F <sub>m</sub> N	F <sub>eH</sub> N	F <sub>eL</sub> N	F <sub>b</sub> N	Lu mm						
01	8.00	21274.0			20510	76.2						
<b>No.1 specimen signature(LOT ID:20200122-1129)</b>												
												



Operator:

QC:

Page 1

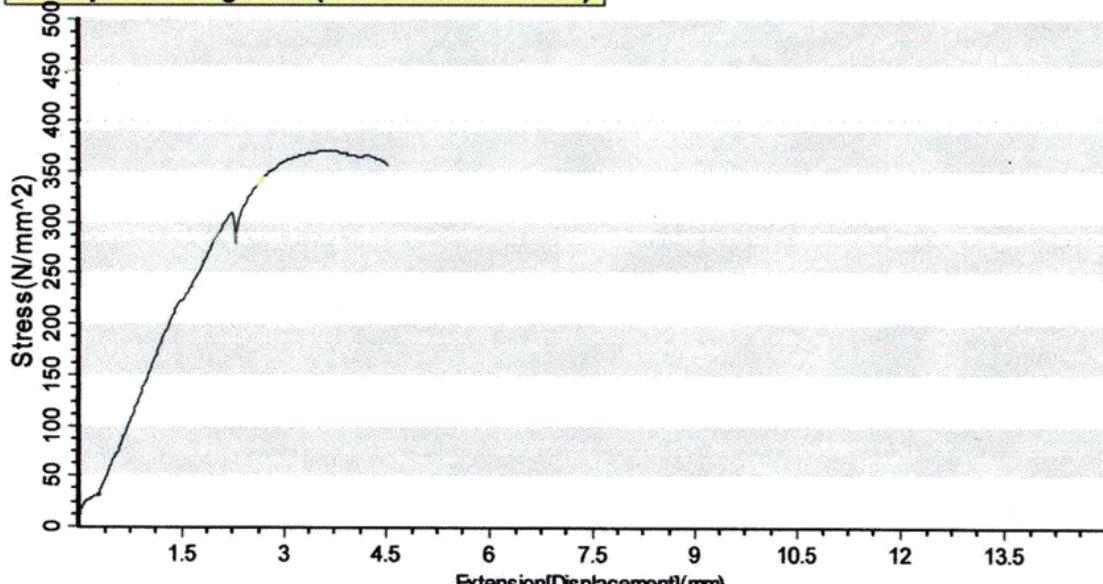
	Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Gd. E5 Lt.1 Teknik Mesin Gunungpati, Semarang 50229 Telp. (024) 8508103	<b>Laboratorium Pengujian Bahan</b> <b>Teknik Mesin - UNNES</b>										
		LOT ID.	20200122-1133									
Company	Uji 3	Test Date	01-22-2020									
Standard		Operator	Imam									
Temperature	23C	Relative Humiddity	80%									
Machine Model	TT-HW2-600S	Capacity	600kN									
<b>Test Data</b>												
No.	Do mm	Fm N	FeH N	FeL N	Fb N	Lu mm						
01	8.00	18726.0			18240	77.1						
<b>No.1 specimen signature(LOT ID:20200122-1133)</b>												



Operator:

QC:

Page 1

 <b>UNNES</b>	Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Gd. E5 Lt.1 Teknik Mesin Gunungpati, Semarang 50229 Telp. (024) 8508103	<b>Laboratorium Pengujian Bahan</b> <b>Teknik Mesin - UNNES</b>																																																															
						LOT ID.	20200122-1135																																																										
Company	Uji 4				Test Date	01-22-2020																																																											
Standard					Operator	Imam																																																											
Temperature	23C				Relative Humidity	80%																																																											
Machine Model	TT-HW2-600S				Capacity	600kN																																																											
<b>Test Data</b>																																																																	
No.	Do mm	Fm N	FeH N	FeL N	Fb N	Lu mm																																																											
01	8.00	18604.0			17880	77.2																																																											
<b>No.1 specimen signature(LOT ID:20200122-1135)</b>																																																																	
 <p>The graph shows Stress (N/mm²) on the Y-axis (0 to 500) versus Extension [Displacement] (mm) on the X-axis (0 to 13.5). The curve starts at the origin, rises linearly through an yield point, reaches a peak stress of approximately 480 N/mm² at a displacement of about 3.5 mm, and then begins to descend, indicating failure.</p> <table border="1"> <caption>Data points estimated from the stress-strain graph</caption> <thead> <tr> <th>Extension (mm)</th> <th>Stress (N/mm²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>50</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>100</td></tr> <tr><td>1.5</td><td>150</td></tr> <tr><td>2.0</td><td>200</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>250</td></tr> <tr><td>3.0</td><td>300</td></tr> <tr><td>3.5</td><td>350</td></tr> <tr><td>4.0</td><td>400</td></tr> <tr><td>4.5</td><td>450</td></tr> <tr><td>5.0</td><td>480</td></tr> <tr><td>5.5</td><td>470</td></tr> <tr><td>6.0</td><td>460</td></tr> <tr><td>6.5</td><td>450</td></tr> <tr><td>7.0</td><td>440</td></tr> <tr><td>7.5</td><td>430</td></tr> <tr><td>8.0</td><td>420</td></tr> <tr><td>8.5</td><td>410</td></tr> <tr><td>9.0</td><td>400</td></tr> <tr><td>9.5</td><td>380</td></tr> <tr><td>10.0</td><td>360</td></tr> <tr><td>10.5</td><td>340</td></tr> <tr><td>11.0</td><td>320</td></tr> <tr><td>11.5</td><td>300</td></tr> <tr><td>12.0</td><td>280</td></tr> <tr><td>12.5</td><td>260</td></tr> <tr><td>13.0</td><td>240</td></tr> <tr><td>13.5</td><td>220</td></tr> </tbody> </table>								Extension (mm)	Stress (N/mm²)	0.0	0	0.5	50	1.0	100	1.5	150	2.0	200	2.5	250	3.0	300	3.5	350	4.0	400	4.5	450	5.0	480	5.5	470	6.0	460	6.5	450	7.0	440	7.5	430	8.0	420	8.5	410	9.0	400	9.5	380	10.0	360	10.5	340	11.0	320	11.5	300	12.0	280	12.5	260	13.0	240	13.5	220
Extension (mm)	Stress (N/mm²)																																																																
0.0	0																																																																
0.5	50																																																																
1.0	100																																																																
1.5	150																																																																
2.0	200																																																																
2.5	250																																																																
3.0	300																																																																
3.5	350																																																																
4.0	400																																																																
4.5	450																																																																
5.0	480																																																																
5.5	470																																																																
6.0	460																																																																
6.5	450																																																																
7.0	440																																																																
7.5	430																																																																
8.0	420																																																																
8.5	410																																																																
9.0	400																																																																
9.5	380																																																																
10.0	360																																																																
10.5	340																																																																
11.0	320																																																																
11.5	300																																																																
12.0	280																																																																
12.5	260																																																																
13.0	240																																																																
13.5	220																																																																



Operator:

QC:

Page 1

Lampiran B. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton



Kantor Pusat :  
Jl. Wr. Supratman No. 65 Kota Semarang  
Telp. (024) 76432983, 76432995, 76637309  
NPWP : 21.042.382.8-503.000



Base Camp Batching Plant (Beton Readymix)  
Dusun Kalikopeng, Desa Leyangan  
Kec. Ungaran Timur, Kab. Semarang  
HP. 0822 2520 7686

Nomor : 004/test\_Beton/Bonindo/IV/2020  
Perihal : Hasil Pengujian Tekan Silinder Beton

Pemakai Jasa : Mahasiswa UNNES  
Proyek : Pekerjaan Pembuatan Balok "T"

No	Kode Benda Uji	Tanggal Pembuatan	Tanggal Pengujian	Umur (hari)	Berat (kg)	Gaya Tekan (ton)	Kokoh Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Perkiraan Kokoh Silinder 28 Hari (kg/cm <sup>2</sup> )	Perkiraan Kokoh Kubus 28 hari (kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
				(4)-(3)			(7)*1000/A	(8)*100/n	(9)/0.83	
1	Tekan 1	10-Mar-20	19-Apr-20	40	12,72	66.8	377.811	363.735	438.235	Ukuran Contoh Silinder
1	Tekan 2	10-Mar-20	19-Apr-20	40	11,96	52.5	297.058	285.990	344.566	Ø = 15 cm H = 30 cm
1	Tekan 3	10-Mar-20	19-Apr-20	40	12,47	54.6	308.594	297.096	357.947	
					Rata - rata		327.821	315.607	380.250	Kuat Tekan Beton (MPa) 25.698
<b>Keterangan :</b>										
A = $0.25 * (22/7) * \bar{D}^2$										
n = tabel perbandingan kekuatan tekan beton pada berbagai umur (pc biasa)										

Catatan : Laporan ini berlaku untuk benda contoh / benda Uji dari Bonindo Batching Plant  
Konversi kokoh usia 28 hari berdasarkan konversi beton normal (tanpa penambahan additive)

Semarang, 20 April 2020

Mengetahui :

**PT. BONINDO MULTI DAYA**

**PT. BONINDO MULTI DAYA**

SYAFII, SE  
Direktur

ADRIAN NOORMAN, SE  
Technical

### Lampiran C. Perhitungan Teoritis Menggunakan Software Mathcad

Perencanaan baut angkur :

\* Angkur kelompok terhadap tarik

spesifikasi baut :

$$n := 4$$

$$d_a := 12 \text{ mm}$$

$$f_y := 330 \text{ MPa}$$

$$f_u := 380 \text{ MPa}$$

$$h_{ef} := 60 \text{ mm}$$

$$s_1 := 100 \text{ mm}$$

$$s_2 := s_1 = 100 \text{ mm}$$

jenis\_angkur := "pasca pasang"

spesifikasi beton :

$$f_c := 25 \text{ MPa}$$

\*tidak ada tulangan khusus, beton retak dan bukan struktur tahan gempa

#### Kegagalan akibat Tarik

1. Kuat baut angkur terhadap tarik

$$A_{se,N} := \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot (d_a)^2 = 113.097 \text{ mm}^2$$

$$N_{sa} := \frac{n \cdot (A_{se,N} \cdot f_u)}{1000} = 171.908 \text{ kN}$$

2. Kuat jebol (breakout) beton terhadap tarik

$$\text{posisi angkur di pinggir} \quad c_{a,1} := 100 \text{ mm} \quad c_{a,2} := c_{a,1} = 100$$

$$1.5 \cdot h_{ef} = 90 \text{ mm}$$

$$\text{Breakout} := \begin{cases} \text{"Perlu evaluasi"} & \text{if } c_{a,1} < 1.5 \cdot h_{ef} \\ \text{"Tidak perlu evaluasi"} & \end{cases} \quad \begin{cases} \text{"Tidak perlu evaluasi"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$A_{Nco} := 3 \cdot h_{ef} \cdot 3 \cdot h_{ef} = 3.24 \times \text{mm}^2$$

$$\text{*Angkur kelompok} \quad c_{a1} < 1.5 \cdot h_{ef} \quad s_1 < 3 \cdot h_{ef}$$

$$A_{Nc} := (c_{a,1} + s_1 + 1.5 \cdot h_{ef}) \cdot (c_{a,2} + s_2 + 1.5 \cdot h_{ef}) = 8.41 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$\text{Cek} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } A_{Nc} < n \cdot A_{Nco} \\ \text{"not OK"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"OK"}$$

$$k_c := \begin{cases} 7 & \text{if } \text{jenis\_angkur} = \text{"pasca pasang"} \\ 10 & \text{otherwise} \end{cases} = 7$$

jenis\_beton := "beton normal"

$$\lambda_a := \begin{cases} 1 & \text{if } \text{jenis_beton} = \text{"beton normal"} \\ 0.8 & \text{otherwise} \end{cases} = 1$$

$$N_b := \frac{(k_c \cdot \lambda_a \cdot \sqrt{f_c} \cdot h_{ef})^{1.5}}{1000} = 16.267 \text{ kN}$$

$$N_{cbg} := \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \cdot N_b = 42.223 \text{ kN}$$

### 3. Kuat cabut (pullout) baut angkur dari beton

$$fv := 2.5 \text{ MPa}$$

$$h_{ef1} := 40 \text{ mm} \quad d_{a1} := 12 \text{ mm}$$

$$h_{ef2} := 20 \text{ mm} \quad d_{a2} := 15 \text{ mm} \quad (\text{krucut mengembang})$$

$$A_{s1} := \pi \cdot d_a \cdot h_{ef} = 2.262 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

$$s_2 := \sqrt{\left(\frac{d_{a2}}{2} - \frac{d_{a1}}{2}\right)^2 + h_{ef2}^2} = 20.056 \text{ mm} \quad \text{sisi miring krucut 2}$$

$$s_1 := \frac{\left(\frac{d_{a1}}{2}\right)}{\left[\left(\frac{d_{a2}}{2}\right) - \left(\frac{d_{a1}}{2}\right)\right]} \cdot s_2 = 80.225 \text{ mm} \quad \text{sisi miring krucut 1}$$

$$L_2 := \pi \cdot \frac{d_{a1}}{2} \cdot s_1 = 1.512 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

$$L_1 := \pi \left( \frac{d_{a2}}{2} \right) \cdot (s_1 + s_2) = 2.363 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} := L_1 - L_2 = 850.612 \text{ mm}^2$$

$$A_s := A_{s1} + A_{s2} = 3.113 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

$$N_{p1} := n \cdot \frac{(A_{s1} \cdot fv)}{1000} = 22.619 \text{ kN}$$

$$N_{p2} := n \cdot \frac{(A_{s2} \cdot f_c)}{1000} = 85.061 \text{ kN}$$

$$N_p := N_{p1} + N_{p2} = 107.681 \text{ kN}$$

4. Kuat ambrol muka tepi (sideface blowout) terhadap tarik

$$h_{ef} = 60 \text{ mm}$$

$$2.5 \cdot c_{a,1} = 250 \text{ mm}$$

$$\text{sideface\_blowout} := \begin{cases} \text{"Perlu evaluasi"} & \text{if } h_{ef} > 2.5 \cdot c_{a,1} \\ \text{"Tidak perlu evaluasi"} & \text{otherwise} \\ \text{"Tidak perlu evaluasi"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$A_{brg} := \frac{1}{4} \cdot \pi d_a^2 = 113.097$$

Jika perlu maka :

$$N_{sb} := \frac{[(13 \cdot c_{a,1} \cdot \sqrt{A_{brg}}) \cdot \lambda_a \cdot \sqrt{f_c}]}{1000} = 69.126 \text{ kN}$$

$$N_{sbg} := \left( 1 + \frac{s_1}{6 \cdot c_{a,1}} \right) \cdot N_{sb} = 80.647 \text{ kN}$$

5. Spasi untuk memenuhi pecah belah (splitting)

spasi baut angkur minimum adalah  $6 \cdot d_a = 72 \text{ mm}$  dari angkur lain atau tepi beton

$$s_1 := s_2 = 100 \text{ mm}$$

$$c_{a,1} = 100 \text{ mm}$$

dari jarak diatas lebih besar dari  $6d_a$ , jadi kerusakan pecah belah (splitting) relatif kecil

Jadi kegagalan akibat tarik yang akan diteliti dan dianalisis yaitu Breakout Beton Akibat Tarik dengan kapasitas kekuatan

$$N_{cbg} = 42.223 \text{ kN}$$

Lekat antara angkur baja dan beton

Cast in

$$C1 := \frac{42140}{n} = 1.054 \times 10^4 \text{ N}$$

$$C2 := \frac{41160}{n} = 1.029 \times 10^4 \text{ N}$$

$$C3 := \frac{38220}{n} = 9.555 \times 10^3 \text{ N}$$

$$\mu C1 := \frac{C1}{A_s} = 3.385 \text{ N}$$

$$\mu C2 := \frac{C2}{A_s} = 3.306 \text{ N}$$

$$\mu C3 := \frac{C3}{A_s} = 3.07 \text{ N}$$

$$\mu C := \frac{(\mu C1 + \mu C2 + \mu C3)}{3} = 3.253 \text{ N}$$

$$T_c := \frac{n \cdot \mu C \cdot A_s}{1000} = 40.507 \text{ kN}$$

Post in

$$P1 := \frac{41846}{n} = 1.046 \times 10^4 \text{ N}$$

$$P2 := \frac{33320}{n} = 8.33 \times 10^3 \text{ N}$$

$$P3 := \frac{37240}{n} = 9.31 \times 10^3 \text{ N}$$

$$\mu P1 := \frac{P1}{A_s} = 3.361 \text{ N}$$

$$\mu P2 := \frac{P2}{A_s} = 2.676 \text{ N}$$

$$\mu P3 := \frac{P3}{A_s} = 2.991 \text{ N}$$

$$\mu P := \frac{(\mu P1 + \mu P2 + \mu P3)}{3} = 3.009 \text{ N}$$

$$T_p := \frac{n \cdot \mu P \cdot A_{s2}}{1000} = 10.24 \text{ kN}$$

### Lampiran D. Hasil Pengujian Tarik Angkur ke Beton

Hasil Pengujian secara Cast in place

No	P load (kg)			P load (N)			Rata-rata (N)	Panjang angkur tercabut (mm)			Rata-rata (mm)
	C1	C2	C3	C1	C2	C3		C1	C2	C3	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	500	500	500	4903.3	4903.3	4903.3	4903.3	0.1	0.14	0.15	0.13
3	1000	1000	1000	9806.6	9806.6	9806.6	9806.6	0.24	0.4	0.45	0.36
4	1500	1500	1500	14709.9	14709.9	14709.9	14709.9	0.45	0.72	0.85	0.67
5	2000	2000	2000	19613.2	19613.2	19613.2	19613.2	0.7	1.1	1.47	1.09
6	2500	2500	2500	24516.5	24516.5	24516.5	24516.5	1	1.48	2.04	1.51
7	3000	3000	3000	29419.8	29419.8	29419.8	29419.8	1.4	2	2.65	2.02
8	3500	3500	3500	34323.1	34323.1	34323.1	34323.1	2.2	3	2.98	2.73
9	4000	4000	3900	39226.4	39226.4	38245.7	38899.5	3.2	4.2	3.5	3.63
10	4300	4200	3900	42168.4	41187.7	38245.7	40533.9	5	5.2	3.5	4.57

Hasil Pengujian secara Post installed

No	P load (kg)			P load (N)			Rata-rata (N)	Panjang angkur tercabut (mm)			Rata-rata (mm)
	P1	P2	P3	P1	P2	P3		C1	C2	C3	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	500	500	500	4903.3	4903.3	4903.3	4903.3	0.01	0.1	0.2	0.10
3	1000	1000	1000	9806.6	9806.6	9806.6	9806.6	0.11	0.32	0.92	0.45
4	1500	1500	1500	14709.9	14709.9	14709.9	14709.9	0.22	0.8	1.6	0.87
5	2000	2000	2000	19613.2	19613.2	19613.2	19613.2	0.49	1.38	2.12	1.33
6	2500	2500	2500	24516.5	24516.5	24516.5	24516.5	1.2	1.9	2.61	1.90
7	3000	3000	3000	29419.8	29419.8	29419.8	29419.8	2.05	3.3	2.91	2.75
8	3500	3400	3500	34323.1	33342.4	34323.1	33996.2	3.3	4.7	3.21	3.74
9	4000	3400	3800	39226.4	33342.4	37265.1	36611.3	4.8	4.7	3.8	4.43
10	4270	3400	3800	41874.2	33342.4	37265.1	37493.9	5.8	4.7	3.8	4.77