EKSPERIMEN *PULLOUT TEST HAMMER DRIVE ANCHOR M10x120mm* DENGAN JARAK ANGKUR TEPI KRITIS MELALUI METODE PEMASANGAN *CAST IN PLACE* DAN *POST INSTALLED*

Skripsi

diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar

Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil

Oleh

Levina Anatasya

NIM.5113416002

TEKNIK SIPIL

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2020

EKSPERIMEN *PULLOUT TEST HAMMER DRIVE ANCHOR M10x120mm* DENGAN JARAK ANGKUR TEPI KRITIS MELALUI METODE PEMASANGAN *CAST IN PLACE* DAN *POST INSTALLED*

Skripsi

diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar

Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil

Oleh

Levina Anatasya

NIM.5113416002

TEKNIK SIPIL

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2020

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Levina Anatasya

NIM : 5113416002

Program Studi : Teknik Sipil S1

Judul : EKSPERIMEN *PULLOUT TEST HAMMER DRIVE ANCHOR M10x120mm* DENGAN JARAK ANGKUR TEPI KRITIS MELALUI METODE PEMASANGAN *CAST IN PLACE* DAN *POST INSTALLED*

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

Semarang, 12 Agustus 2020

Pembimbing,

Drs. Henry Apriyatno, M.T.

NIP. 195904091987021001

PENGESAHAN

Skripsi/TA dengan judul "**EKSPERIMEN *PULLOUT TEST HAMMER DRIVE ANCHOR M10x120mm* DENGAN JARAK ANGKUR TEPI KRITIS MELALUI METODE PEMASANGAN *CAST IN PLACE* DAN *POST INSTALLED***" telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 19 Agustus 2020.

Oleh

Nama : Levina Anatasya

NIM : 5113416002

Program Studi : Teknik Sipil S1

Panitia:

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

Penguji 1	Penguji 2	Penguji 3/Pembimbing
Dr. Alfa Narendra, S.T., M.T.	Ir. Agung Sutarto, M.T.	Drs. Henry Apriyatno, M.T.
NIP. 197705262005011004	NIP. 196104081991021007	NIP. 195904091987021001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik UNNES

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

NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi/TA ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar dapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
5. 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, 12 Agustus 2020

Yang membuat pernyataan,

Levina Anatasya

NIM.5113416002

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

"Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan." (Q.S. Al Insyirah 5)

"Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kadar kesanggupannya." (Q.S. Al Baqarah 286)

PERSEMBAHAN

1. Untuk keluarga saya, Bapak Imam Sarjono, Ibu Suyati dan Kakak Lucky Anggi Pratama.
2. Untuk Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang.
3. Untuk teman-teman Teknik Sipil Angkatan 2016 Universitas Negeri Semarang.
4. Untuk almamater tercinta Prodi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

RINGKASAN

Levina Anatasya
2020

Eksperimen *Pullout Test Hammer Drive Anchor* M10x120mm dengan Jarak Angkur Tepi Kritis Melalui Metode Pemasangan *Cast-in Place* dan *Post Installed*

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

Penggunaan angkur merupakan salah satu metode untuk menghubungkan komponen struktural dengan kemampuan layan bangunan pada beton. Terdapat dua jenis angkur menurut metode pemasangannya, yaitu angkur cor dan angkur pasca pasang. Beberapa cara yang dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kekuatan dari baut angkur adalah dengan pengujian tarik angkur (*pull-out test*).

Penelitian menggunakan SANKO *hit anchor* m10 x 120 mm sebanyak empat angkur yang dipasang pada masing-masing benda uji dimensi 300 x 300 x 150 mm sebanyak 3 unit untuk metode *cast in place* dan 3 unit untuk metode *post installed*. Didapatkan data eksperimen berupa kuat tarik nominal angkur dan panjang angkur tercabut. Diharapkan kegagalan yang terjadi adalah *pullout failure* dan tidak ada kerusakan pada beton.

Hasil penelitian kapasitas tarik angkur dengan metode *cast-in place* didapatkan rata-rata kuat cabut angkur 38,87 kN dengan rata-rata angkur tercabut sebesar 8,04 mm. Sedangkan, kapasitas tarik angkur dengan metode *post installed* didapatkan rata-rata kuat cabut angkur 35,93 kN dengan rata-rata angkur tercabut sebesar 5,67 mm. Dari enam pengujian, 83% kegagalan yang terjadi adalah tercabutnya angkur dari beton (*pullout failure*) sisanya terjadi karena faktor lain.

Kata kunci: angkur, *cast-in place, hammer drive anchor, post installed, pullout test.*

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi/TA yang berjudul " Eksperimen *Pullout Test Hammer Drive Anchor* M10x120mm dengan Jarak Angkur Tepi Kritis Melalui Metode Pemasangan *Cast-in Place* dan *Post Installed*". Skripsi/TA ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapatkan safaat-Nya di yaumil akhir nanti, Amin.

Penyelesaian Skripsi/TA ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum., Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., IPM., Dekan Fakultas Teknik, Aris Widodo, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, dan Dr. Rini Kusumawardani, S.T., M.T., M.Sc., selaku Koordinator Program Studi S1 Teknik Sipil atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
3. Drs. Henry Apriyatno, M.T., selaku dosen pembimbing yang penuh perhatian dan atas perkenaan memberi bimbingan dan dapat dihubungi sewaktu-waktu disertai kemudahan menunjukkan sumber-sumber yang relevan dengan penulisan Skripsi/TA ini.
4. Dr. Alfa Narendra, S.T., M.T., dan Ir. Agung Sutarto, M.T., selaku dosen penguji 1 dan dosen penguji 2 yang telah memberikan masukan yang sangat berharga sehingga menambah bobot dan kualitas Skripsi/TA ini.

5. Bapak Fahrudin selaku Teknisi Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil UNNES yang telah membimbing, mengajari, dan memberikan arahan selama pengujian di laboratorium.
6. Semua Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UNNES yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan yang sangat berharga.
7. Bapak Imam Sarjono, Ibu Suyati selaku orang tua saya dan Kakak Lucky Anggi Pratama yang selalu memberi dukungan, motivasi dan doa yang tiada henti untuk saya.
8. Teman-teman dekat seperjuangan serta teman-teman Prodi Teknik Sipil angkatan 2016 yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang selalu membantu memberikan dukungan dan motivasi untuk menyelesaikan Skripsi/TA ini.
9. Berbagai pihak yang telah memberikan bantuan yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa terdapat banyak kekurangan dalam proses pelaksanaan hingga pembuatan Skripsi/TA ini dikarenakan keterbatasan pengetahuan dan waktu. Oleh karena itu, penulis mohon kritik dan saran untuk membangun dan meningkatkan kualitas Skripsi/TA ini agar jauh lebih baik dan sempurna. Semoga Skripsi/TA ini dapat memberikan manfaat terhadap penulis khususnya dan semua pihak yang membaca ataupun berkepentingan pada umumnya.

Semarang, 12 Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
PERSETUJUAN PEMBIMBING ii
PENGESAHAN iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN v
RINGKASAN vi
PRAKATA vii
DAFTAR ISI ix
DAFTAR TABEL xii
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR NOTASI xv
DAFTAR LAMPIRAN xvii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Identifikasi Masalah 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Rumusan Masalah 4
1.5 Tujuan Penelitian 4
1.6 Manfaat Penelitian 5
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI 6
2.1 Kajian Pustaka 6
2.2 Beton 8
2.3 Kuat Tekan Beton 12
2.4 Kuat Tarik (Bahan) Angkur 13
2.5 Baut Angkur 15
2.5.1 Baut Angkur Cor di Tempat *(Cast in Place)* 16
2.5.2 Baut Angkur Pasca Pasang (*Post Installed)* 17
2.6 Mekanisme Transfer Beban Angkur *Post Installed* 19
2.7 Pola Kerusakan Angkur Terhadap Tarik 20

2.7.1 Kegagalan *Pullout* (Angkur Tercabut) 22
2.7.2 Kegagalan Fraktur Angkur 24
2.7.3 Kuat Jebol *(breakout)* Terhadap Tarik.....25
2.7.4 Kuat Ambrol Muka Tepi *(Sideface Blowout)* 27
2.8 Ketentuan Lain Dalam Perencanaan Baut Angkur ke Beton.....28
BAB III METODE PENELITIAN.....29
3.1 Umum 29
3.2 Waktu dan Tempat.....29
3.3 Alur Penelitian 29
3.4 Bahan dan Peralatan Penelitian.....30
3.4.1 Bahan 30
3.4.2 Alat.....31
3.5 Benda Uji 34
3.6 Metode Pengujian 35
3.6.1 Pengujian Material Kuat Tarik Angkur 35
3.6.2 Pengujian *Slump* 39
3.6.3 Pengecoran Benda Uji 41
3.6.4 Proses Perawatan *(Curing)* 43
3.6.5 Pengujian Kuat Tekan Beton 44
3.6.6 Pengujian *Pullout* Angkur Terhadap Beton.....45
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....50
4.1 Deskripsi Spesimen.....50
4.2 Tinjauan Teoritis.....50
4.3 Analisis Data.....57
4.3.1 Hasil Penelitian Kuat Tarik Material Angkur.....57
4.3.2 Hasil Penelitian Kuat Tekan Beton.....57
4.3.3 Hasil Pengujian Tegangan Lekatan 58
4.3.4 Hasil Pengujian *Pullout* Angkur Metode *Cast-in Place*.....59
4.3.5 Hasil Pengujian *Pullout* Angkur Metode *Post Installed*.....61
4.4 Perbandingan Hasil Pengujian *Cast-in Place* dan *Post Installed* 62
4.5 Pola Kerusakan 63

4.6 Komparasi Hasil Pengujian.....66
BAB V PENUTUP.....73
5.1 Simpulan.....73
5.2 Saran.....74
DAFTAR PUSTAKA.....76
LAMPIRAN.....80

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Mutu Beton dan Penggunaannya 9
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Kuat Tarik Angkur 57
Tabel 4.2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 58
Tabel 4.3. Hasil Pengujian Tegangan Lekat Metode *Cast in Place* 59
Tabel 4.4. Hasil Pengujian Tegangan Lekat Metode *Post Installed* 59
Tabel 4.5. Hasil Pengujian *Pullout* Angkur Metode *Cast in Place* 60
Tabel 4.6. Hasil Pengujian *Pullout* Angkur Metode *Post Installed* 61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Kerusakan Spesimen pada Penelitian (Mohyeddin et al 2016) 7
Gambar 2.2. Tegangan Lekat Penjangkaran Tarik 12
Gambar 2.3. Kuat Tekan Beton 13
Gambar 2.4. Spesimen Uji Tarik 14
Gambar 2.5. Grafik Regangan Tegangan Tarik Baja 15
Gambar 2.6. Baut Angkur *Cast in Place* 16
Gambar 2.7. Baut Angkur *Post Installed* 17
Gambar 2.8. Jenis Angkur Menurut Cara Pemasangannya 18
Gambar 2.9. Angkur Ekspansi 19
Gambar 2.10. Mekanisme Transfer Beban Angkur *Post Installed* 20
Gambar 2.11. Pola Kerusakan Baut Angkur Terhadap Tarik 21
Gambar 2.12. Kegagalan *Pullout* 22
Gambar 2.13. Kegagalan Fraktur Angkur 24
Gambar 2.14. Kegagalan *Breakout* 25
Gambar 2.15. Kegagalan *Sideface Blowout* 27
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian 30
Gambar 3.2. Detail Benda Uji 35
Gambar 3.3. Benda Uji Angkur 36
Gambar 3.4. Baut Angkur Setelah Dibubut 36
Gambar 3.5. Besi Tulangan Ulir D16 37
Gambar 3.6. Benda Uji Angkur 38
Gambar 3.7. Mesin Uji Tarik (UTM) 38
Gambar 3.8. Baut Angkur Setelah Diuji 39
Gambar 3.9. Bekisting 42
Gambar 3.10. Perataan Permukaan Beton 43
Gambar 3.11. Kerusakan Benda Uji Tekan 45
Gambar 3.12. Proses Pengeboran Benda Uji *Post Installed* 46
Gambar 3.13. Palu Bulat atau Palu Konde 47
Gambar 3.14. Setting Benda Uji 47
Gambar 3.15. Setting Alat 48

Gambar 3.16. Pemasangan *Dial Gauge* 48
Gambar 3.17. Pompa Hidrolis dan Monitor *Load Cell* 49
Gambar 4.1. Detail Benda Uji 51
Gambar 4.2. Kegagalan Fraktur Pada Angkur 52
Gambar 4.3. Kerusakan *Breakout* 53
Gambar 4.4. Kerusakan *Sideface Blowout* 54
Gambar 4.5. Kegagalan *Pullout* 55
Gambar 4.6. Grafik Hubungan Kuat Cabut dan Deformasi Pada Uji *Pullout* Angkur Metode *Cast in Place* 60
Gambar 4.7. Grafik Hubungan Kuat Cabut dan Deformasi Pada Uji *Pullout* Angkur Metode *Post Installed*..... 62
Gambar 4.8. Grafik Perbandingan Hasil Uji *Cast in Place* dan *Post Installed*.. 63
Gambar 4.9. Kerusakan Beton Benda Uji 1 Metode *Cast in Place* 64
Gambar 4.10. Kerusakan Spesimen Metode *Cast in Place*..... 65
Gambar 4.11. Kerusakan Spesimen Metode *Post Installed* 66
Gambar 4.12. Grafik Hasil Pengujian s = 180 mm; ca = 60 mm; da = 10 mm; hef = 90 mm 67
Gambar 4.13. Grafik Hasil Pengujian (Wiguntoro,2020) s = 100 mm; ca = 100 mm; da = 10 mm; hef = 90 mm 67
Gambar 4.14. Grafik Hasil Pengujian (Huda, Amirul 2020) s = 100 mm; ca = 100 mm; da = 12 mm; hef = 60 mm.....68
Gambar 4.15. Grafik Komparasi Hasil Pengujian *Cast in Place* 69
Gambar 4.16. Grafik Komparasi Hasil Pengujian *Post Installed*.....69
Gambar 4.17. Kerusakan Benda Uji *Cast in Place* (Wiguntoro,2020) 70
Gambar 4.18. Kerusakan Benda Uji *Post Installed* (Wiguntoro,2020).....71
Gambar 4.19. Kerusakan Benda Uji *Cast in Place* (Huda,2020).....72
Gambar 4.20. Kerusakan Benda Uji *Post Installed* (Huda,2020) 72

DAFTAR NOTASI

A = luas penampang (mm^2)

Abrg = luas permukaan angkur (mm^2)

ANc = luas proyeksi kerusakan beton pada angkur kelompok untuk memperhitungkan kuat tarik (mm^2)

ANco = luas proyeksi kegagalan maksimum untuk kuat jebol akibat tarik (mm^2)

AseN = luas penampang efektif terhadap tarik (mm^2)

ca1 = jarak angkur ke tepi beton (mm)

da = diameter angkur (mm)

f'c = kuat tekan beton (MPa)

$\sqrt{f'c}$ = akar kuadrat kekuatan tekan beton (MPa)

fu = tegangan ultimate (MPa)

fua = tegangan ultimate angkur (MPa)

fy = tegangan leleh (MPa)

hef = kedalaman efektif pemasangan angkur (mm)

kc = koefisien untuk kuat jebol (*breakout*) beton dasar kondisi tarik

Lo = panjang mula-mula (mm)

n = jumlah benda uji

Nb = kuat dasar jebol beton angkur terhadap tarik (N)

Ncbg = kuat jebol beton nominal terhadap tarik dari angkur grup (N)

Npg = Kapasitas *pullout* angkur grup (N)

Nsa = kuat tarik nominal baut angkur (N)

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

Nsbg = kuat ambrol muka tepi beton nominal terhadap tarik grup (N)

P = gaya tekan (N)

s = jarak antar angkur (mm)

Δ**L** = pertambahan panjang (mm)

ε = Regangan

σ = tegangan (MPa)

λa = faktor modifikasi yang merefleksikan properti mekanis tereduksi dari beton pada aplikasi pengangkuran beton tertentu

μ_1 = tegangan lekat hasil pengujian *cast in place* (MPa)

μ_2 = tegangan lekat hasil pengujian *post installed* (MPa)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Detail Benda Uji (Spesimen)..... 82
Lampiran 2 Hasil Pengujian Kuat Tarik (Bahan) Angkur 83
Lampiran 3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 87
Lampiran 4 Perencanaan Desain Spesimen Menggunakan Mathcad 88

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan angkur merupakan salah satu metode untuk menghubungkan komponen struktural dengan kemampuan layan bangunan pada beton. Terdapat dua jenis angkur menurut metode pemasangannya, yaitu angkur cor dan angkur pasca pasang. Salah satu jenis angkur pasca pasang adalah angkur ekspansi. Dari beberapa jenis angkur, angkur ekspansi merupakan angkur yang mudah untuk dikerjakan pada saat instalasi maupun pelepasannya.

Angkur adalah elemen baja yang dicor ke dalam beton atau dipasang setelahnya ke dalam komponen struktur beton yang mengeras dan digunakan untuk menyalurkan beban yang diterapkan ke beton (SNI, 2013). Menurut praktiknya, angkur terbagi menjadi dua macam, yaitu angkur *cast in place* (angkur dipasang sebelum beton mengeras) dan *post installed* (angkur dipasang dengan cara di bor pada beton yang sudah mengeras).

Beberapa cara yang dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kekuatan dari baut angkur adalah dengan pengujian tarik angkur (*pullout test*). *Pullout test* merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengukur besarnya gaya maksimum yang dibutuhkan untuk mencabut angkur yang ditanam ke dalam suatu beton.

Menurut cara pemasangannya, terdapat beberapa jenis angkur salah satunya adalah angkur tipe ekspansi. Angkur jenis ekspansi biasanya dipasang dengan cara *post installed*. Angkur tipe ekspansi sendiri juga terdapat beberapa jenis, salah satunya adalah *hammer drive anchor* atau sering disebut dengan angkur ketuk.

Angkur jenis pasca pasang merupakan produk pabrik yang dibuat berdasarkan riset dan patent dari pabrik. Karena produk pabrik, angkur jenis pasca pasang relatif lebih mahal dan terbatas ukurannya serta keunggulannya adalah fleksibilitas waktu pemasangan sehingga memudahkan mengatur jadwal konstruksi.(Dewobroto, 2015)

Dengan dilakukannya pengujian tarik angkur (*pullout test*) kemungkinan akan terjadi kerusakan-kerusakan yang ditimbulkan, salah satunya adalah *pullout failure* atau tercabutnya angkur dari beton. Berdasarkan SNI 2847:2013 "Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung" diketahui bahwa jarak tepi minimum harus sebesar 6d. Artinya, dalam pemasangan angkur ke beton harus memperhatikan bahwa jarak angkur ke tepi beton tidak boleh kurang dari 6 kali diameter angkur supaya tidak terjadi kerusakan pada beton saat instalasi.

Sesuai dengan SNI 2013, akan dilakukan penelitian dengan mendesain jarak angkur ke tepi beton sesuai dengan syarat minimum SNI 2847:2013 yaitu sebesar 6d untuk mengetahui kegagalan yang terjadi pada saat *pullout test*.

Berdasarkan latar belakang, akan dilakukan penelitian tentang "Eksperimen *Pullout Test Hammer Drive Anchor* M10 x 120mm dengan Jarak Angkur Tepi Kritis Melalui Metode Pemasangan *Cast-in Place* dan *Post Installed*". Eksperimen dilakukan dengan menggunakan baut angkur pasca pasang tipe ekspansi yaitu *hammer drive anchor* hit anchor M10 x 120 mm merek SANKO sebanyak 4 buah untuk tiap sampel beton dengan spesifikasi mutu bahan sesuai hasil pengujian *fy* 337,5 MPa dan fu 383,25 MPa, kedalaman efektif 90 mm, jarak antar baut 180 mm, jarak baut ke tepi beton 60 mm dengan menggunakan beton *ready mix* mutu f'c 25

MPa, dan variasi benda uji ukuran 300 mm x 300 mm x 150 mm sebanyak 6 buah. Sedangkan tipe baut yang digunakan untuk pelaksanaan angkur *post installed* maupun *cast in place* menggunakan tipe baut ekspansi pasca pasang yaitu *hammer drive anchor* hit anchor SANKO M10 x 120 mm (type C).

1.2 Identifikasi Masalah

Permasalahan pada pengujian baut angkur diidentifikasi sebagai berikut :

1. Besarnya kapasitas tarik angkur metode *cast in place*.
2. Besarnya kapasitas tarik angkur metode *post installed*.
3. Perbedaan kapasitas tarik angkur metode *cast in place* dan *post installed.*
4. Pengaruh jarak tepi angkur ke beton saat *pullout test*.
5. Bagaimana kegagalan yang terjadi pada saat *pullout test*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diambil berdasarkan latar belakang diatas diantaranya:

1. Pengujian menggunakan baut angkur yang sama yaitu hit anchor M10 x 120 mm, kedalaman efektif (hef) 90 mm, jarak antar baut (s) 180 mm, jarak baut ke tepi beton (ca) 60 mm dengan spesifikasi mutu bahan sesuai hasil pengujian *fy* 337,5 MPa dan fu 383,25 MPa digunakan sebanyak 4 buah pada masing-masing benda uji beton.
2. Tipe baut angkur yang digunakan adalah untuk *post installed* dan *cast in place* menggunakan baut angkur tipe ekspansi yaitu SANKO hit anchor type C.
3. Beton yang digunakan adalah beton *ready mix* f’c 25 MPa.

4. Benda uji beton (*specimen*) yang digunakan ukuran 300 mm x 300 mm x 150 mm sebanyak 3 buah untuk pengujian tarik pada angkur cor di tempat (*cast in place*).
5. Benda uji beton (*specimen*) yang digunakan ukuran 300 mm x 300 mm x 150 mm sebanyak 3 buah untuk pengujian tarik pada angkur pasca pasang (*post installed*).
6. Angkur metode *cast in place* dan *post installed* dipukul secara bersamaan pada usia beton yang sama.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa besar nilai kapasitas tarik angkur pada metode pemasangan *cast in place*?
2. Berapa besar nilai kapasitas tarik angkur pada metode pemasangan *post installed*?
3. Bagaimana perbedaan nilai kapasitas tarik angkur *cast in place* dan *post installed*?
4. Bagaimana pengaruh jarak tepi angkur terhadap beton dengan *pullout test*?
5. Bagaimana model kegagalan yang terjadi pada saat *pullout test*?

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui besarnya kapasitas tarik angkur pada metode pemasangan *cast in place.*
2. Mengetahui besarnya kapasitas tarik angkur pada metode pemasangan *post installed.*
3. Mengetahui perbedaan antara angkur pada metode pemasangan *cast in place d*an *post installed.*
4. Mengetahui pengaruh jarak tepi angkur terhadap beton dengan *pullout test.*
5. Untuk mengetahui model kegagalan yang terjadi pada saat *pullout test.*

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diberikan pada penelitian adalah sebagai berikut:

1. Manfaat Akademis

Manfaat penelitian ini dalam bidang akademis adalah untuk mengetahui perbedaan kapasitas tarik angkur dengan jarak tepi kritis pada metode pemasangan *cast in place* dan *post installed,* serta untuk mengetahui lekatan antara angkur dengan beton.

2. Manfaat Teoritis

Diharapkan penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan masukan untuk ilmu pengetahuan tentang struktur. Hasil penelitian ini juga dapat digunakan sebagai referensi bagi mahasiswa untuk pedoman penelitian lebih lanjut,

3. Manfaat Praktis

Diharapkan hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi retrofit struktur.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Dalam menyusun skripsi ini, penulis telah membaca beberapa buku dan jurnal penelitian sebelumnya yang mendukung untuk mendapatkan referensi dalam penulisan ini. Berikut beberapa referensi yang digunakan penulis untuk menyusun skripsi, antara lain:

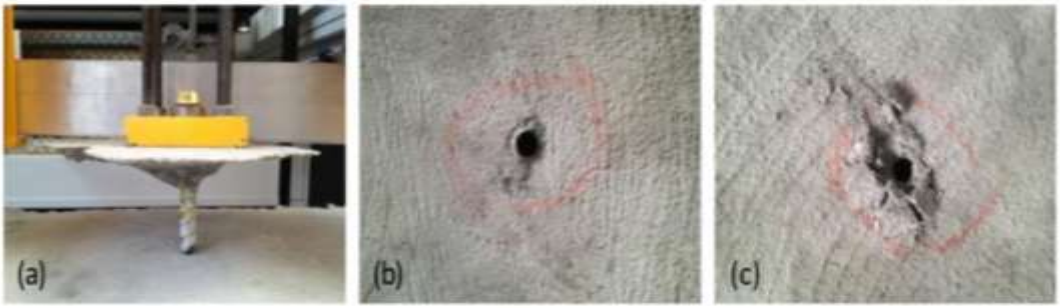
ACI 318-11 *Building Code Requirement for Structural Concrete* Appendix D *Anchoring to Concrete*. Penulis mendapatkan referensi teori, perhitungan dan ketentuan dalam mendesain angkur pada beton.

Buku yang berjudul "Struktur Baja – Perilaku, Analisis dan Desain" karya Wiryanto Dewobroto. Dari buku ini penulis mendapatkan penjelasan rumus pada ACI 318-11 dalam mendesain angkur ke beton.

Buku yang berjudul "*Anchorage in Concrete Construction"* karya (Eligehausen, Mallée, & Silva, 2006). Dari buku ini penulis mendapatkan referensi lebih lanjut tentang pemasangan angkur metode *post-installed*.

Penelitian yang dilakukan oleh (Mohyeddin, Gad, Yangdon, Khandu, & Lee, 2016) tentang "*Tensile Load Capacity of Screw Anchors in Early Age Concrete*". Penelitian ini berfokus pada evaluasi perilaku angkur sekrup yang dipasang dan dimuat di beton usia dini. Hubungan antara kekuatan tarik dan kuat tekan beton serta kekuatan ultimit angkur dan mode kegagalan yang diamati disajikan untuk sekrup angkur tertentu berdasarkan pada 70 uji tarik.

Dari 70 tes, 33 angkur gagal karena kegagalan gabungan mode. Mode kerucut beton (*concrete cone*) dan *pull-out* mode, dan 37 angkur gagal karena hanya *pull-out*. Tidak ada pembentukan kerucut beton (*concrete cone*). Dalam beberapa kasus beberapa kerusakan kecil di permukaan beton diamati, yang tidak dapat dianggap sebagai kegagalan kerucut.



Gambar 2.1. Kerusakan Spesimen pada Penelitian

Sumber: (Mohyeddin et al., 2016)

Penelitian disertasi yang dilakukan oleh Zhao, Chen 2018 "*Analyzing The Failure Mechanisms and Developing Strength Prediction Models for Concrete Expansion and Screw Anchors in Tension*" menjelaskan bahwa angkur ekspansi torsi biasanya gagal dalam *pull-through mode* saat dipasang pada kedalaman efektif (hef) yang dalam. Angkur sekrup biasanya gagal dalam mode gabungan antara *pullout* dan *breakout concrete*. Namun, penelitian tentang mode kegagalan mode kegagalan ini jarang dilakukan dan tidak ada desain model tersedia untuk memprediksi kekuatan tarik akhir (Nu) dari mode kegagalan ini.

Sebanyak 128 pengujian pada angkur ekspansi torsi mode kegagalan bergantung pada hef dan diameter. Berdasarkan studi parametrik menggunakan simulasi *finite element model* (FEM) tambahan, model prediksi untuk memprediksi Nu dari mode *pull-through* angkur ekspansi torsi dan mode gabungan dari angkur

sekrup, secara individual, dikembangkan dan menunjukkan kesesuaian yang baik dengan hasil pengujian. Angkur *post-installed* sering kali dipasang dengan *abandoned drilled hole* (ADH) di lokasi kerja. Total 60 angkur ekspansi torsi diuji pada 2 skenario kondisi lubang: 1) referensi (tanpa lubang) 2) satu ADH yang di bor pada offset 2.d. Skenario ADH menghasilkan sekitar 4,5-21% pengurangan terlepas dari mode kegagalan, dan persentase pengurangan menurun saat diameter dan / atau hef meningkat.

Penelitian yang dilakukan oleh (Tumiwa, Manalip, & Tamboto, 2016) tentang "Pemeriksaan Tegangan Lekat Antara Baja dan Beton dengan Kuat Tekan Beton 40 MPa" . Penulis mendapatkan referensi tentang pengaruh kuat lekat antara baja dengan beton.

2.2 Beton

Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat. (SNI, 2002)

Beton didapat dari campuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung. Agregat halus dan kasar, disebut sebagai bahan susun kasar campuran, 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 susun,

metode pelaksanaan pengecoran, pelaksanaan *finishing*, temperatur, dan kondisi perawatan pengerasannya. (Dipohusodo, 1994)

Menurut *Puslitbang Prasarana Transportasi Divisi 7 – 2010, beton dapat diklasifikasikan berdasarkan mutu dan fungsi penggunaannya sebagai berikut:*

Tabel 2.1. *Mutu Beton dan Penggunaannya*

Jenis Beton	***fc'*** **(MPa)**	**σbk** **(Kg/cm^2)**	**Uraian**
Mutu tinggi	≥ 45	K400-K800	Umumnya digunakan untuk beton prategang seperti tiang pancang beton prategang, gelagar beton prategang, pelat beton prategang dan sejenisnya
Mutu sedang	20 - 45	K250-<K400	Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma, kereb beton pracetak, gorong-gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan, perkerasan kaku jalan
Mutu rendah	15 - 20	K175-<K250	Umumnya digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti beton siklop, trotoar dan pasangan batu kosong yang diisi adukan
	10 - 15	K125-<175	Digunkan sebagai lantai kerja, penimbunan kembali dengan beton

Sumber : Puslitbang Prasarana Transportasi Divisi 7 – 2010

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

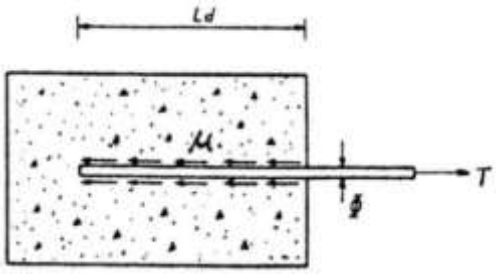
1. *Transverse Failure* yaitu adanya retak pada beton arah tranversal/melintang akibat tegangan tarik yang tidak dapat ditahan oleh selimut beton, keruntuhan ini akan menurunkan tegangan lekat antara baja tulangan dan beton.
2. *Splitting Failure* yaitu adanya retak pada beton arah longitudinal/memanjang 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 (Tumiwa et al., 2016)),:

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 penjangkaran ujung tulangan, pembengkokan.

Menurut (Wang, Salmon, & Hariandja, 1990) bahwa berapapun jumlah luas tulangan yang disediakan, tulangan-tulangan akan terlepas keluar apabila tidak diankerkan/dijangkarkan dengan memadai ke dalam beton. Untuk itu perlu penjangkaran sehingga gaya tarik yang timbul dapat ditahan oleh lekatan antara baja dan beton disekelilingnya.

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



Gambar 2.2. Tegangan Lekat Penjangkaran Tarik

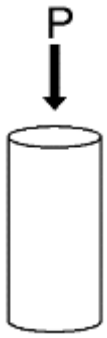
2.3 Kuat Tekan Beton

Sifat yang paling penting dari beton adalah kuat tekan beton. Kuat tekan beton biasanya berhubungan dengan sifat-sifat lain, maksudnya apabila kuat tekan beton tinggi, sifat-sifat lainnya juga baik. (Tjokrodimuljo, 2004)

Kuat tekan beton yang ditetapkan oleh perencana struktur (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm), untuk dipakai dalam perencanaan struktur beton, dinyatakan dalam satuan MPa. Bila nilai fc' di dalam tanda akar, maka hanya nilai numerik dalam tanda akar saja yang dipakai, dan hasilnya tetap mempunyai satuan MPa. (SNI, 2002)

Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu atas benda uji silinder beton sampai hancur. (Apriyatno, 2010)

Perhitungan kuat tekan benda uji dengan membagi beban maksimum yang diterima oleh benda uji selama pengujian dengan luas penampang melintang rata yang ditentukan sebagai mana yang diuraikan pada Pasal 5 dan nyatakan hasilnya dengan dibulatkan ke 1 (satu) desimal dengan satuan 0,1 MPa. (SNI, 2011a)



Gambar 2.3. Kuat Tekan Beton

Kuat Tekan Beton (f'c) = $\mathbf{\frac{P}{A}}$

dengan pengertian :

Kuat tekan beton dengan benda uji silinder, dinyatakan dalam MPa atau N/mm2;

P = gaya tekan aksial, dinyatakan dalam Newton (N);

A = luas penampang melintang benda uji, dinyatakan dalam mm^2.

2.4 Kuat Tarik (Bahan) Angkur

Untuk mengetahui kekuatan leleh dari angkur dilakukannya pengujian kuat tarik bahan sesuai dengan tata cara uji tarik baja tulangan. Dari pengujian ini didapatkan hasil fy dan fu dari angkur. Pengujian dengan penarikan batang uji secara terus menerus dengan gaya yang bertambah besar sampai putus dengan tujuan untuk menentukan nilai tarik. (SNI, 1991)

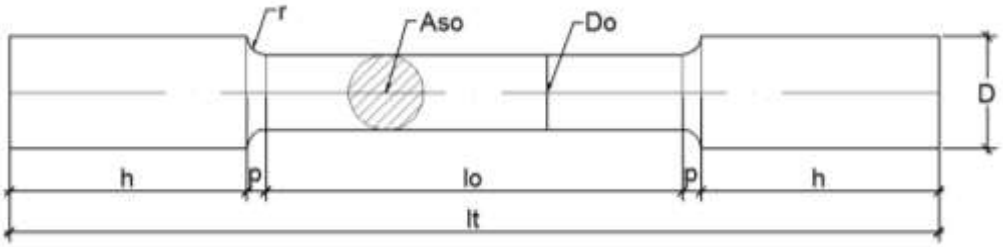
$$\sigma = \frac{P}{A}$$

dimana,

σ = Tegangan (MPa)

P = Tekanan (N)

A = luas penampang (mm2)



Gambar 2.4. Spesimen Uji Tarik

Dimana,

L_t = pajang total benda uji (mm)

L_o = panjang ukur semula benda uji (mm)

D_o = diameter terkecil benda uji (mm)

D = diameter contoh (mm)

H = panjang bagian benda uji yang terjepit pada mesin tarik

r = jari-jari cekungan, bagian benda uji yang konis (mm)

p = panjang bagian benda uji yang berbentuk konis (mm)

Dengan pengujian tarik baja didapat fy (*yield*) dan fu (*ultimate*).

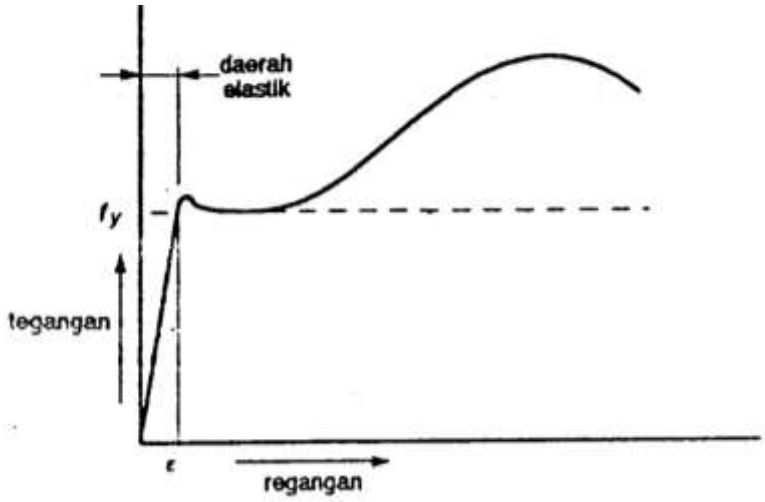
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L0}$$

dimana,

ε = Regangan

ΔL = Pertambahan panjang (mm)

L_0 = Panjang mula mula (mm)



Gambar 2.5. Grafik Regangan Tegangan Tarik Baja

2.5 Baut Angkur

Angkur adalah poros baja yang dimasukkan ke dalam beton pada saat penempatan (*cast in place*) atau setelah pemasangan (*post installed*) setelah beton mengeras. Angkur merupakan elemen baja baik dicor ke dalam beton atau dipasang setelahnya ke dalam komponen struktur beton yang mengeras dan digunakan untuk menyalurkan beban yang diterapkan ke beton. Sedangkan kelompok angkur (*Anchor group*) adalah sejumlah angkur yang mirip yang mempunyai kedalaman penanaman efektif yang hampir sama dengan spasi s antara angkur berdekatan sehingga daerah yang dilindungi saling tumpang tindih. (SNI, 2013)

Angkur dirancang untuk memindahkan beban (*design loads*) dari superstruktur ke pondasi. Transfer yang dimaksud adalah dari pelat dasar kolom baja ke pondasi atau dari bagian beton pra-cetak ke pondasi. Ketentuan desain angkur beton formal pertama ditetapkan dalam Appendix D – *Anchoring to Concrete* (ACI 318 edisi 2011). Singkatnya, Appendix D adalah dokumen yang mencakup semua untuk setiap situasi angkur, seperti menguraikan persyaratan

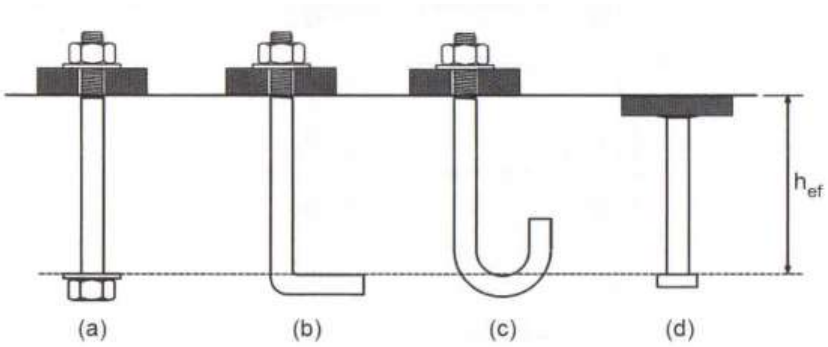
umum untuk angkur beton termasuk teori desain, persyaratan desain seismik, dan faktor reduksi kekuatan.

Menurut Appendix D (ACI 2011) saat ini dikenal dua jenis angkur berdasarkan cara pemasangannya, yaitu:

a. Baut angkur cor di tempat (*cast in place*).
b. Baut angkur pasca pasang (*post installed*).

2.5.1 Baut Angkur Cor di Tempat (*Cast in Place*)

Angkur jenis cor di tempat adalah angkur yang dipasang dan telah didesain pada struktur beton yang akan dicor, sehingga penggunaannya terbatas pada konstruksi baru. Ada beberapa macam angkur *cast in place* dapat dilihat pada Gambar 2.6 antara lain:



Gambar 2.6. Baut Angkur *Cast in Place* (ACI 2011)

a) Baut segi enam dan ring (*headed bolt*)

b) Baut-L (*L-bolt*)

c) Baut-J (*J-bolt*)

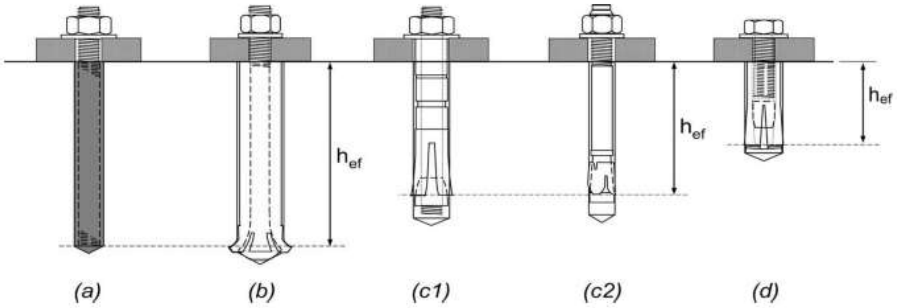
d) Stud dilas ke *base-plate* (*headed stud*)

Jenis baut angkur cor di tempat adalah baut segi enam dan ring, baut-L, baut-J, dan stud di las ke *base-plate.* Angkur jenis stud yang dilas banyak dipakai pada

konstruksi beton pra-cetak. Konstruksi baja umumnya banyak memakai baut angkur dengan kepala segi enam, yang berkapasitas lebih besar dibanding baut angkur dengan kait L atau J. (Fisher & Kloiber, 2006)

2.5.2 Baut Angkur Pasca Pasang *(Post Installed)*

Jenis baut angkur pasca pasang dilakukan atau disetting setelah beton mengeras. Jenis angkur pasca pasang dapat diaplikasikan pada konstruksi baru maupun untuk retrofit struktur. Angkur pasca pasang terdapat beberapa macam dapat dilihat pada Gambar 2.7. antara lain:



(B) Post-installed anchors: (a) adhesive anchor; (b) undercut anchor; (c) torque-controlled expansion anchors ((c1) sleeve-type and (c2) stud-type); and (d) drop-in type displacement-controlled expansion anchor.

Gambar 2.7. Baut Angkur *Post Installed*

a) Angkur adesif (*adhesive anchor*)

b) Angkur terkontrol punter tipe selongsong (*undercut anchor*)

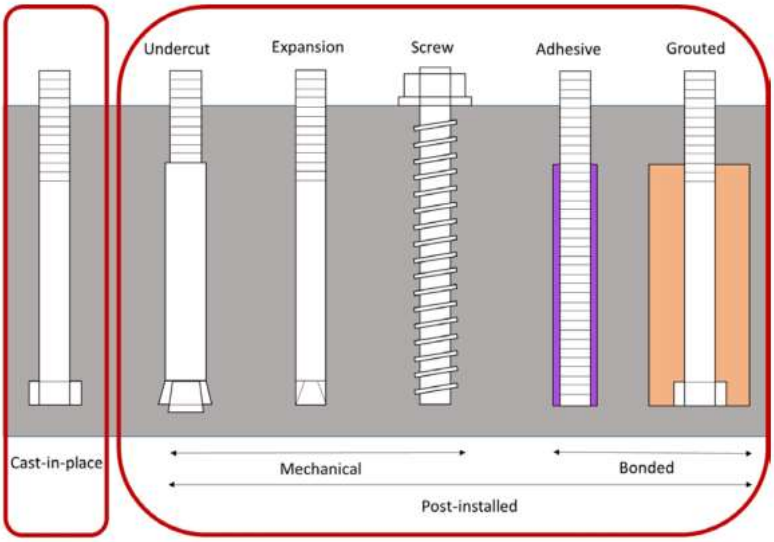
c1) Angkur bertakik (*expansion anchors*)

c2) Angkur terkontrol puntir tipe *stud*

d) Angkur terkontrol perpindahan (*self-drilling anchors*)

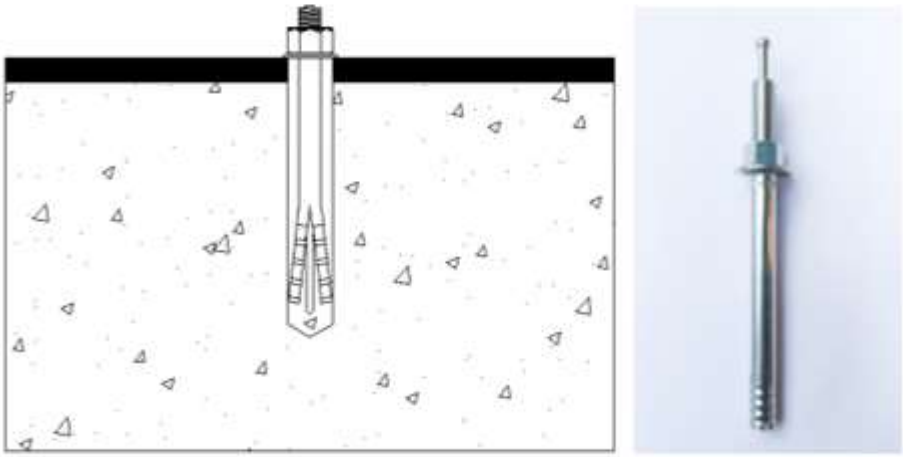
Semua jenis angkur pasca pasang adalah produk pabrik yang dibuat berdasarkan riset. Keunggulan dari angkur pasca pasang ini adalah fleksibilitas waktu pemasangan dan memudahkan jadwal konstruksi.

Menurut Zhao Chen 2018, angkur beton dibagi menjadi dua kategori besar angkur *cast in place* dan *post installed* (Gambar 2.4) sesuai dengan waktu pemasangan. Kategori kedua selanjutnya diklasifikasikan ke dalam sub-kategori jangkar terikat dan mekanis. Kelompok *bonded anchor* termasuk angkur adesif dan *grouted anchor*. Grup terakhir atau *mechanical anchor* termasuk *undercut, expansion*, dan *screw anchors*. Dibandingkan dengan angkur *cast in place*, angkur *post installed* memiliki kelebihan fleksibilitas dalam waktu pemasangan dan lokasi ketika rencana pemasangan perlu disesuaikan.



Gambar 2.8. Jenis Angkur Menurut Cara Pemasangannya (Chen,2018)

Angkur yang bisa memanjang (*expansion anchor*) adalah angkur pasca pasang yang disisipkan ke dalam beton yang sudah mengeras yang menyalurkan beban dari beton oleh tumpuan atau friksi langsung atau keduanya. Angkur yang bisa memanjang (*expansion*) mungkin dikendalikan puntir, dimana perpanjangan dicapai dengan puntir yang bekerja pada sekrup atau baut, atau dikendalikan perpindahan, dimana perpanjangan dicapai dengan gaya impak yang bekerja pada selongsong (*sleeve*) atau penyumbat (*plug*) dan perpanjangan dikendalikan oleh panjang perpindahan selongsong (*sleeve*) atau penyumbat (*plug*). (SNI, 2013)



Gambar 2.9. Angkur Ekspansi

Pada penelitian ini untuk angkur pasca pasang maupun cor di tempat menggunakan tipe angkur terkontrol perpindahan atau yang sering dikenal dengan angkur tipe ekspansi.

2.6 Mekanisme Transfer Beban Angkur *Post Installed*

Mekanisme transfer beban dari angkur pasca-pemasangan ditunjukkan pada Gambar 2.10. Untuk angkur berikat (*bonded anchor*), zat pengikat menyediakan ikatan kimia antara batang berulir dan beton (Gambar 2a). Untuk angkur *undercut*,

aksi *undercutting* di dekat ujung angkur menciptakan *interlock* mekanis antara angkur dan beton, sehingga menahan beban eksternal (Gambar 2b). Angkur ekspansi bergantung pada gaya ekspansi tinggi dan gaya gesekan untuk menahan beban eksternal. Gaya ekspansi dihasilkan ketika elemen ekspansi (lengan ekspansi atau segmen ekspansi) mengembang selama pemasangan angkur (Gambar 2c). Saat pemasangan angkur sekrup, benang angkur memotong ke dinding yang dibor, menciptakan *interlock* mekanis pada permukaan sepanjang ulir tertanam (Gambar 2d).

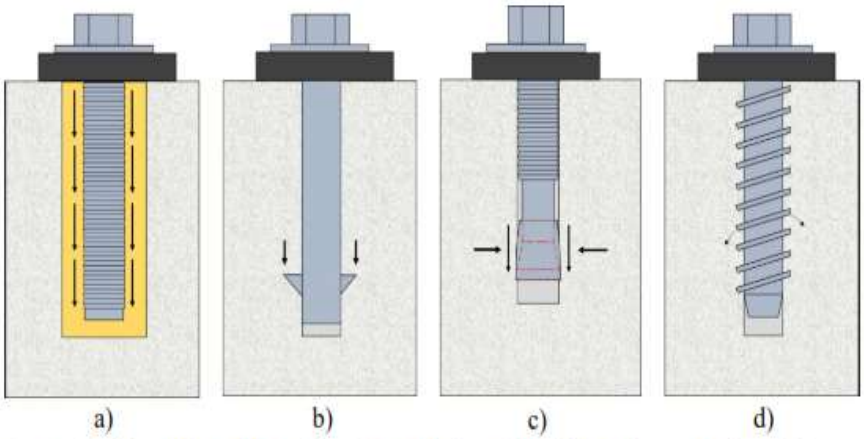


Figure 2: Mechanism of Load Transfer: (a) Bonded Anchor, (b) Undercut Anchor, (c) Expansion Anchor, and (d) Screw Anchor (after 2).

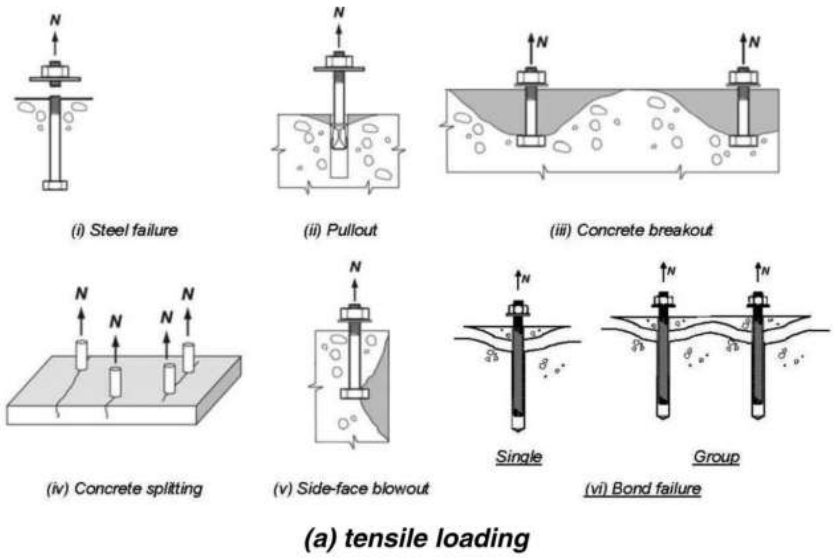
Gambar 2.10. Mekanisme Transfer Beban Angkur *Post Installed*

2.7 Pola Keruntuhan Baut Angkur Terhadap Tarik

Pada perencanaan struktur berbasis kuat batas, maka setiap pola keruntuhan perlu ditinjau. Kekuatan terkecil yang menentukan perilaku keruntuhan. Dengan konsep tersebut, maka perilaku keruntuhan yang terjadi dapat diprediksi terlebih dahulu dan dipastikan apakah keruntuhannya bersifat getas atau daktail, sehingga faktor keamanan yang sesuai dapat diberikan.

Angkur biasanya menunjukkan empat mode kegagalan yang mungkin terjadi ketika dimuat dalam tegangan aksial (tarik) (Gambar 2.7). Total perpindahan yang diukur pada permukaan beton terdiri dari perpindahan angkur yang berhubungan dengan beton (slip) ditambah deformasi pada bahan dasar dan komponen angkur. (Eligehausen et al., 2006)

Jika ada dua atau lebih baut angkur dipasang berdekatan dengan jarak kurang dari spasi kritisnya, maka pengaruh kelompok harus diperhitungkan dalam memperhitungkan kekuatannya. Selain itu, kekuatan tarik angkur dibatasi oleh jarak minimum dan jarak tepi seperti yang disyaratkan. (Dewobroto, 2015)



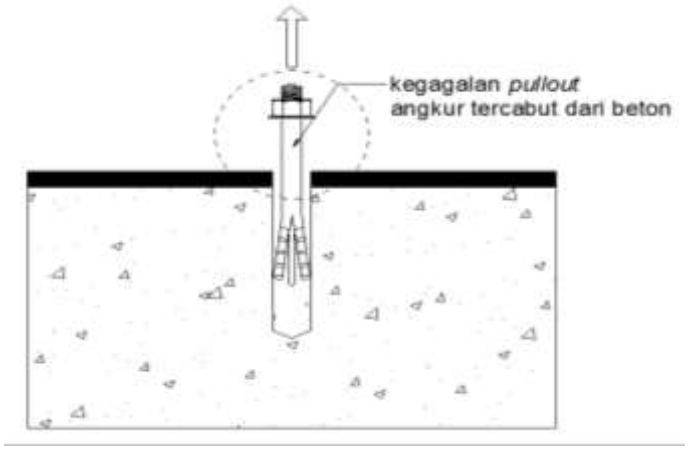
Gambar 2.11. Pola Kerusakan Baut Angkur Terhadap Gaya Tarik (ACI 2011)

Ketika kekuatan suatu kelompok angkur diatur oleh pecahnya beton, perilaku tersebut rapuh dan ada redistribusi kekuatan yang terbatas antara angkur yang kelebihan tekanan (*highly stressed*) dan kurang tekanan (*less stressed*). Maka, teori elastisitas diperlukan untuk digunakan dengan asumsi *attachment* yang

mendistribusikan beban ke angkur cukup kaku. Gaya di angkur dianggap sebanding dengan beban eksternal dan jaraknya dari sumbu netral kelompok angkur.

Kuat baut angkur berdasarkan berbagai kondisi batas dari pola keruntuhannya akan ditinjau secara terperinci sebagai berikut.

2.7.1 Kegagalan *Pullout* (Angkur Tercabut)



Gambar 2.12. Kegagalan *Pullout*

Kegagalan *pullout* dicirikan oleh angkur yang ditarik keluar dari lubang yang telah dibor, di mana beton di sekitar angkur dapat langsung rusak atau tidak. Untuk angkur ekspansi, jenis kegagalan ini terjadi ketika gaya ekspansi tidak cukup untuk menahan angkur pada kedalaman embedment yang dipasang untuk beban yang berkaitan dengan kegagalan kerucut beton. Kegagalan *pullout* juga dapat terjadi ketika ekspansi pada angkur tidak berkembang dengan baik atau mekanisme *interlock* tidak cukup memadai untuk menahan gaya tarik eksternal sehingga terjadi slip. (Eligehausen et al., 2006)

Kegagalan *pull-out* angkur ke beton dapat diasumsikan dengan menggunakan pendekatan teori *bond slip* yang terjadi pada tulangan ulir. Pada angkur ekspansi

bagian kerucut yang mengembang memegang peran *interlock* mekanis untuk menahan gaya eksternal yang disalurkan kedalam beton.

Untuk menentukan besarnya kapasitas cabut atau *pull-out* angkur ekspansi pada beton dapat dihitung menggunakan rumus pendekatan kuat lekatan, sebagai berikut:

$$\mathbf{P} = \boldsymbol{\pi} \cdot \boldsymbol{ld} \cdot \mathbf{d} \cdot \boldsymbol{\mu}$$

Menjadi:

$$\mathbf{Npg} = \boldsymbol{\pi} \cdot \mathbf{hef.\ da} \cdot \boldsymbol{\mu}$$

Dimana,

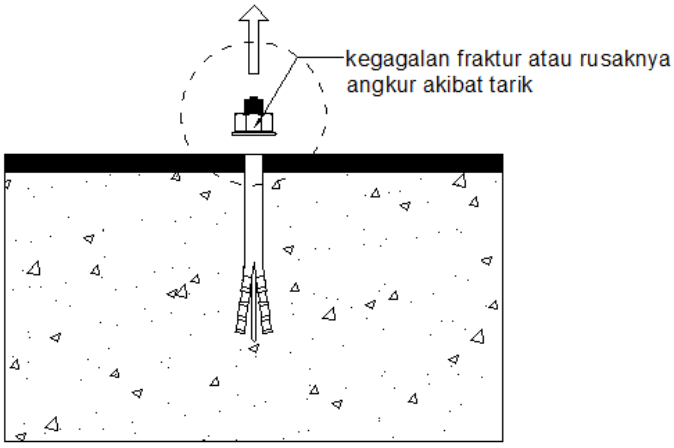
Npg = Kapasitas *pull-out* angkur (N)

hef = kedalaman efektif pemasangan angkur (mm)

da = diameter angkur (mm)

μ = tegangan lekat hasil pengujian (MPa)

2.7.2 Kegagalan Fraktur Angkur (*Steel Failure*)



Gambar 2.13. Kegagalan Fraktur Angkur

Pada perencanaan struktur berbasis kuat batas, maka setiap pola keruntuhan perlu ditinjau. Kekuatan terkecil yang menentukan perilaku keruntuhan. Dengan konsep tersebut, maka perilaku keruntuhan yang terjadi dapat diprediksi terlebih dahulu dan dipastikan apakah keruntuhannya bersifat getas atau daktail, sehingga faktor keamanan yang sesuai dapat diberikan.

Jika ada dua atau lebih baut angkur dipasang berdekatan dengan jarak kurang dari spasi kritisnya, maka pengaruh kelompok harus diperhitungkan dalam memperhitungkan kekuatannya. Selain itu, kekuatan tarik angkur dibatasi oleh jarak minimum dan jarak tepi seperti yang disyaratkan. (Dewobroto, 2015)

Kuat tarik rencana baut angkur øNsa ditentukan dari mutu bahan material dan dimensi fisik, yang dihitung sebagai berikut:

$$A_{seN} = \frac{\pi}{4} \cdot da^2$$

$$N_{sa} = A_{seN} \cdot f_{ua}$$

Dimana :

N_{sa} = kuat tarik nominal baut angkur (N)

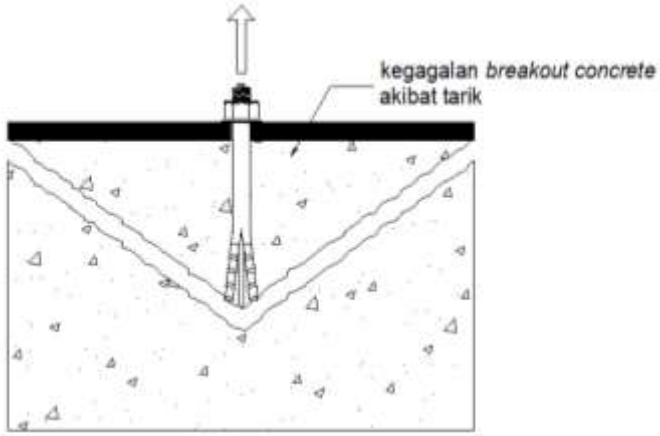
$A_{se,N}$ = luas penampang efektif terhadap tarik (mm^2)

da = diameter angkur (mm)

fua = tegangan ultimate angkur (MPa)

Mutu bahan material baja baut angkur bisa bervariasi, mulai dari buatan sendiri yang sederhana sampai pabrik yang didukung oleh riset yang khusus. Untuk jangka pendek dan beban tertentu, maka persyaratan daktail dari baut angkur tidak menjadi keharusan. Petunjuk Appendix D (ACI, 2011) ditujukan untuk struktur jangka panjang sehingga persyaratan daktilitas elemen menjadi pertimbangan penting selain kekuatan dan kekakuan. Untuk itu identifikasi tingkat daktilitas baut angkur adalah penting.

2.7.3 Kuat Jebol (*breakout*) Beton Terhadap Tarik



Gambar 2.14. Kegagalan *Breakout*

Kekuatan yang terkait dengan volume beton yang mengelilingi angkur atau kelompok angkur yang terlepas dari komponen struktur. (SNI, 2013) Umumnya terjadi karena keretakan pada beton pada bidang kerja, karena keretakan akan

mempengaruhi kuat tarik baut angkur saat pengujian tarik. Selain itu, mutu beton juga mempengaruhi hal tersebut.

A_{Nco} = 9 . h_{ef}^2

A_{Nc} = (c_{a1} + s_1 + 1,5h_{ef}) . (c_{a1} + s_2 + 1,5h_{ef})

Nb = $\frac{kc\ .\ \lambda a\ .\sqrt{fc'}.hef^{1,5}}{1000}$ *post installed*

Nb = $\frac{kc\ .\ \lambda a\ .\sqrt{f`c}\ .\ hef^{5/3}}{1000}$ *cast in place*

Ncbg = $\frac{A_{Nc}}{A_{Nco}}$. Nb

Dimana,

ANc = luas proyeksi kerusakan beton pada angkur kelompok untuk memperhitungkan kuat tarik (mm^2)

ANco = luas proyeksi kegagalan maksimum untuk kuat jebol akibat tarik (mm^2)

n = jumlah angkur

kc = 7 (*post installed*)

kc = 10 (*cast in place*)

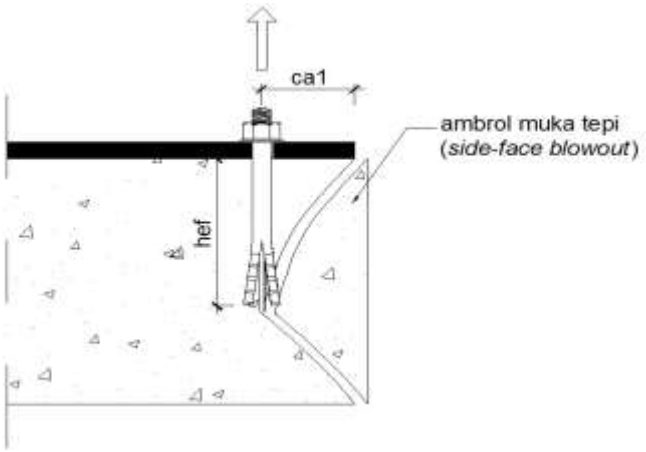
λa (untuk beton normal = 1)

fc’ = mutu beton (MPa)

Nb = kuat dasar jebol beton angkur terhadap tarik (N)

Ncbg = kuat jebol beton nominal terhadap tarik dari angkur grup (N)

2.7.4 Kuat Ambrol Muka Tepi (*Sideface Blowout*)



Gambar 2.15. Kegagalan *Sideface Blowout*

Kuat ambrol muka samping atau sering disebut dengsn (*side-face blowout*) adalah kekuatan angkur dengan penanaman yang lebih dalam tetapi selimut samping yang lebih tipis berhubungan dengan beton yang mengelupas pada muka sampingnya di sekitar kepala yang tertanam sementara itu tidak ada jebol yang berarti terjadi pada permukaan atas beton. (SNI, 2013)

$$\mathbf{Nsb} = \mathbf{13} \,.\, \mathbf{ca1} \,.\, \sqrt{\mathbf{Abrg}} \,.\, \boldsymbol{\lambda}\mathbf{a} \,.\, \sqrt{\mathbf{fc'}}$$

$$\mathbf{Nsbg} = \left(\mathbf{1} + \frac{\mathbf{s1}}{\mathbf{6} \,.\, \mathbf{ca1}}\right) \,.\, \mathbf{Nsb}$$

Dimana,

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

Nsbg = kuat ambrol muka tepi beton nominal terhadap tarik (group) (N)

s = jarak antar angkur (mm)

ca1 = jarak angkur ke tepi beton (mm)

fc = kuat tekan beton (MPa)

Abrg = luas permukaan angkur (mm^2)

2.8 Ketentuan Lain Dalam Perencanaan Baut Angkur ke Beton

Dalam merencanakan baut angkur untuk dipasang pada beton, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu baut angkur dipasang dengan jarak minimum 6d dari angkur lain (***s***) atau dari tepi beton (**c_{a1}**). Sedangkan kedalaman efektif angkur (**hef**) secara umum tidak boleh lebih dari 2/3 tebal komponen struktur.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis kapasitas tarik *hammer drive anchor* M10 x 120 mm dengan jarak angkur ke tepi beton kritis yaitu sesuai dengan syarat minimum pada SNI 2847:2013 melalui eksperimen pengujian tarik baut angkur, serta mengetahui kekuatan efektif yang dihasilkan pada pemasangan angkur dengan metode cor ditempat (*cast-in place*) dan pasca pasang (*post installed*).

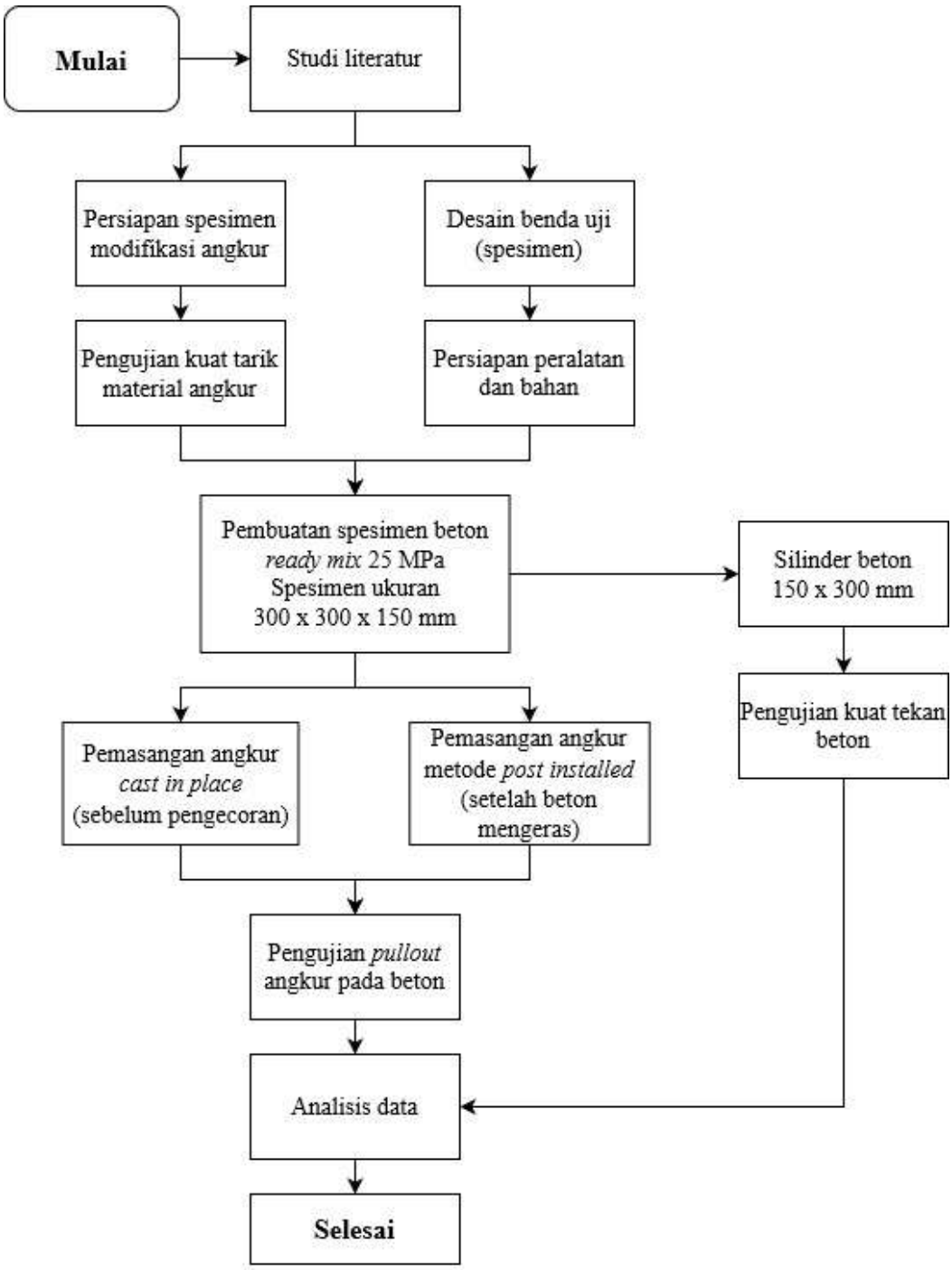
3.2 Waktu dan Tempat

Penelitian "Eksperimen *Pullout Test Hammer Drive Anchor* M10 x 120mm dengan Jarak Angkur Tepi Kritis Melalui Metode Pemasangan *Cast-in Place* dan *Post Installed*" yang dilaksanakan pada bulan Februari hingga Juni 2020.

Pengujian material kuat tarik angkur dilaksanakan di Laboratorium Bahan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Sedangkan untuk pembuatan benda uji (*specimen*) dan pengujian kuat tarik angkur dilaksanakan di Laboratorium Bahan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

3.3 Alur Penelitian

Berikut merupakan diagram alir dari tahapan penelitian:



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.4 Bahan dan Peralatan Penelitian

3.4.1 Bahan

Bahan yang diperlukan dalam penelitian antara lain:

1. Bekisting benda uji sebanyak 6 buah.
2. Beton *ready mix* f'c 25 MPa.
3. Hit anchor SANKO m10 x 120 mm sebanyak 24 buah untuk 6 sampel.
4. Tulangan baja polos ϕ6 mm.
5. Plat bujur sangkar tebal 12 mm dan 16 mm.
6. Beton *decking*.
7. Kawat bendrat.

3.4.2 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. *Truck mixer*

   Truck mixer merupakan alat yang digunakan untuk membawa campuran beton dari pabrik pembuatan *ready mix* (*batching plan*) ke lokasi pengecoran.

2. Kerucur Abrams

   Kerucut Abrams adalah alat yang digunakan untuk pengujian slump beton yang bertujuan untuk mengetahui konsistensi atau kekakuan dari campuran beton.

3. Cetakan silinder beton

   Cetakan silinder beton merupakan alat yang digunakan untuk mencetak silinder beton yang akan digunakan untuk sampel pengujian kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton. Biasanya cetakan silinder beton mempunyai ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

4. Batang Penusuk

Batang penusuk merupakan alat yang digunakan untuk pemadatan beton secara manual. Umumnya memiliki ukuran diameter 16 mm dengan panjang 60 cm.

5. *Capping*

   Digunakan untuk meratakan permukaan benda uji.

6. Cetok dan Sekop

   Alat bantu yang fungsinya untuk mengambil bahan material ataupun beton dan diisikan ke dalam bekisting supaya lebih efisien.

7. Timbangan dan Alat Ukur

   Timbangan digunakan untuk menimbang silinder beton sebelum dilakukan pengujian kuat tekan beton. Alat ukur yang dimaksud adalah penggaris atau meteran yang berfungsi sebagai alat ukur yang digunakan untuk mengukur ketinggian slump beton pada saat pengujian slump beton.

8. *Compression Testing Machine*

   Compression Testing Machine merupakan sebuah mesin uji yang digunakan untuk mengetahui kekuata tekan beton serta untuk mengetahui batas maksimum tekanan yang dapat diterima oleh beton.

9. *Universal Testing Machine*

   Universal Testing Machine merupakan sebuah mesin uji yang dapat digunakan untuk berbagai jenis pengujian, salah satunya adalah pengujian tarik. Pada penelitian ini, *Universal Testing Machine* digunakan untuk pengujian tarik angkur untuk mengetahui kapasitas tarik material angkur sebelum digunakan sebagai benda uji.

10. *Loading Frame*

Loading Frame merupakan alat uji yang digunakan untuk menguji specimen. *Loading frame* di *setting* sedemikian rupa supaya bisa digunakan untuk *pullout test* atau pengujian tarik angkur pada beton.

11. *Hydraulic Jack*

Pada penelitian ini, *hydraulic jack* berfungsi sebagai alat pendongkrak untuk menarik plat besi yang dikaitkan dengan angkur. Besarnya gaya yang diberikan oleh *hydraulic jack* disalurkan pada *load cell* untuk diukur seberapa besar gaya yang diberikan untuk mencabut angkur dari beton.

12. *Load Cell*

Load cell berfungsi sebagai sensor yang bekerja secara mekanik dengan menggunakan tekanan yang kemudian diukur dan dijadikan referensi beban. Pada penelitian ini, *load cell* diletakkan dibawah *hydraulic jack*, jadi *load cell* berfungsi untuk menerima beban dari *hydraulic jack* untuk mengukur nominal kuat cabut angkur pada beton.

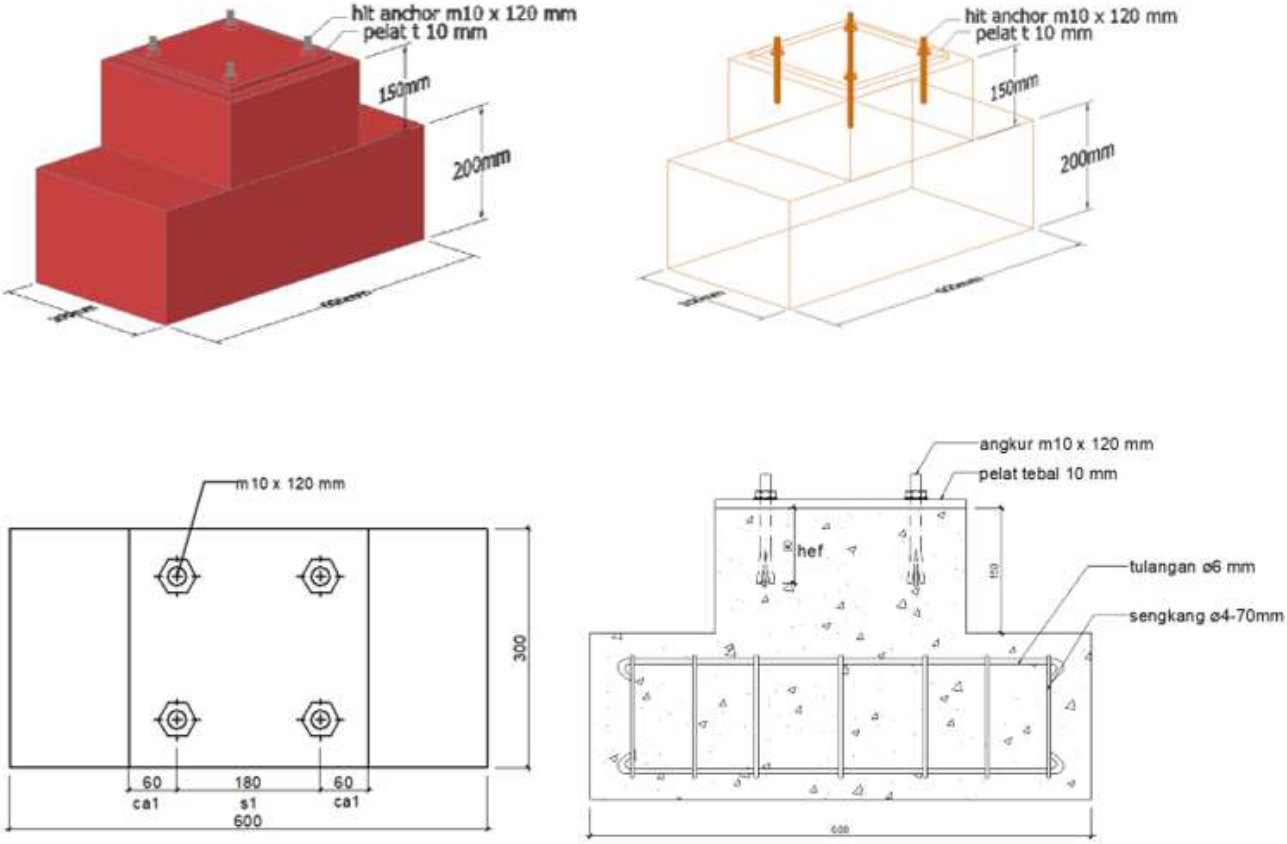
13. *Dial Gauge*

Dial gauge digunakan sebagai alat untuk menghitung seberapa besar panjang tercabutnya angkur dari beton akibat gaya tarik. Alat ini dipasang di tengah-tengah plat diantara angkur. Secara bertahap, besarnya angkur yang tercabut dapat diketahui seiring dengan besarnya gaya tarik yang diberikan. Pada penelitian ini *dial gauge* digunakan dengan ketelitian 0,01 mm.

3.5 Benda Uji

Benda uji yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Benda uji untuk pengujian tarik angkur. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya kuat leleh *fy* dan kuat ultimate fu angkur yang akan digunakan sebagai benda uji. Pengujian ini memerlukan angkur sebanyak 4 buah untuk mendapatkan hasil rata-rata.
2. Benda uji untuk pengujian kuat tekan beton menggunakan beton silinder dengan ukuran 150 x 300 mm sebanyak 3 buah.
3. Benda uji untuk pengujian kuat tarik belah beton menggunakan beton silinder dengan ukuran 150 x 300 mm sebanyak 3 buah.
4. Benda uji untuk pengujian cabut angkur (pullout test) pada beton sebanyak 3 buah untuk metode *cast in place* dan 3 buah untuk metode *post installed*. Dengan dimensi benda uji berbentuk balok dengan ukuran 300x300x150 mm sebagai specimen yang di teliti dan balok ukuran 600x300x200 mm sebagai alat bantu pengujian serta dilengkapi dengan tulangan ϕ6 mm pada bagian bawah agar tidak terjadi kerusakan pada beton.



Gambar 3.2. Detail Benda Uji

3.6 Metode Pengujian

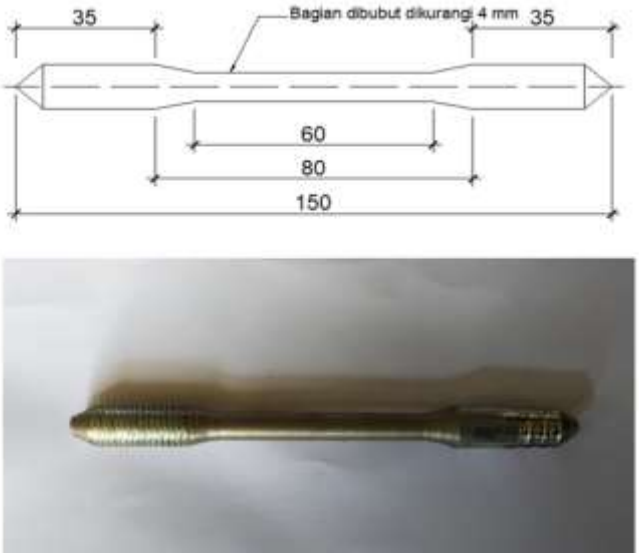
3.6.1 Pengujian Material Kuat Tarik Angkur

Pengujian ini dilakukan untuk memperoleh kuat leleh *fy* angkur dan kuat ultimate fu dari angkur yang digunakan sebagai benda uji. Pengujian tarik baut angkur dilaksanakan di Laboratorium Bahan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Adapun langkah-langkah yang perlu diperhatikan dalam pengujian tarik baut angkur adalah sebagai berikut:

1. Siapkan baut angkur *hammer drive anchor* (hit anchor M12 x 150 mm) merek SANKO dengan ukuran diameter 12 cm dan panjang 15 cm. Menggunakan angkur m12 x 150 mm karena proses pembubutan benda uji lebih efisien dan tidak memerlukan banyak tulangan untuk penyambungan serta mempermudah proses pengujian.

Gambar 3.3. Benda Uji Angkur

2. Memodifikasi specimen dan disesuaikan dengan alat uji yaitu dengan membuat angkur bagian tengah diperkecil diameternya dengan cara dibubut, dan pada ujung angkur dibuat runcing supaya memperluas bidang las. Panjang ukuran angkur yang dibubut dijelaskan pada (Gambar 3.4).

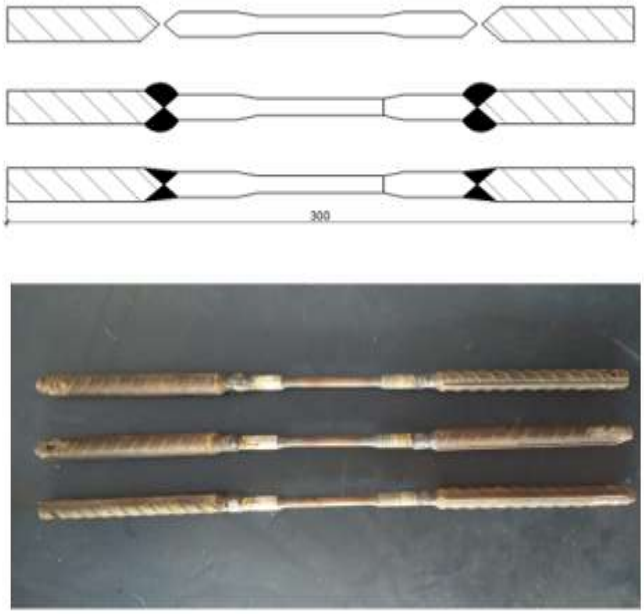


Gambar 3.4. Baut Angkur Setelah Dibubut

3. Karena menyesuaikan mesin uji yang mengharuskan panjang specimen minimal 25 cm. Maka dilakukan penyambungan angkur menggunakan besi D16 yang diruncingkan dibagian ujungnya. Ukuran dan detail panjang besi tulangan dijelaskan pada (Gambar 3.5).

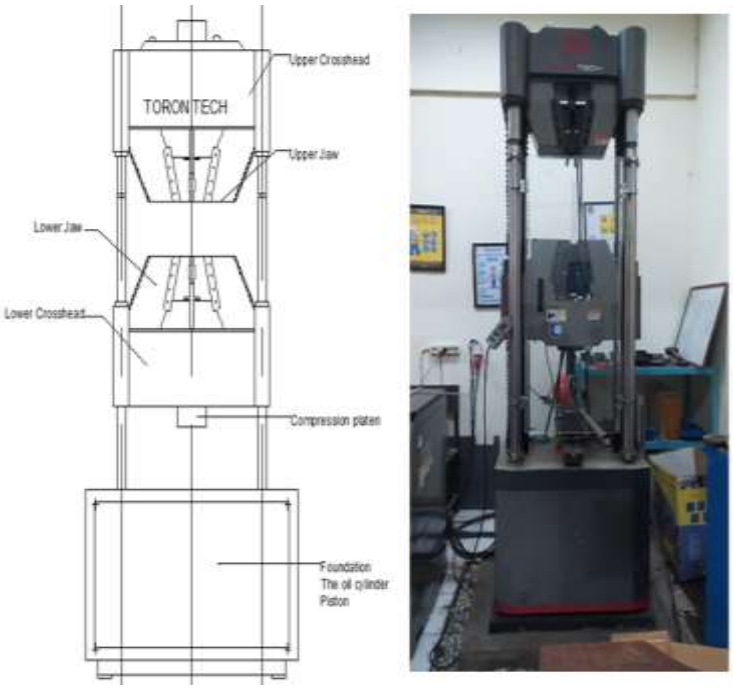
Gambar 3.5. Besi Tulangan Ulir D16

4. Benda uji angkur dan besi tulangan disambung dengan cara di las menggunakan las listrik yang dilakukan di Bengkel Las Sederhana, Barito, Kaligawe, Kota Semarang. Sebelum dilakukan pengelasan, angkur dan besi tulangan digabungkan tetapi tidak boleh rapat. Diberi sedikit jarak dengan tujuan memperluas bidang las. Tujuan dari penyambungan angkur dengan besi tulangan adalah agar menghasilkan benda uji dengan panjang 30 cm, karena batas minimum panjang benda uji pada mesin UTM sebesar 25 cm.



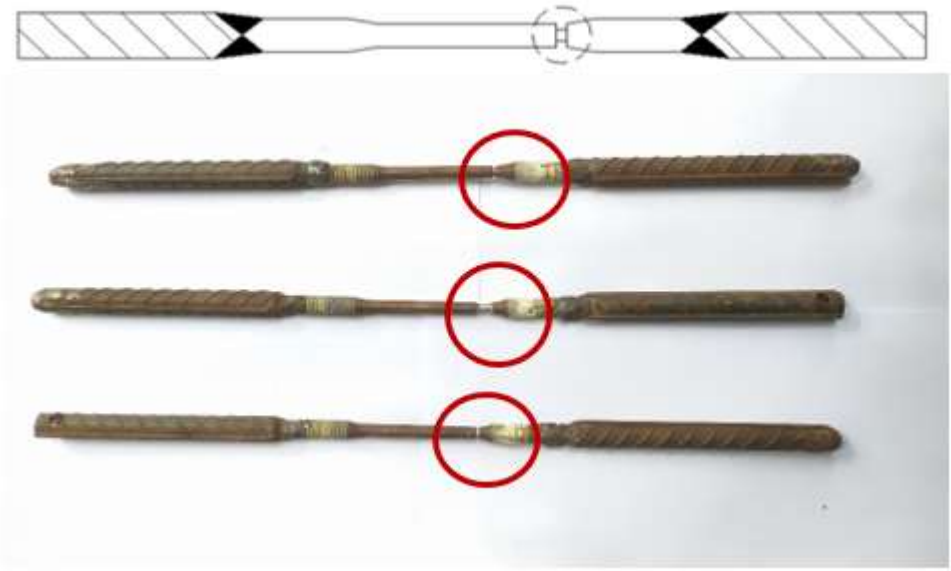
Gambar 3.6. Benda Uji Angkur

5. Melakukan pengujian material kuat tarik baut angkur di Laboratorium Bahan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang, menggunakan mesin UTM (*Universal Testing Machine*) merk Toron Tech.



Gambar 3.7. Mesin Uji Tarik (UTM)

6. Setelah dilakukan pengujian, diperoleh hasil rata-rata *fy* 330 MPa dan fu 380 MPa. Dengan kerusakan benda uji seperti Gambar 3.8.



Gambar 3.8. Baut Angkur Setelah Diuji

Kerusakan atau putusnya angkur terdapat pada bagian pinggir, hal ini dikarenakan adanya perubahan gaya pada penampang besar ke penampang kecil, sehingga terjadi konsentrasi tegangan pada daerah tersebut. Selain itu angkur telah mengalami perlakuan yaitu angkur telah dibubut dan telah mengalami pengelasan, maka saat pengujian tarik area tersebut adalah yang terlemah.

3.6.2 Pengujian *Slump*

Pengujian *slump* bertujuan untuk menyediakan langkah kerja bagi para pengguna untuk menentukan *slump* dari beton semen hidrolis plastis. *Slump* merupakan suatu teknik untuk memantau homogenitas dan *workability* adukan beton segar dengan suatu kekentalan tertentu yang dinyatakan dengan satu nilai *slump*. Dalam kondisi laboratorium, dengan material beton yang terkendali secara ketat, nilai slump umumnya meningkat sebanding dengan nilai kadar air campuran beton, dengan demikian berbanding terbalik dengan kekuatan beton. Tetapi dalam

pelaksanaan di lapangan harus hati-hati, karena banyak faktor yang berpengaruh terhadap perubahan adukan beton pada pencapaian nilai slump yang ditentukan, sehingga hasil *slump* yang diperoleh di lapangan tidak sesuai dengan kekuatan beton yang diharapkan (SNI, 2008). Adapun peralatan dan langkah-langkah pengujiannya menurut SNI 1972:2008 sebagai berikut:

a. Alat dan bahan
   1. Kerucut Abrams (diameter atas 10 cm, diameter bawah 20 cm, tinggi 30 cm).
   2. Batang penusuk (diameter 16 mm, panjang 60 mm, ujung ditumpulkan).
   3. Alas rata tidak menyerap air.
   4. Beton segar
b. Langkah kerja
   1. Basahi cetakan dan letakkan di atas permukaan datar, lembab, tidak menyerap air dan kaku. Cetakan harus ditahan secara kokoh di tempat selama pengisian, oleh operator yang berdiri di atas bagian injakan. Isi cetakan dalam tiga lapis, setiap lapis sekira sepertiga dari volume cetakan.
   2. Padatkan setiap lapisan dengan 25 tusukan menggunakan batang pemadat. Sebarkan penusukan secara merata di atas permukaan setiap lapisan. Untuk lapisan bawah akan ini akan membutuhkan penusukan secara miring dan membuat sekira setengah dari jumlah tusukan dekat ke batas pinggir cetakan, dan kemudian lanjutkan penusukan vertikal secar spiral pada seputar pusat permukaan. Padatkan lapisan bawah seluruhnya hingga kedalamannya. Hindari batang penusuk mengenai pelat dasar cetakan. Padatkan lapisan

kedua dan lapisan atas seluruhnya hingga kedalamannya, sehingga penusukan menembus batas lapisan di bawahnya.

3. Setelah lapisan atas selesai dipadatkan, ratakan permukaan beton pada bagian atas cetakan dengan cara menggelindingkan batang penusuk di atasnya. Lepaskan segera cetakan dari beton dengan cara mengangkat dalam arah vertikal secara-hati-hati. Angkat cetakan dengan jarak 300 mm dalam waktu 5 ± 2 detik tanpa gerakan lateral atau torsional. Selesaikan seluruh pekerjaan pengujian dari awal pengisian hingga pelepasan cetakan tanpa gangguan, dalam waktu tidak lebih dari 2 ½ menit.
4. Setelah beton menunjukkan penurunan pada permukaan, ukur segera slump dengan menentukan perbedaan vertikal antara bagian atas cetakan dan bagian pusat permukaan atas beton. Bila dua pengujian berturutan pada satu contoh beton menunjukkan keruntuhan geser beton pada satu sisi atau sebagian massa beton, kemungkinan adukan beton kurang plastis atau kurang kohesif untuk dilakukan pengujian *slump*. Abaikan pengujian tersebut dan buat pengujian baru dengan porsi lain dari contoh.

3.6.3 Pengecoran Benda Uji

Setelah membuat desain benda uji, langkah selanjutnya adalah membuat bekisting, tulangan, dan dilanjutkan dengan pengecoran. Adapun langkah-langkah pengecoran benda uji adalah sebagai berikut:

1. Siapkan bekisting sebanyak 6 buah yang akan diisi oleh adukan beton, serta siapkan silinder beton sebanyak 6 buah untuk pengujian tekan dan tarik beton. Letakkan bekisting yang sudah diberi tulangan dan silinder pada tempat yang luas untuk mempermudah pengecoran, serta pastikan alas dalam keadaan rata dan tidak miring.

Gambar 3.9. Bekisting

2. Masukkan beton *decking* kedalam bekisting yang berfungsi sebagai selimut beton dan untuk menjaga tulangan agar sesuai dengan posisi yang diinginkan.
3. Pasang angkur pada bekisting untuk angkur metode *cast in place* atau cor di tempat. Pasang angkur sebanyak benda uji yang diperlukan. Pada penelitian ini, untuk metode *cast in place* diperlukan benda uji sebanyak 3 buah. Pastikan angkur dalam keadaan lurus dan tidak miring.
4. Sebelum melakukan pengecoran, lakukan pengujian slump untuk mengetahui apakah beton tersebut layak digunakan. Hasil uji slump menunjukkan angka 12 cm, artinya beton segar layak digunakan karena maksimal nilai slump untuk balok adalah 15 cm.

5. Tuangkan adukan beton kedalam silinder beton sebanyak 6 sampel untuk pengujian kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton.
6. Tuangkan adukan beton kedalam bekisting. Ratakan adukan menggunakan batang penusuk supaya bekisting terisi penuh dan tidak ada rongga. Setelah itu, lakukan pemadatan di sekeliling bekisting.
7. Setelah semua bekisting terisi dengan adukan beton segar, ratakan bagian permukaan beton dan dilanjutkan dengan proses *curing*.

Gambar 3.10. Perataan Permukaan Beton

3.6.4 Proses Perawatan (*Curing*)

Untuk menghindari penguapan air dari beton yang belum mengeras, tutup benda uji segera setelah pekerjaan akhir, lebih dipilih dengan pelat yang tidak menyerap dan tidak reaktif atau lembaran plastik yang kuat, awet, dan kedap air. Goni basah dapat digunakan untuk menutup, tetapi harus diperhatikan untuk menjaga goni tetap basah hingga benda uji dibuka dari cetakan. Letakkan lembaran plastik di atas goni akan melindungi goni untuk tetap basah. Lindungi permukaan luar cetakan papan dari kontak dengan goni basah atau sumber air lainnya

sedikitnya untuk 24 jam setelah silinder dicetak. Air dapat menyebabkan cetakan mengembang dan merusakkan benda uji pada umur awal. (SNI, 2011b)

Perawatan beton dilakukan dengan metode *water curing* yaitu dengan meletakkan beton ke dalam bak air yang ada di laboratorium setelah beton mengalami fase *hardening* / pelepasan bekisting. Silinder beton direndam sesuai dengan batas waktu yang telah ditentukan yaitu 28 hari untuk pengujian kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton.

Tujuan dilakukannya perawatan beton:

1. Untuk menjaga kadar air beton.
2. Agar mendapatkan kuat tekan dan kuat tarik belah beton yang maksimal.
3. Menjaga beton supaya tidak terjadi keretakan.

3.6.5 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk mengetahui besarnya mutu beton ($f'c$). Pengujian kuat tekan beton menggunakan sampel benda uji silinder dengan ukuran 150 mm x 300 mm. Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan pada saat umur beton telah memenuhi syarat yaitu 28 hari. Adapun langkah-langkah pengujiannya sebagai berikut:

1. Ambil benda uji dari bak perendaman. Benda uji harus dipertahankan dalam kondisi lembab dengan cara yang dipilih selama periode antara pemindahan dari tempat pelembaban dan pengujian. Benda uji harus diuji dalam kondisi lembab pada temperatur ruang.
2. Benda uji yang dirawat lembab harus dilakukan sesegera mungkin setelah pemindahan dari tempat pelembaban.

3. Menentukan berat dan ukuran benda uji.
4. Melapisi permukaan atas dan bawah benda uji dengan mortar belerang (*capping*).
5. Benda uji siap diperiksa.
6. Letakkan benda uji pada mesin tekan
7. Jalankan mesin tekan dengan melakukan pembebanan sampai benda uji hancur.
8. Mencatat beban maksimum yang terjadi selama pengujian.
9. Mendokumentasikan kerusakan benda uji.

Gambar 3.11. Kerusakan Benda Uji Tekan.

10. Hitung kuat tekan beton, yaitu besarnya beban persatuan luas.

3.6.6 Pengujian *Pullout* Angkur Terhadap Beton

Pengujian tarik baut angkur (*pullout test*) dilaksanakan setelah pengujian kuat tekan beton. Pengujian *pullout* dilakukan dengan menggunakan *load frame* yang di-*setting* dengan menambahkan *load cell* dan *hydraulic jack* di atasnya. Adapun langkah-langkah pengujian *pullout* sebagai berikut:

1. Lepaskan benda uji dari bekisting, bersihkan hingga tidak ada sisa bekisting yang menempel pada benda uji terutama pada bagian atas benda uji sebagai specimen yang akan diteliti.
2. Siapkan specimen yang akan diuji. Beri nama untuk membedakan benda uji *cast in place* dan *post installed.* Pukul angkur pada benda uji *cast in place* yang sudah tertanam dalam beton supaya bagian bawah angkur mengembang dan memberi peran *interlocking*. Lubangi benda uji menggunakan mesin bor sesuai dengan kedalaman yang diinginkan.

Gambar 3.12. Proses Pengeboran Benda Uji *Post Installed*

3. Setelah semua benda uji dilubangi, pasang angkur pada benda uji *post installed*. Pukul angkur pada benda uji *cast in place* dan *post installed* secara bersamaan. Pada penelitian ini, digunakan palu bulat seberat 4,7 kg untuk memukul angkur sampai angkur terkunci.

Gambar 3.13. Palu Bulat atau Palu Konde

4. Pindahkan benda uji ke atas *load frame* untuk di *setting* sebelum dilakukan pengujian.
5. Letakkan plat bujur sangkar dengan tebal 12 mm dan 16 mm pada bagian atas dan kuatkan dengan baut angkur. Setting benda uji dengan menambahkan rel penahan pada samping kanan kiri benda uji supaya benda uji tidak ikut tertarik keatas pada saat pengujian *pullout*. Kunci rel penahan dengan menggunakan baut seperti gambar 3.14.

Gambar 3.14. *Setting* Benda Uji.

6. Setting *load frame* dengan menambahkan *hydraulic jack* dan *load cell* pada bagian atas, dan tambahkan plat kecil yang berfungsi sebagai menarik plat benda uji dengan menambahkan as drat sepanjang 150 cm pada bagian kanan dan kiri plat dan dikunci dengan baut dan diperkuat dengan kawat bendrat.

Gambar 3.15. *Setting* Alat.

7. Pastikan semua alat dan benda uji sudah terkunci dan tidak geser. Pasangkan *dial gauge* diatas rel penahan, dan pastikan jarum *dial gauge* berada di tengah plat atau sentris.

Gambar 3.16. Pemasangan *Dial Gauge*.

8. Pengujian *pullout* siap dilaksanakan. Pompa *hydraulic jack* secara perlahan dan baca besarnya beban yang ditampilkan pada monitor. Setiap 500 kg dilakukan pembacaan beban dan pembacaan deformasi pada *dial gauge*.

Gambar 3.17. Pompa Hidrolis dan Monitor *Load Cell*.

9. Catat hasil pembacaan. Pengujian dihentikan saat beban sudah tidak bertambah lagi. Jika beton jebol maka pengujian dihentikan.
10. Setelah pengujian selesai, lepaskan semua baut dan plat. Ganti dengan benda uji yang lain serta ulangi langkah *setting* alat dan benda uji.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Spesimen

Terdapat beberapa pengujian yang nantinya menghasilkan data untuk dianalisis, diantaranya sebagai berikut:

1. Pengujian tarik material angkur SANKO M10 x 120 mm dilaksanakan di Laboratorium Bahan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.
2. Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan di *batching plant* PT. Bonindo Multi Daya, Semarang.
3. Pengujian specimen *pullout hammer drive anchor* M10 x 120 mm dilaksanakan di Laboratorium Bahan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

4.2 Tinjauan Teoritis

Pemasangan angkur pada perencanaan struktur kuat batas perlu ditinjau setiap pola keruntuhannya. Kerusakan yang ditinjau pada penelitian ini hanya berupa kerusakan *pullout* atau tercabutnya angkur dari beton. Menurut Appendix D ACI 318-14 terdapat 5 jenis kerusakan angkur akibat pembebanan tarik, dengan perhitungan secara teoritisnya sebagai berikut:

Data spesimen:

n = 4 buah

da = 10 mm

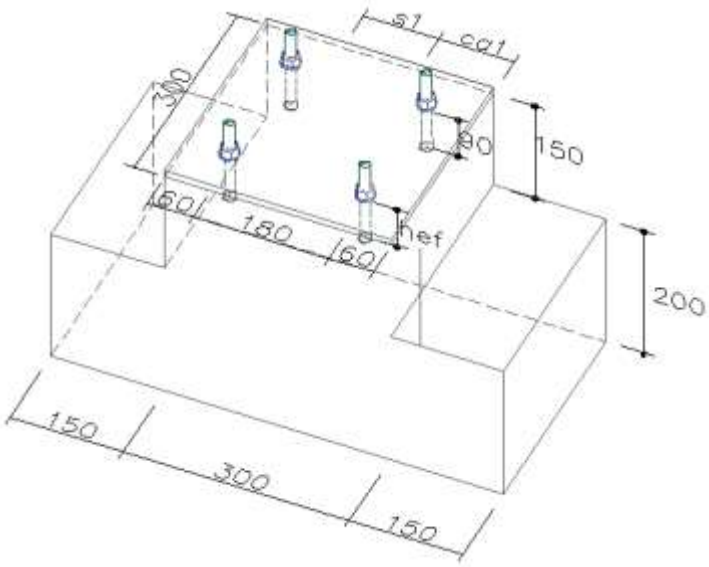
*f*ya = 337,5 MPa

*f*ua = 383,25 MPa

hef = 90 mm

s = 180 mm

ca1 = 60 mm



Gambar 4.1. Detail benda uji

Beton :

*f'*c = 25,63 MPa

Keterangan :

n = jumlah angkur

da = diameter angkur (mm)

*f*ya = tegangan leleh angkur (MPa)

*f*ua = tegangan ultimate angkur (MPa)

hef = kedalaman efektif angkur (mm)

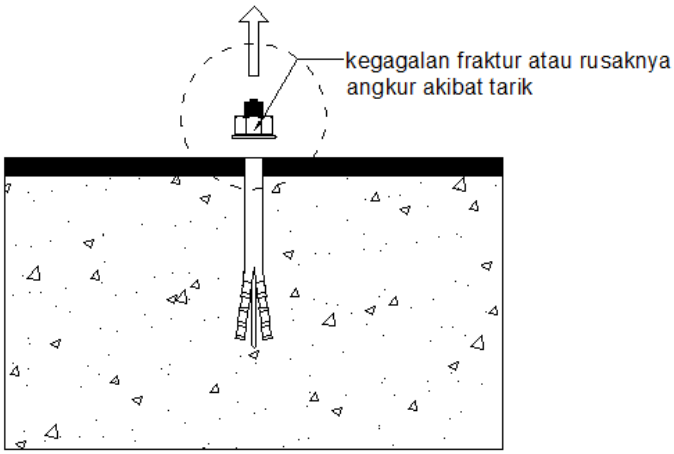
s = jarak antar angkur (mm)

ca1 = jarak angkur ke tepi beton (mm)

f'c = kuat tekan beton (MPa)

Perhitungan :

1. **Kerusakan fraktur pada angkur**



Gambar 4.2. Kegagalan Fraktur Pada Angkur

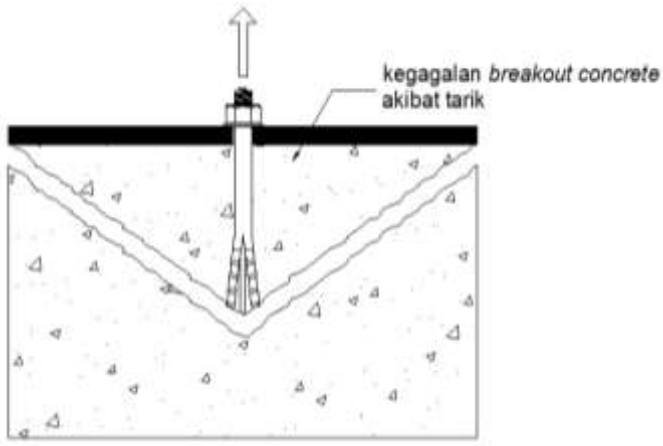
$A_{seN} = \frac{\pi}{4} \cdot da^2$

$= 78{,}54 \text{ mm}^2$

$N_{sa} = n \cdot A_{seN} \cdot fua$

$= 120{,}402 \text{ kN}$

2. **Kerusakan *breakout* pada beton**



Gambar 4.3. Kerusakan *Breakout*

a. Metode *post installed*

s_1, s_2 = 180 mm

c_{a1} = 60 mm

kc = 7

λa = 1

A_{Nco} = 9 . h_{ef}^2

= 7,29 . 10^4 mm^2

A_{Nc} = (c_{a1} + s_1 + 1,5h_{ef}) . (c_{a1} + s_2 + 1,5h_{ef})

= 1,406 . 10^5 mm^2

A_{Nc} < n . AN_{co} (OK)

Nb = $\frac{kc\ .\ \lambda a\ .\sqrt{fc'}.hef^{1,5}}{1000}$

= 30,258 kN

Ncbg = $\frac{ANc}{ANco}$. Nb

= 58,368 kN

b. Metode *cast in place*

s_1, s_2 = 180 mm

c_{a1} = 60 mm

kc = 10

λa = 1

A_{Nco} = $9 . h_{ef}^2$

= $7,29 . 10^4$ mm^2

A_{Nc} = $(c_{a1} + s_1 + 1,5h_{ef}) . (c_{a1} + s_2 + 1,5h_{ef})$

= $1,668 . 10^5$ mm^2

$A_{Nc} < n . AN_{co}$ (OK)

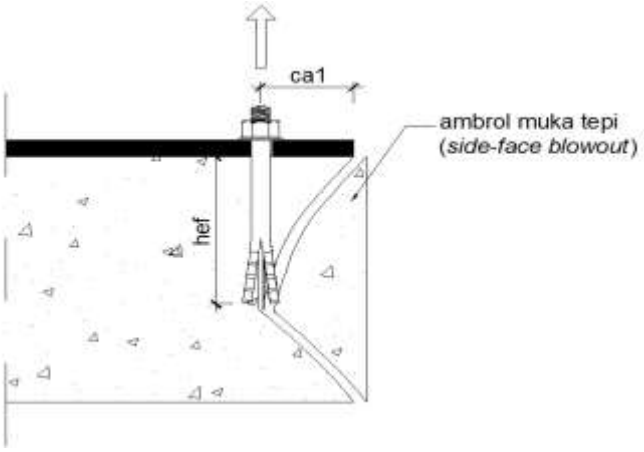
$$Nb = \frac{kc . \lambda a . \sqrt{f`c} . hef^{5/3}}{1000}$$

= 91,505 kN

$$Ncb = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} . Nb$$

= 176,514 kN

3. Kerusakan *side face blowout* pada beton



Gambar 4.4. Kerusakan *Sideface blowout*

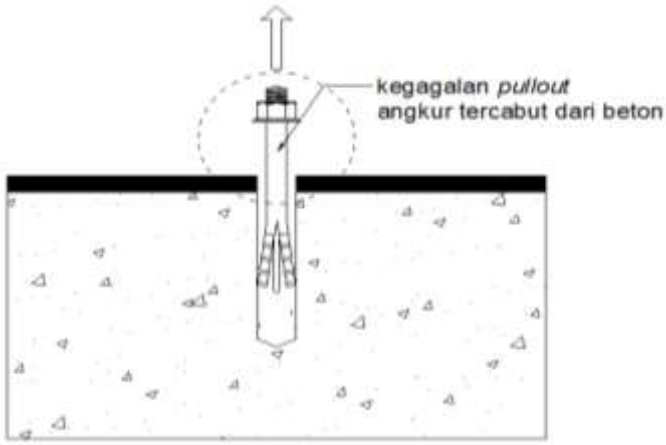
Nsb $= 13 \,.\, ca1 \,.\, \sqrt{Abrg} \,.\, \lambda a \,.\, \sqrt{fc'}$

$= 34{,}996$ kN

Nsbg $= (1 + \frac{s1}{6 \,.\, ca1}) \,.\, Nsb$

$= 52{,}493$ kN

4. Kegagalan *pullout*



Gambar 4.5. Kegagalan *Pullout*

a. Metode *cast in place*

h_1 = 75 mm

h_2 = 15 mm

d_{a1} = 10 mm

d_{a2} = 13 mm

μ_1 = 1,99 MPa (tabel 4.3)

A_1 $= \pi \,.\, d_{a1} \,.\, h_1$

$= 2356{,}194$ mm^2

A_2 $= \pi \,.\, \left(\frac{d_{a1}+d_{a2}}{2}\right) \,.\, h_2$

= 541,925 mm^2

As = $A_1 + A_2$

= 2898,119 mm^2

Npg = $\frac{n \,.\, As \,.\, \mu 1}{1000}$

= 23,069 kN

b. Metode *post installed*

h_1 = 75 mm

h_2 = 15 mm

d_{a1} = 10 mm

d_{a2} = 13 mm

μ_2 = 1,63 MPa (tabel 4.4)

A_1 = $\pi \,.\, d_{a1} \,.\, h_1$

= 2356,194 mm^2

A_2 = $\pi \,.\, \left(\frac{d_{a1}+d_{a2}}{2}\right) \,.\, h_2$

= 541,925 mm^2

As = $A_1 + A_2$

= 2898,119 mm^2

Npg = $\frac{n \,.\, As \,.\, \mu 2}{1000}$

= 18,896 kN

Dari hasil perhitungan teoritis dapat dilihat bahwa hasil terendah dalam perencanaan pengujian tarik angkur pada beton terdapat pada perhitungan *pullout* dengan kuat cabut nominal angkur *cast in place* sebesar 23,069 kN dan kuat cabut nominal angkur *post installed* sebesar 18,896 kN, sehingga rencana kegagalan pada pengujian tarik angkur beton adalah *pullout failure.*

4.3 Analisis Data

4.3.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Material Angkur

Pengujian kuat tarik material angkur menggunakan hit anchor SANKO M10 x 120 mm dilakukan untuk memperoleh kuat leleh *fy* angkur dan kuat ultimate fu dari angkur yang digunakan sebagai benda uji. Pengujian tarik baut angkur diuji menggunakan UTM (*Universal Testing Machine*) di Laboratorium Bahan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Kuat Tarik Angkur

Benda uji	Do (mm)	L (mm)	ΔL (mm)	fy (MPa)	fu (MPa)	Regangan
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 angkur pada tabel 4.1. menunjukkan bahwa, hasil pengujian kuat tarik material angkur mempunyai fy sebesar 337,5 MPa dan fu sebesar 383,25 MPa dengan regangan rata-rata sebesar 1,15%.

4.3.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan untuk mengetahui kekuatan tekan beton yang digunakan untuk penelitian terkait. Pada penelitian ini menggunakan

beton *ready mix* dengan kuat tekan yang direncanakan adalah f'c 25 MPa. Pengujian kuat tekan beton menggunakan beton silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, untuk sampel pengujian tekan beton sebanyak 3 sampel. Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan dengan cara beton di tekan menggunakan *Compression Testing Machine* yang dilaksanakan di *batching plant* PT. Bonindo Multi Daya, Kec. Ungaran Timur, Kota Semarang.

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

No.	Benda Uji	Umur (hari)	Berat (kg)	Gaya Tekan (ton)	Perkiraan Tekan 28 hari (kg/cm2)	Konversi fc (MPa)
1	Sampel 1	40	12,72	66,8	363,74	29,6
2	Sampel 2	40	11,96	52,5	285,99	23,2
3	Sampel 3	40	12,47	54,6	297,10	24,1
				Rata-rata	315,61	25,63

Pada penelitian ini, pengujian kuat tekan beton dilakukan pada saat beton berumur 40 hari, pada umumnya kuat tekan beton mencapai 100% pada saat beton berumur 28 hari. Berdasarkan hasil kuat tekan beton yang ditunjukkan pada tabel 4.2. dapat diketahui bahwa mutu beton rata-rata 25,63 MPa, hal ini sesuai dengan kuat tekan beton yang telah direncanakan yaitu 25 MPa.

Berdasarkan kuat tekan menurut (Mulyono, 2006) beton f'c 25,63 MPa merupakan beton normal yang mempunyai kuat tekan sekitar 15-40 MPa. Sedangkan menurut mutu dan kelas beton, hasil pengujian kuat tekan beton merupakan beton Kelas III merupakan beton untuk pekerjaan struktural.

4.3.3 Hasil Pengujian Tegangan Lekatan

Hasil dari pengujian tegangan lekatan ditunjukkan dalam tabel seperti berikut:

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Tegangan Lekat Metode *Cast in Place*

No.	Lo (mm)	Gaya (N)	Tegangan Lekat μ_1 (MPa)
1	90	6250	2,11
2	90	5500	1,85
3	90	6000	2,02
Rata-rata			1,99

Tabel 4.4. Hasil Pengujian Tegangan Lekat Metode *Post Installed*

No.	Lo (mm)	Gaya (N)	Tegangan Lekat μ_2 (MPa)
1	90	4500	1,52
2	90	5000	1,68
3	90	5000	1,68
Rata-rata			1,63

Dari tabel 4.3 dan 4.4 dapat diketahui bahwa hasil pengujian tegangan lekat antara angkur dengan beton adalah sebesar 1,99 MPa untuk metode *cast in place*, dan sebesar 1,63 MPa untuk metode *post installed*.

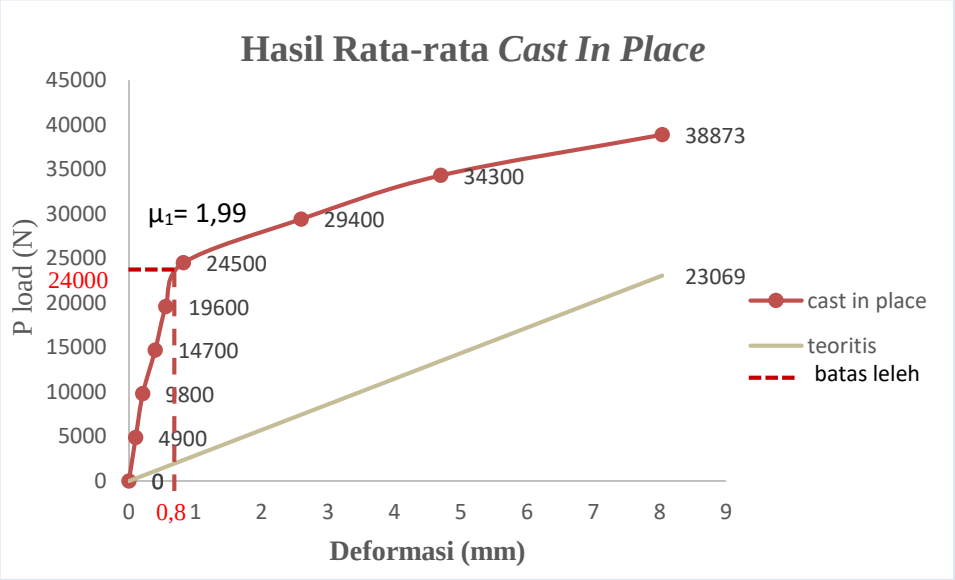
4.3.4 Hasil Pengujian *Pullout* Angkur Metode *Cast-in Place*

Pengujian *pullout* SANKO *hit anchor* pada beton dilaksanakan untuk mengetahui kekuatan cabut angkur pada metode pemasangan cor ditempat (*cast in place*). Selain itu, pengujian *pullout* dilakukan untuk mengetahui kerusakan yang terjadi akibat *pullout test* pada angkur maupun beton. Pengujian pullout dilaksanakan dengan menggunakan *Load Frame* yang berada di Laboratorium Bahan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Sampel yang

digunakan pada pengujian *pullout* berbentuk balok dengan tinjauan spesimen berdimensi 300 mm x 300 mm x 150 mm sebanyak 3 buah benda uji.

Tabel 4.5. Hasil Pengujian *Pullout* Angkur Metode *Cast-in Place*

No.	P load (kg)			P load (N)			Rata-rata	Panjang baut tercabut (mm)			Rata-rata
	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	4900	4900	4900	4900	0,15	0,06	0,1	0,10
3	1000	1000	1000	9800	9800	9800	9800	0,31	0,12	0,2	0,21
4	1500	1500	1500	14700	14700	14700	14700	0,6	0,23	0,36	0,40
5	2000	2000	2000	19600	19600	19600	19600	0,85	0,32	0,5	0,56
6	2500	2500	2500	24500	24500	24500	24500	1,25	0,5	0,72	0,82
7	3000	3000	3000	29400	29400	29400	29400	3,7	1,89	2,2	2,60
8	3500	3500	3500	34300	34300	34300	34300	6	4,1	4	4,70
9	4000	3900	4000	39200	38220	39200	38873	12	6,6	5,52	8,04



Gambar 4.6. Grafik Hubungan Kuat Cabut dan Deformasi Pada Uji *Pullout* Angkur Metode *Cast in Place*

Berdasarkan hasil pengujian *pullout* angkur metode *cast in place* didapatkan rata-rata kekuatan cabut nominal angkur sebesar 38,87 kN dan panjang angkur yang tercabut rata-rata sebesar 8,04 mm. Secara linier kekuatan cabut angkur pada

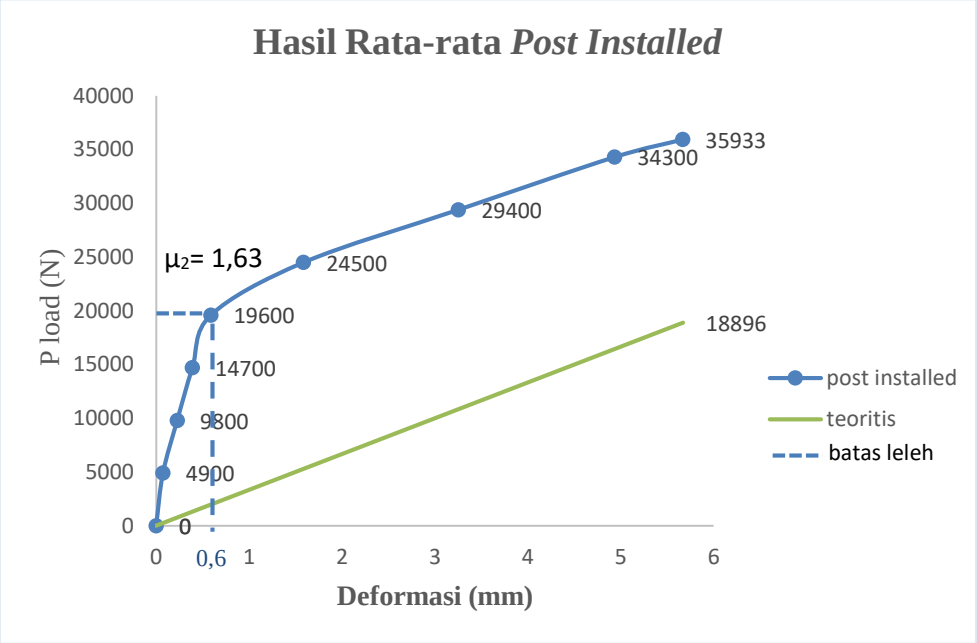
kondisi leleh adalah sebesar 24 kN dengan panjang angkur yang tercabut sebesar 0,8 mm. Dari grafik (Gambar 4.5) dapat dilihat bahwa hasil pengujian *pullout* angkur metode *cast in place* lebih besar dari hasil perhitungan teoritis. Kondisi elastis pada eksperimen menunjukkan hasil yang hampir sama dengan perhitungan teoritis (24000>23069 kN). Dengan demikian, rumus teoritis aman digunakan.

4.3.5 Hasil Pengujian *Pullout* Angkur Metode *Post Installed*

Pengujian *pullout* angkur pada beton dilaksanakan untuk mengetahui kekuatan cabut angkur pada metode pemasangan pasca pasang (*post installed*). Selain itu, pengujian *pullout* dilakukan untuk mengetahui kerusakan yang terjadi akibat *pullout test* pada angkur maupun beton. Pengujian pullout dilaksanakan dengan menggunakan *Load Frame* yang berada di Laboratorium Bahan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Sampel yang digunakan pada pengujian *pullout* berbentuk balok T dengan tinjauan specimen berdimensi 300 mm x 300 mm x 150 mm sebanyak 3 buah benda uji.

Tabel 4.6. Hasil Pengujian *Pullout* Angkur Metode *Post Installed*

No.	P load (kg)			P load (N)			Rata-rata	Panjang baut tercabut (mm)			Rata-rata
	P1	P2	P3	P1	P2	P3		P1	P2	P3	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
2	500	500	500	4900	4900	4900	4900	0,07	0,15	0	0,07
3	1000	1000	1000	9800	9800	9800	9800	0,18	0,33	0,17	0,23
4	1500	1500	1500	14700	14700	14700	14700	0,32	0,47	0,38	0,39
5	2000	2000	2000	19600	19600	19600	19600	0,53	0,62	0,62	0,59
6	2500	2500	2500	24500	24500	24500	24500	2,15	1,11	1,5	1,59
7	3000	3000	3000	29400	29400	29400	29400	3,52	2,7	3,54	3,25
8	3500	3500	3500	34300	34300	34300	34300	5,2	4,55	5,05	4,93
9	4000	3500	3500	39200	34300	34300	35933	7,4	4,55	5,05	5,67



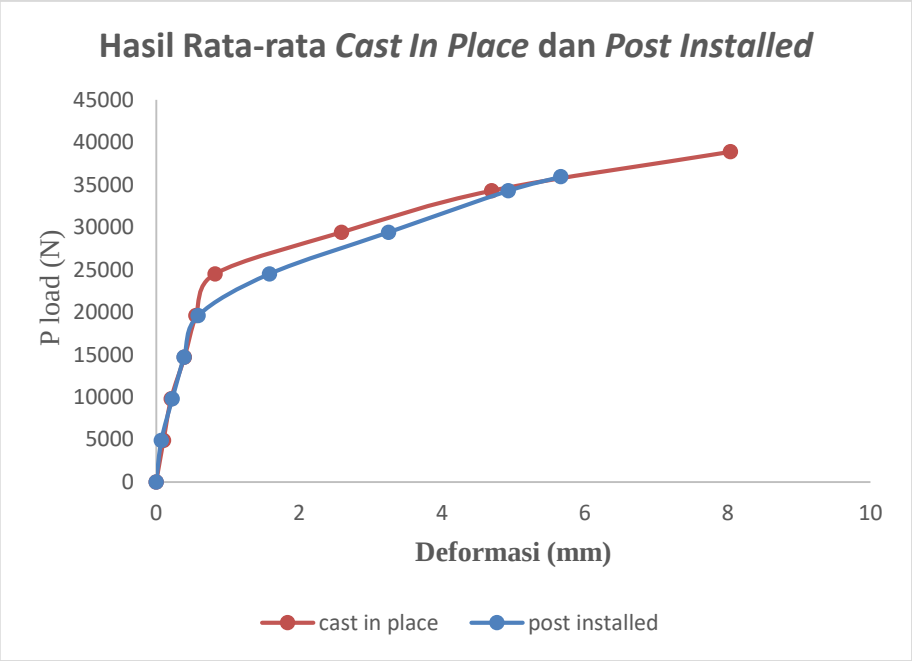
Gambar 4.7. Grafik Hubungan Kuat Cabut dan Deformasi Pada Uji *Pullout* Angkur Metode *Post Installed*

Berdasarkan hasil pengujian *pullout* angkur metode *post installed* didapatkan rata-rata kekuatan cabut nominal angkur sebesar 35,93 kN dan panjang angkur yang tercabut rata-rata sebesar 5,67 mm. Secara linier, kekuatan cabut angkur pada kondisi leleh adalah sebesar 20 kN dengan panjang angkur yang tercabut sebesar 0,6 mm. Dari grafik (Gambar 4.7) dapat dilihat bahwa hasil pengujian *pullout* angkur metode *post installed* lebih besar dari hasil perhitungan teoritis. Kondisi elastis pada eksperimen menunjukkan hasil yang hampir sama dengan perhitungan teoritis (20000>18896 kN). Dengan demikian, rumus teoritis aman digunakan.

4.4 Perbandingan Hasil Pengujian *Cast in Place* dan *Post Installed*

Dari hasil eksperimen, hasil pengujian *pullout* angkur metode *cast in place* lebih besar dari *post installed*. Ditunjukkan dengan rata-rata hasil *pullout test*

(38873 > 35933 N) dengan panjang deformasi angkur yang tercabut sebesar (8,04 > 5,67 mm). Angkur dengan metode pemasangan *cast in place* memiliki kekuatan cabut yang lebih besar dari angkur dengan metode pemasangan *post installed*, dikarenakan pada metode pemasangan *cast in place* angkur memiliki lekatan dengan beton sehingga mengalami friksi atau gesekan pada saat pengujian *pullout* sedangkan pada metode pemasangan *post installed* angkur terjadi gesekan sangat kecil dan hanya mengandalkan *interlock* pada bagian bawah angkur.



Gambar 4.8. Grafik Perbandingan Hasil Uji *Cast in Place* dan *Post Installed*

Dari grafik dapat diketahui bahwa kuat lekatan mempengaruhi *pullout failure*. Pemasangan angkur dengan metode *cast in place* lebih kuat menahan gaya tarik.

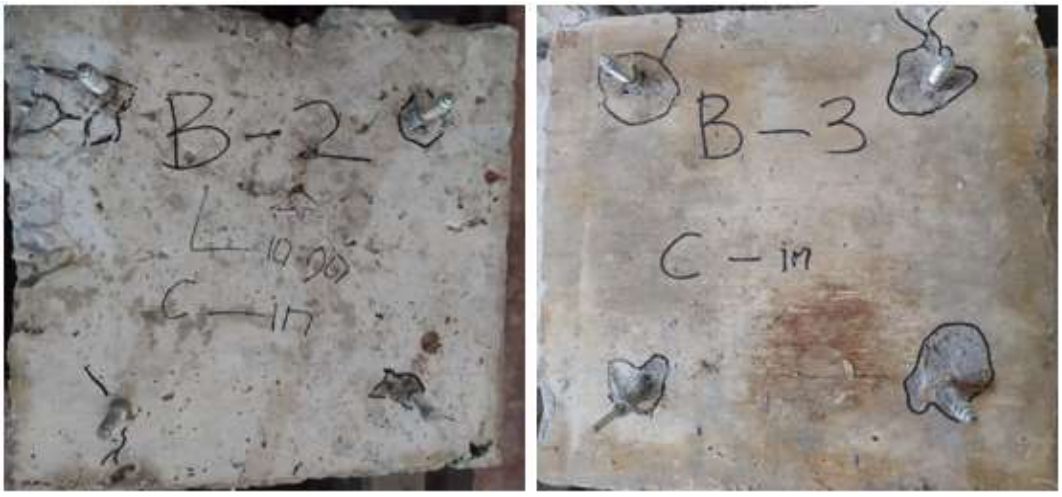
4.5 Pola Kerusakan

Jenis pola kerusakan rencana pada pengujian ini adalah tercabutnya angkur dari beton dan tidak terjadi kerusakan pada beton. Kerusakan beton yang dimaksud adalah tidak terjadi jebol atau rompal pada beton.

Hasil pengujian *pullout* angkur dengan metode *cast in place* terjadi kerusakan yaitu *pullout failure* atau tercabutnya angkur dari beton dan tidak terjadi kegagalan fraktur angkur. Dari 3 sampel specimen, terdapat 1 specimen (benda uji 1) yang mengalami kerusakan pada beton, yaitu ambrol pada tepi beton. Setelah di analisis lebih lanjut, kerusakan tersebut terjadi akibat kurang telitinya saat melubangi bekisting sehingga tidak presisi. Setelah di teliti lebih lanjut, terdapat 1 angkur yang jarak angkur ke tepi hanya 50 mm, sedangkan menurut desain benda uji jarak angkur ke tepi beton sebesar 60 mm. Dengan demikian, kerusakan yang terjadi pada specimen angkur dengan metode *cast in place* tidak sesuai dengan yang direncanakan.

Gambar 4.9. Kerusakan Beton Benda Uji 1 Metode *Cast in Place*

Sedangkan 2 sampel lain terjadi kerusakan angkur tercabut dari beton dan terdapat kerusakan pada permukaan beton di sekeliling angkur dan beton mengalami retak halus atau retak rambut, hal ini dikarenakan distribusi tegangan merata dari dasar angkur yang tertanam. Kerusakan seperti ini tidak dianggap kerusakan beton karena tidak membentuk kerucut beton. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.10.



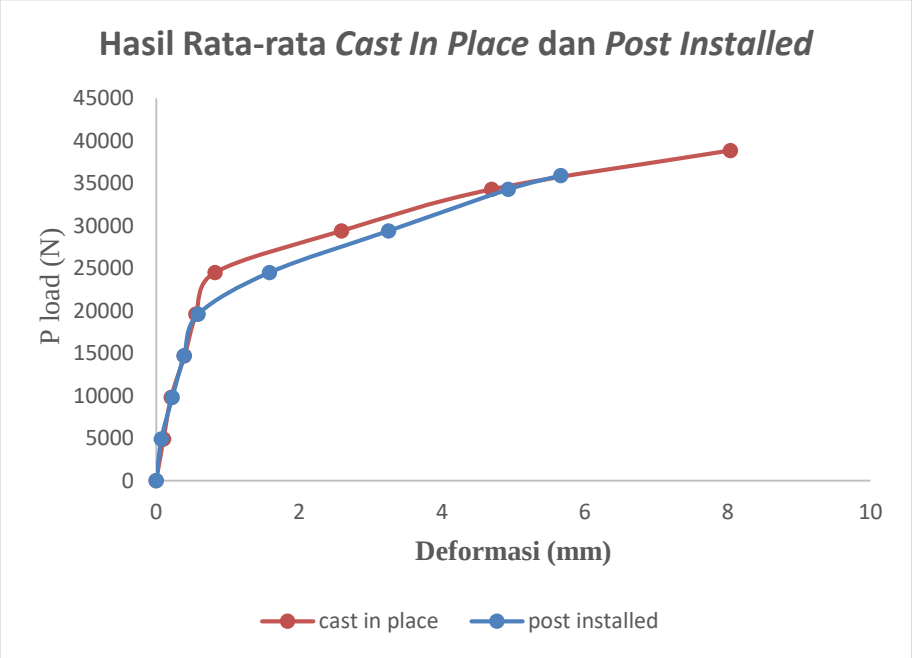
Gambar 4.10. Kerusakan Spesimen Metode *Cast in Place*

Hasil pengujian *pullout* angkur dengan metode *post installed* terjadi kerusakan yaitu *pullout failure* atau tercabutnya angkur dari beton. Tidak terjadi kerusakan pada beton, dan tidak mengalami keretakan pada beton. Dengan demikian, pola kerusakan pada pengujian *pullout* angkur metode *post installed* ini sesuai dengan rencana kegagalan yang diharapkan.

Gambar 4.11. Kerusakan Spesimen Metode *Post Installed*

4.6 Komparasi Hasil Pengujian

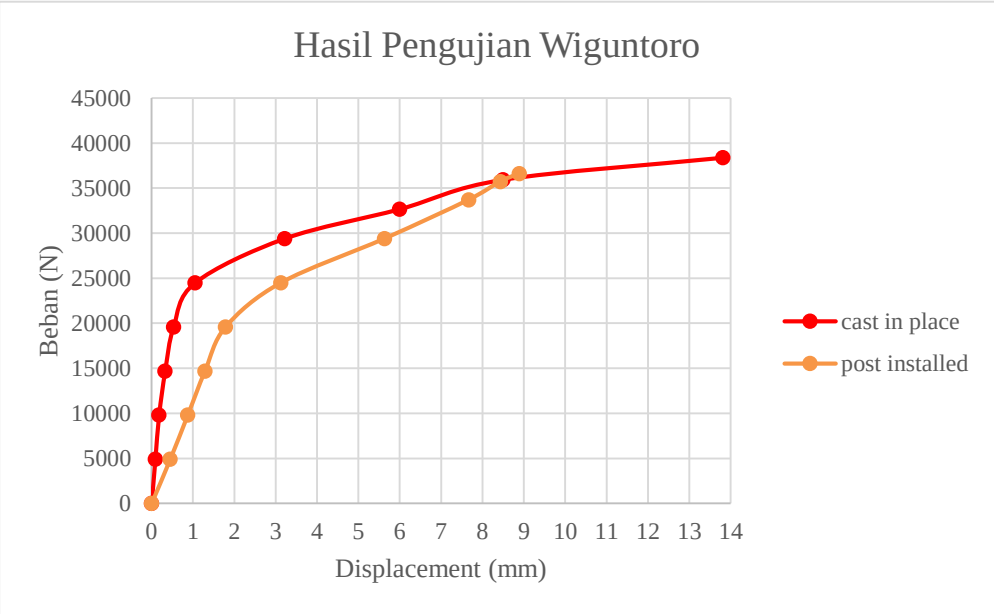
Berdasarkan hasil pengujian yang telah dianalisis, grafik linier hubungan antara kuat cabut angkur dan deformasi ditunjukkan sebagai berikut:



Gambar 4.12. Grafik Hasil Pengujian

s = 180 mm; ca = 60 mm; da = 10 mm; hef = 90 mm

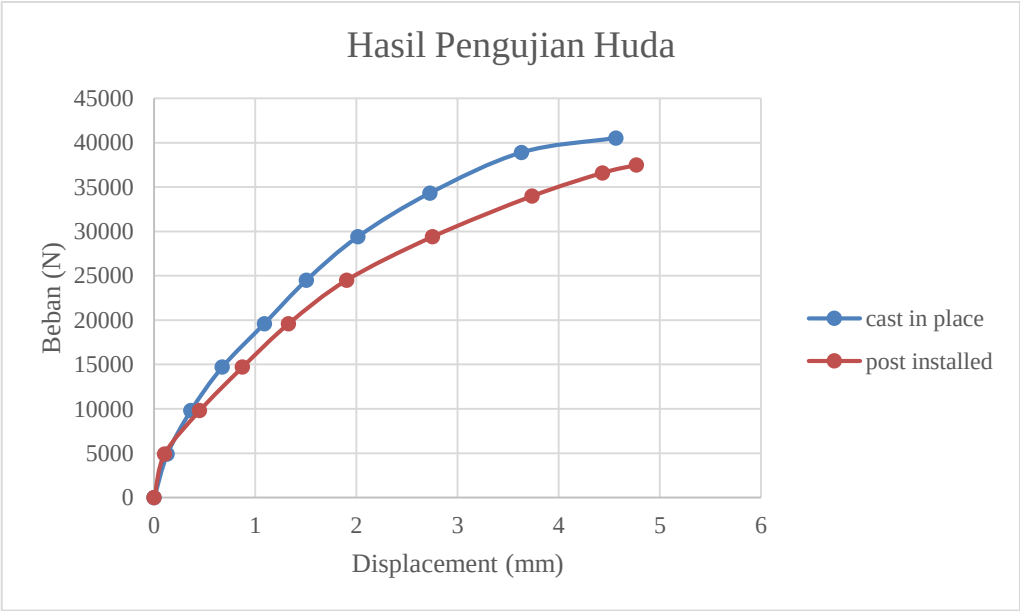
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Wiguntoro, 2020), grafik linier hubungan antara kuat cabut angkur dan deformasi ditunjukkan sebagai berikut:



Gambar 4.13. Grafik Hasil Pengujian (Wiguntoro,2020)

s = 100 mm; ca = 100 mm; da = 10 mm; hef = 90 mm

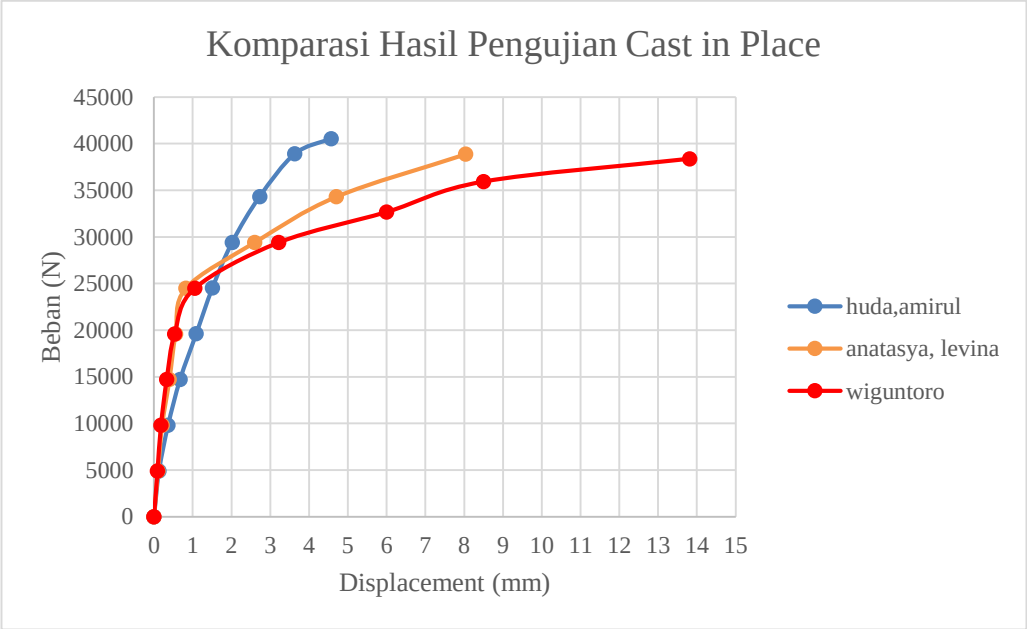
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Huda, Amirul 2020), grafik linier hubungan antara kuat cabut angkur dan deformasi ditunjukkan sebagai berikut:



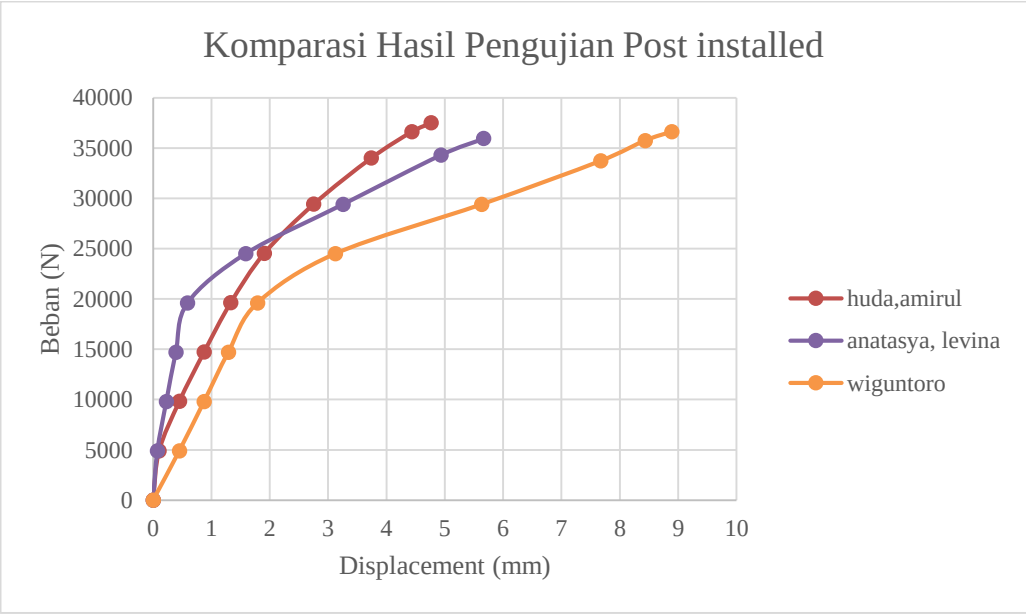
Gambar 4.14. Grafik Hasil Pengujian (Huda, Amirul 2020)

s = 100 mm; ca = 100 mm; da = 12 mm; hef = 60 mm

Dari grafik linier hasil eksperimen diatas, dapat dikomparasikan sebagai berikut:



Gambar 4.15. Grafik Komparasi Hasil Pengujian *Cast in Place*



Gambar 4.16. Grafik Komparasi Hasil Pengujian *Post Installed*

Berdasarkan grafik Gambar 4.15 dan 4.16, penelitian yang dilakukan oleh (Wiguntoro, 2020) dapat diketahui bahwa semakin besar jarak angkur ke tepi beton atau lebih dari yang disyaratkan yaitu 6d memberikan kekuatan cabut yang lebih efektif dibanding jarak tepi angkur kritis. Dari grafik linieritas dapat diketahui deformasi pada penelitian Wiguntoro lebih besar, baik pada metode *cast in place* maupun *post installed*. Dapat ditarik kesimpulan bahwa angkur dengan jarak tepi beton lebih dari 6d memiliki kekuatan cabut yang lebih besar dibandingkan dengan jarak tepi beton ca = 6d.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Wiguntoro, 2020) kerusakan yang terjadi pada benda uji *cast in place* dan *post installed* adalah *pullout failure* atau tercabutnya angkur dari beton dan disertai dengan kerusakan pada permukaan beton di sekeliling angkur.

Gambar 4.17. Kerusakan Benda Uji *Cast in Place* (Wiguntoro,2020)

Gambar 4.18. Kerusakan Benda Uji *Post Installed* (Wiguntoro,2020)

Penelitian yang dilakukan oleh (Huda, 2020) dapat dilihat bahwa semakin besar diameter angkur yang digunakan da = 12 mm, dengan kedalaman efektif yang lebih pendek hef = 60 mm serta jarak angkur ke tepi beton yang besar ca = 100 mm dapat dilihat pada Gambar 4.15 dan 4.16 bahwa kekuatan cabut angkur lebih besar dengan deformasi yang lebih kecil. Dengan tinjauan kegagalan yaitu kegagalan *breakout concrete.*

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Huda, 2020) kegagalan yang terjadi pada angkur metode *cast in place* sesuai dengan yang diharapkan yaitu *breakout concrete*. Namun, ada sedikit perbedaan dalam kegagalan yaitu derajat kerucut beton. Pada tinjauan teoritis, kegagalan yang diinginkan adalah kerucut beton dengan sudut 35°. Pada kenyataannya, kegagalan yang terjadi membentuk sudut 60-70°. Sedangkan pada angkur metode *post installed* kegagalan yang terjadi tidak sesuai prediksi, kegagalan yang terjadi berupa tercabutnya angkur dari beton atau *pullout failure* dengan disertai kerusakan halus rambut beton di sekeliling angkur.

Gambar 4.19. Kerusakan Benda Uji *Cast in Place* (Huda, 2020)

Gambar 4.20. Kerusakan Benda Uji *Post Installed* (Huda, 2020)

BAB V

PENUTUP

5.1 SIMPULAN

Berdasarkan pada hasil *pullout test hammer drive anchor m10 x 120 mm* dengan jarak angkur tepi kritis melalui metode pemasangan *cast-in place* dan *post installed* dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian kuat tarik material SANKO *hammer drive anchor* m10 x 120 mm mendapatkan hasil *fy* sebesar 337,5 MPa dan fu sebesar 383,25 MPa dengan regangan rata-rata sebesar 1,15%.
2. Pengujian kuat lekatan angkur pada beton diperoleh nilai sebesar 1,99 MPa untuk angkur dengan metode *cast in place* dan 1,63 MPa untuk angkur dengan metode *post installed.*
3. Beton yang digunakan pada penelitian ini menggunakan *ready mix* dengan kuat tekan rata-rata sebesar 315,61 kg/cm^2 atau sebesar 25,63 MPa sehingga memenuhi kuat tekan yang direncanakan yaitu 25 MPa.
4. Hasil pengujian kapasitas tarik angkur dengan metode *cast in place* didapatkan rata-rata sebesar 38,87 kN dengan deformasi sebesar 8,04 mm.
5. Hasil pengujian kapasitas tarik angkur dengan metode *post installed* didapatkan rata-rata sebesar 35,93 kN dengan deformasi sebesar 5,67 mm.
6. Dari hasil eksperimen, pengujian *pullout hammer drive anchor M10 x 120 mm* dengan metode *cast in place* lebih besar dari *post installed*, metode *cast in place* angkur mempunyai peran *bondslip* dan *interlocking* pada beton,

sedangkan pada metode *post installed* hanya mengandalkan peran *interlocking*.

7. Pemasangan angkur dengan jarak tepi kritis sesuai syarat minimum yaitu sebesar 6d aman digunakan dan tidak terjadi jebol beton.
8. Dari hasil penelitian *pullout test hammer drive anchor M10 x 120 mm* dengan metode *cast in place* maupun *post installed* sebanyak 6 spesimen, 83% kegagalan yang terjadi adalah tercabutnya angkur dari beton. Sisanya kegagalan terjadi karena faktor lain seperti pemasangan angkur maupun saat pengeboran.
9. Kegagalan yang terjadi sesuai dengan yang direncanakan yaitu *pullout failure* dan tidak terjadi kegagalan fraktur atau putus angkur.

5.2 SARAN

1. Jarak tepi minimum angkur ke beton sebesar 6d dapat digunakan, namun lebih baik jika jarak tepi dibuat lebih dari 6d untuk meminimalisir kegagalan.
2. Penelitian lebih lanjut perlu mendesain dengan variasi jarak tepi 4d, 6d dan 8d untuk mengetahui pola kerusakan yang terjadi pada saat *pullout test.*
3. Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan *pullout test* dengan variasi untuk metode *cast in place* angkur sebelum dipukul dan setelah dipukul.
4. Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan pengujian *pullout* satu angkur dengan menggunakan benda uji silinder, untuk mengetahui besarnya kuat lekat angkur pada beton.

5. Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan penambahan zat adiktif berupa Sika Anchorfix untuk angkur dengan metode pemasangan *post installed* supaya hasil eksperimen lebih besar dari metode *cast in place.*
6. Untuk retrofit struktur tegangan lekat dicari secara spesifik sesuai dengan angkur yang akan digunakan, tegangan lekat (μ) dapat dicari dengan melakukan pengujian tarik angkur menggunakan silinder beton. Jika tinggi angkur lebih dari 30 cm, maka pengujian dilakukan dengan membuat benda uji khusus.

DAFTAR PUSTAKA

ACI. (2011). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11).* Paper presented at the American Concrete Institute.

Apriyatno, H. (2010). KAPASITAS GESER BALOK BETON BERTULANG DENGAN OLYPROPYLENE FIBER SEBESAR 4% DARI VOLUME BETON. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan, 12*.

Chen, Zhao. (2018). *Analyzing The Failure Mechanisms and Developing Strength Prediction Models for Concrete Expansion and Screw Anchors in Tension (Doctor of Philosophy Dissertation).*

Dewobroto, W. (2015). Struktur Baja: Perilaku, Analisis & Desain-AISC 2010. In: Jurusan Teknik Sipil UPH.

Dipohusodo, I. (1994). *Struktur beton bertulang: berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 Departemen Pekerjaan Umun RI*: Gramedia Pustaka Utama.

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

Eligehausen, R., Mallée, R., & Silva, J. F. (2006). *Anchorage in concrete construction* (Vol. 10): John Wiley & Sons.

Fisher, J., & Kloiber, L. (2006). *Steel Design Guide 1-Base Plate and Anchor Rod Design.* Paper presented at the AISC.

Huda, Amirul. (2020). EKSPERIMEN TARIK ANGKUR TIPE EKSPANSI SECARA *CAST IN PLACE* DAN *POST INSTALLED* DENGAN KEGAGALAN *BREAKOUT* BETON. *Skripsi.* Program S1 Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang.

Mohyeddin, A., Gad, E. F., Yangdon, K., Khandu, R., & Lee, J. (2016). Tensile load capacity of screw anchors in early age concrete. *Construction and Building Materials*, *127*, 702-711.

Mulyono, T., (2016). *Teknologi Beton.* Penerbit Andi. Yogyakarta.

Nuryani TA, N. T. (2005). *Pengaruh Rasio Tulangan pada Berbagai Mutu Beton terhadap Penguatan Tarik Baja Tulangan Beton Bertulang (Tension Stiffening Effect).* Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro,

SNI. (1991). *Metode Pengujian Kuat Tarik Baja Beton* (0725291990).

SNI. (2002). SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. *Jakarta: Badan Standarisasi Nasional*.

SNI. (2008). Cara Uji Slump Beton SNI 1972: 2008. *Pusjatan-Balitbang PU, Indonesia*.

SNI. (2011a). Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder (SNI 1974:2011). *Badan Standarisasi Nasional, Jakarta*.

SNI. (2011b). Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Labolatorium SNI 2493-2011. *Badan Standarisasi Nasional*.

SNI. (2013). Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung (SNI 2847: 2013). *Jakarta: Standar Nasional Indonesia*.

Tjokrodimuljo, K. (2004). Teknologi Beton Edisi Pertama. *Biro Penerbit Teknik Sipil Universitas Gajah Mada. Yogyakarta*.

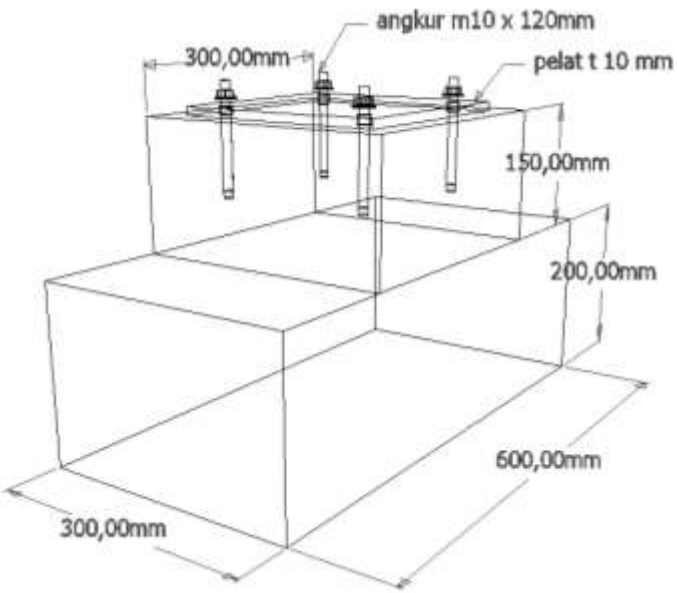
Tumiwa, B., Manalip, H., & Tamboto, W. J. (2016). Pemeriksaan Tegangan Lekat antara Baja dan Beton dengan Kuat Tekan Beton 40 MPa. *Jurnal Sipil Statik, 4*.

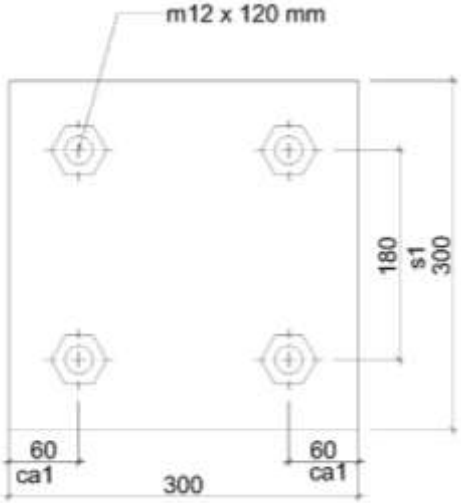
Wang, C.-K., Salmon, C. G., & Hariandja, B. (1990). Desain Beton Bertulang Jilid 1. *Jakarta: Erlangga*.

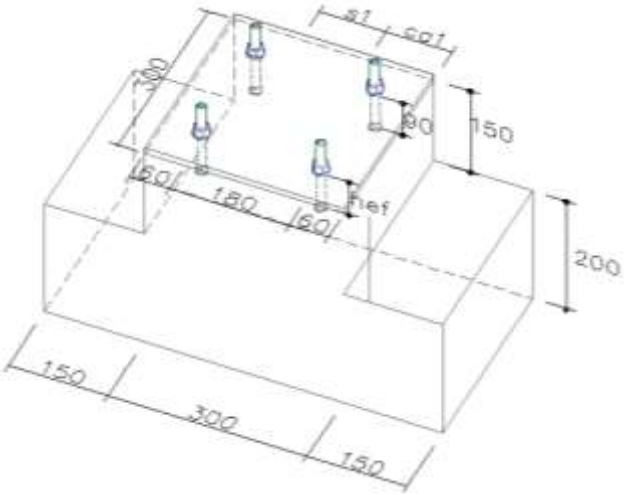
Wiguntoro. (2020). EKSPERIMENTAL PERBANDINGAN KAPASITAS KEKUATAN ANGKUR MENGGUNAKAN METODE *CAST IN PLACE* DAN *POST-INSTALLED* PADA PERILAKU KEGAGALAN *PULL-OUT*. *Skripsi.* Program S1 Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang.

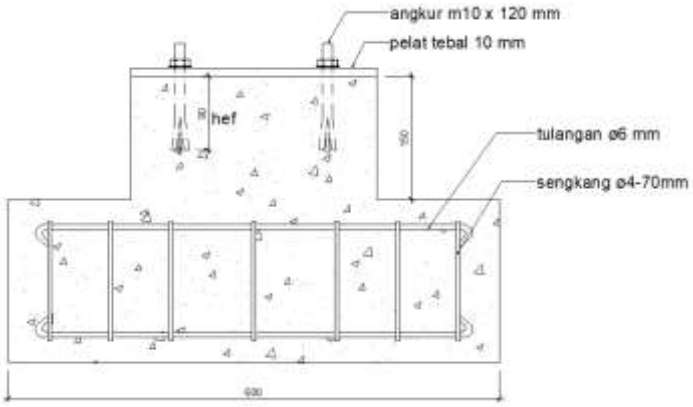
Lampiran 1

Detail Benda Uji (Spesimen)









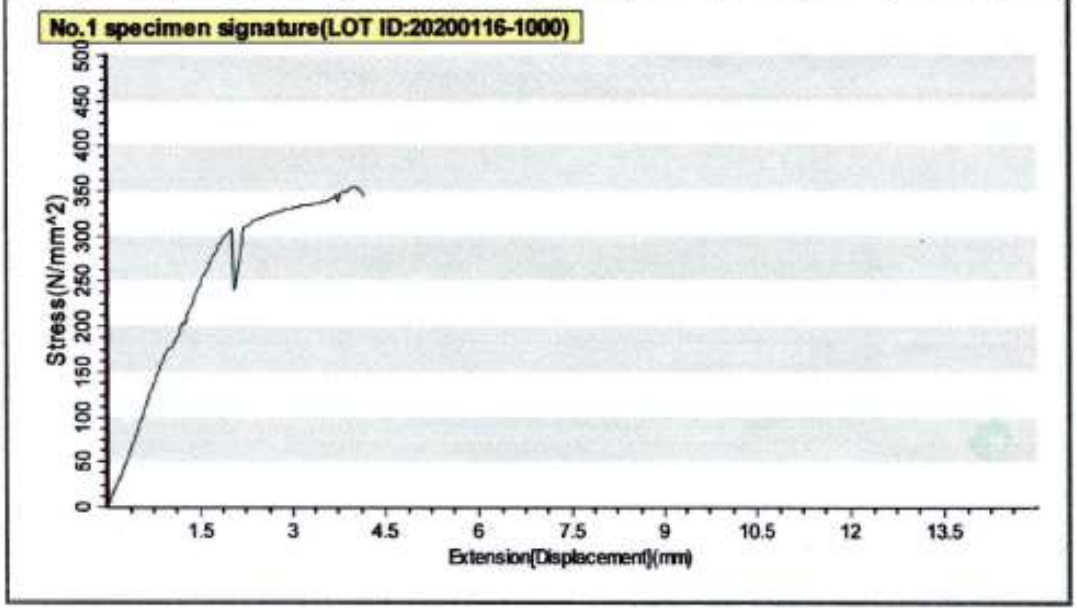
Lampiran 2

Hasil Pengujian Kuat Tarik (Bahan) Angkur

UNNES	Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Gd. E5 Lt.1 Teknik Mesin Gunungpati, Semarang 50229 Telp. (024) 8508103	**Laboratorium Pengujian Bahan** **Teknik Mesin - UNNES**	
		LOT ID.	20200116-1000
Company	Uji 1	Test Date	01-16-2020
Standard		Operator	Imam
Temperature	23C	Relative Humiddity	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					



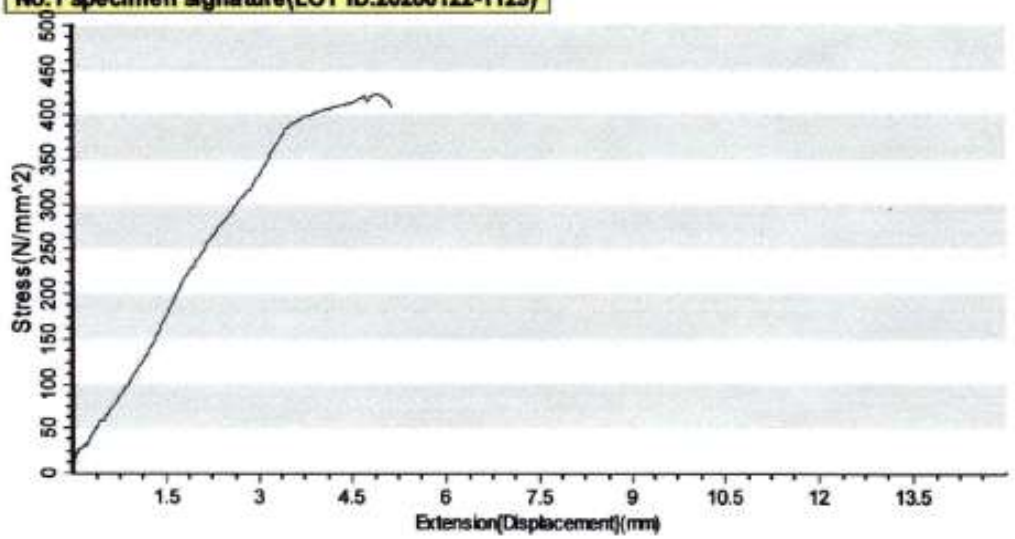
Operator: QC: Page 1

UNNES	Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Gd. E5 Lt.1 Teknik Mesin Gunungpati, Semarang 50229 Telp. (024) 8508108	**Laboratorium Pengujian Bahan** **Teknik Mesin - UNNES**	
		LOT ID.	20200122-1129
Company	Uji 2	Test Date	01-22-2020
Standard		Operator	Imam
Temperature	23C	Relative Humiddity	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	21274.0			20510	76.2					

No.1 specimen signature(LOT ID:20200122-1129)



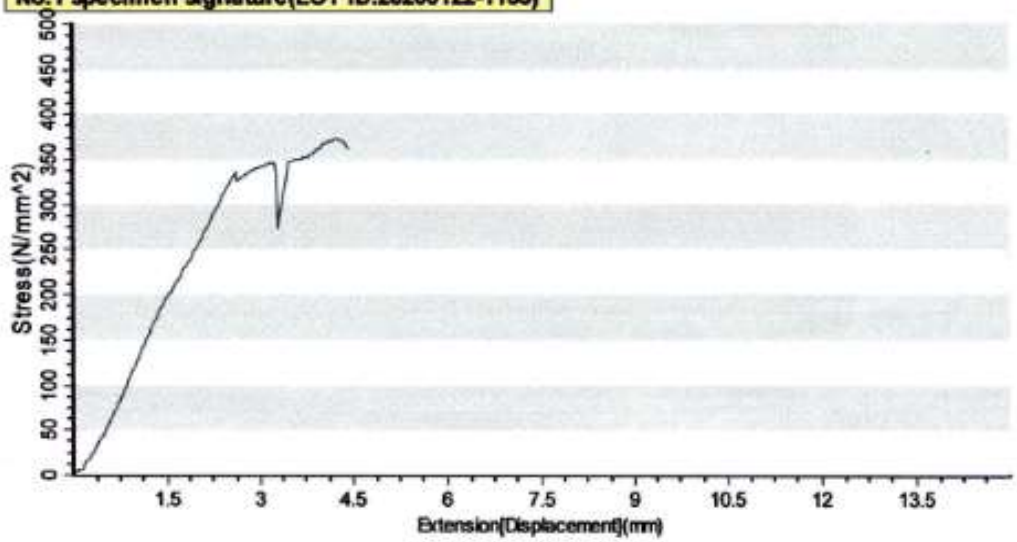
Operator: QC: Page 1

UNNES	Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Gd. E5 Lt.1 Teknik Mesin Gunungpati, Semarang 50229 Telp. (024) 8508103	**Laboratorium Pengujian Bahan** **Teknik Mesin - UNNES**	
		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

Test Data

No.	Do mm	Fm N	FeH N	FeL N	Fb N	Lu mm					
01	6.00	18726.0			18240	77.1					

No.1 specimen signature(LOT ID:20200122-1133)



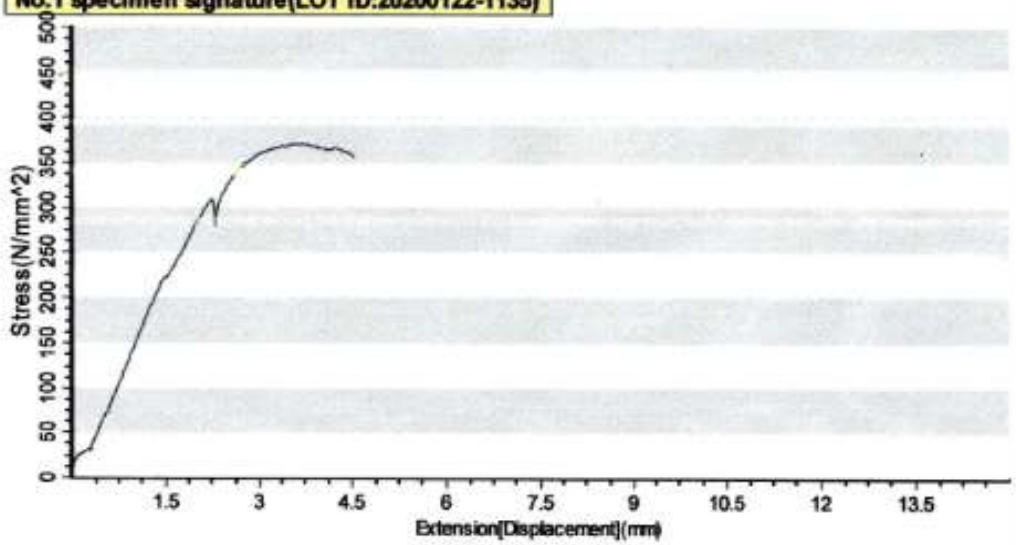
Operator: QC: Page 1

UNNES	Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Gd. E5 Lt.1 Teknik Mesin Gunungpati, Semarang 50229 Telp. (024) 8508103	**Laboratorium Pengujian Bahan** **Teknik Mesin - UNNES**	
		LOT ID.	20200122-1135
Company	Uji 4	Test Date	01-22-2020
Standard		Operator	Imam
Temperature	23C	Relative Humiddity	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	18604.0			17880	77.2					

No.1 specimen signature(LOT ID:20200122-1135)



Operator: QC: Page 1

Lampiran 3

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

PT. Bonindo Multi Daya
Kantor Pusat :
Jl. Wr. Supratman No. 65 Kota Semarang
Telp. (024) 76432883, 76432995, 76637309
NPWP : 21.042.382.8-503.000

Bonindo Grup

Bonindo Batching Plant
Base Camp Batching Plant (Beton Readymix)
Dusun Kalikopeng, Desa Leyangan
Kec. Ungaran Timur, Kab. Semarang
HP. 0822 2620 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/cm²)	Perkiraan Kokoh Silinder 28 Hari (kg/cm²)	Perkiraan Kokoh Kubus 28 hari (kg/cm²)	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

Keterangan :
A = 0.25 * (22/7) * Ø²
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 4

Perhitungan Perencanaan Desain Spesimen Menggunakan Mathcad

Perencanaan baut angkur :

* Angkur kelompok terhadap tarik

spesifikasi baut :

$n := 4$

$d_a := 10 \quad mm$

$fy := 337.5 \quad MPa$

$f_u := 383.25 \quad MPa$

$h_{ef} := 90 \quad mm$

$s_1 := 180 \quad mm$

$s_2 := 180 \quad mm$

$c_{a.1} := 60 \quad mm$

jenis_angkur := "cast in place"

spesifikasi beton :

$f_{c'} := 25.63 \quad MPa$

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

1. Kuat baut angkur terhadap tarik

$$A_{se.N} := \left(\frac{\pi}{4}\right)\cdot\left(d_a\right)^2 = 78.54 \quad mm^2$$

$$N_{sa} := \frac{n\cdot\left(A_{se.N}\cdot f_u\right)}{1000} = 120.402 \quad kN$$

2. Kuat jebol (breakout) terhadap tarik

posisi angkur di pinggir

$$1.5\cdot h_{ef} = 135 \quad mm$$

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

$$A_{Nco} := 9\cdot h_{ef}^{\ 2} = 7.29 \times 10^4 \quad mm^2$$

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

$$A_{Nc} := \left(c_{a.1} + s_2 + 1.5\cdot h_{ef}\right)\cdot\left(c_{a.1} + s_1 + 1.5\cdot h_{ef}\right) = 1.406 \times 10^5 \quad mm^2$$

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

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

$kc_{pi} := 7$

$kc_{cip} := 10$

jenis_beton := "beton normal"

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

Metode post installed

$$Nb_{pi} := \frac{\left(kc_{pi} \cdot \lambda_a \cdot \sqrt{f_c'} \cdot h_{ef}^{1.5}\right)}{1000} = 30.258 \quad kN$$

$$Ncb_{pi} := \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \cdot Nb_{pi} = 58.368 \quad kN$$

Metode cast in place

$$Nb_{cip} := \frac{\left(kc_{cip} \cdot \lambda_a \cdot \sqrt{f_c'} \cdot h_{ef}^{\frac{5}{3}}\right)}{1000} = 91.505 \quad kN$$

$$Ncb_{cip} := \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \cdot Nb_{cip} = 176.514 \quad kN$$

3. Kuat cabut (pullout) baut angkur dari beton

$d_s := 150$ mm

$L_s := 300$ mm

$h_{ef_1} := 75$ mm

$h_{ef_2} := 15$ mm

$hef := 90$ mm

$d_{a.1} := 10$ mm

$d_{a.2} := 13$ mm d angkur mengembang

$fc := 25.63$ MPa

$\mu_{cip} := 1.99$ MPa (hasil pengujian)

$\mu_{pi} := 1.63$ MPa (hasil pengujian)

$$A_{s1} := \pi \cdot d_a \cdot h_{ef_1} = 2.356 \times 10^3 \quad mm^2$$

$$A_{s2} := \pi \cdot h_{ef_2} \cdot \left(\frac{d_{a.1}}{2} + \frac{d_{a.2}}{2} \right) = 541.925 \quad mm^2$$

$$A_s := A_{s1} + A_{s2} = 2.898 \times 10^3 \quad mm^2$$

Metode cast in place

$$N_{cip} := \frac{n \cdot A_s \cdot \mu_{cip}}{1000} = 23.069 \quad kN$$

Metode post installed

$$N_{pi} := \frac{n \cdot A_s \cdot \mu_{pi}}{1000} = 18.896 \quad kN$$

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

$h_{ef} = 90 \quad mm$

$2.5 \cdot c_{a.1} = 150 \text{ mm}$

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

Jika perlu maka :

$$A_{brg} := 0.25 \cdot \pi \cdot d_a^2 = 78.54 \quad mm^2$$

$$N_{sb} := \frac{\left[\left(13 \cdot c_{a.1} \cdot \sqrt{A_{brg}} \right) \cdot \lambda_a \cdot \sqrt{f'_c} \right]}{1000} = 34.996 \quad kN$$

$$Nsbg := \left(1 + \frac{s_1}{6 \cdot c_{a.1}} \right) \cdot N_{sb} = 52.493 \quad kN$$

5. Spasi untuk memenuhi pecah belah (splitting)

spasi baut angkur minimum adalah $6 \cdot d_a = 60 \quad mm$ dari angkur lain atau tepi beton

$s_1 := s_2 = 180 \text{ mm}$

$c_{a.1} = 60 \quad mm$

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