

ANALISIS PANJANG PENGANGKURAN TERHADAP KUAT TARIK MAKSIMUM MENGUNAKAN APLIKASI MIDAS FEA NX

Daniel Christianto¹, Nikita Audrian², Gabriella Victoria³, dan Edison Leo⁴

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
danielc@ft.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
nikita.325200028@stu.untar.ac.id

³Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
gabriella.325200001@stu.untar.ac.id

⁴Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
edisonl@ft.untar.ac.id

Masuk: 03-01-2024, revisi: 13-01-2024, diterima untuk diterbitkan: 16-01-2024

ABSTRACT

Anchors are one of the commonly used connecting methods, that are used to connect structural elements with concrete or other materials and are used not only in new structures but also in existing structures. The installation system can be done by cast in place or post-installed. One type of post-installed anchor is an adhesive anchor which is widely used in strengthening concrete structures because of its installation efficiency. One of the factors that determine the anchor's tensile strength is the embedment length, where the anchor transmits force from or to the surrounding concrete. The research used the finite element method using Midas FEA NX. Modeling was made with anchor diameters of 10 mm, 12 mm, 16 mm, 19 mm, concrete strength of 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, 35 MPa, and anchor embedding depths of 3d, 6d, 105 mm, 150 mm. Then, a tensile test is carried out on the anchors to obtain the tensile capacity value of each anchor. The analysis is carried out in nonlinear static with vertical loads in displacement approach. Based on the analysis results, it can be concluded that the deeper the anchor embedment length, the greater the anchor's tensile capacity.

Keywords: adhesive anchor, embedment length, Midas FEA NX; tensile strength

ABSTRAK

Angkur adalah salah satu metode penghubung yang umum digunakan, tujuannya untuk menghubungkan elemen struktural dengan beton atau material lainnya dan digunakan bukan hanya pada struktur baru tetapi juga pada struktur yang sudah ada. Sistem pemasangannya dapat dilakukan sebelum (cor di tempat) ataupun sesudah beton mengeras (pasca pasang). Salah satu tipe angkur pasca pasang adalah angkur adhesif yang saat ini banyak digunakan dalam perkuatan struktur beton karena pemasangannya lebih efisien. Salah satu pengaruh kuat tarik angkur adalah berdasarkan dari kedalaman penanaman angkur, dimana angkur menyalurkan gaya dari atau menuju beton di sekelilingnya. Penelitian dilakukan dengan metode elemen hingga menggunakan Midas FEA NX. Pemodelan dibuat dengan diameter angkur 10 mm, 12 mm, 16 mm, 19 mm, mutu beton 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, 35 MPa, serta kedalaman penanaman angkur sebesar 3d, 6d, 105 mm, 150 mm. Setelah itu dilakukan pengujian tarik pada angkur untuk mendapatkan nilai kapasitas tarik masing-masing angkur. Analisis dalam Midas FEA NX dilakukan secara nonlinear statik dengan beban secara vertikal menggunakan pendekatan perpindahan dan mengetahui jenis keruntuhan yang terjadi. Berdasarkan hasil analisis, semakin dalam penanaman angkur maka semakin besar pula kapasitas tarik angkur.

Kata kunci: angkur adhesif; kedalaman penanaman; Midas FEA NX; kapasitas tarik

1. PENDAHULUAN

Pada pembangunan struktur dalam bidang konstruksi, metode penyambungan yang menghubungkan elemen beton dengan elemen lainnya merupakan hal yang sangat penting. Dan angkur adalah salah satu metode penghubung yang umum digunakan, bukan hanya pada struktur baru tetapi juga pada struktur yang sudah ada sebelumnya. Angkur merupakan benda yang terbuat dari baja yang sistem pemasangannya dapat dilakukan sebelum (*cast in place*) ataupun sesudah beton mengeras (*post installed*) dengan tujuan untuk menyalurkan beban yang bekerja pada beton (Badan

Standardisasi Nasional, 2019). Saat ini angkur pasca pasang banyak digunakan dalam perkuatan struktur beton karena pemasangannya lebih efisien dan memberikan fleksibilitas yang lebih besar (Upadhyaya & Kumar, 2015). Dalam kondisi di lapangan, suatu bangunan mungkin saja mengalami perubahan fungsi atau penambahan struktur baru setelah dioperasikan. Salah satu metode yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan perekat adhesif sebagai material penguat dalam penanaman angkur tulangan baru dengan kedalaman tertentu (Abel, 2018). Berdasarkan SNI 2847-2019, panjang kedalaman angkur untuk angkur adhesif yang diperbolehkan adalah 4D sampai 20D.

Salah satu pengaruh hasil kuat tarik angkur adalah berdasarkan dari kedalaman penanaman angkur. Kedalaman penanaman efektif adalah kedalaman keseluruhan dimana angkur menyalurkan gaya dari atau menuju beton di sekelilingnya. Dan biasanya akan menjadi kedalaman kegagalan permukaan beton dalam kondisi tarik (Badan Standardisasi Nasional, 2019).

Kedalaman angkur dan mutu beton memiliki hubungan yang saling mempengaruhi kuat tarik angkur. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Rosyidah et al. (2022), kedalaman angkur yang lebih dalam dapat meningkatkan kuat tarik angkur. Hal ini karena adanya peningkatan adhesi antara beton dan angkur yang lebih baik pada kedalaman yang lebih dalam. Selain itu, penelitian juga menunjukkan bahwa mutu beton yang lebih tinggi juga dapat meningkatkan kuat tarik angkur. Hal ini disebabkan oleh peningkatan kekuatan beton yang dapat memberikan dukungan yang lebih baik pada angkur. Selain itu, diameter angkur juga dapat meningkatkan kuat tarik angkur. Hal ini disebabkan oleh peningkatan luas kontak antara beton dan angkur yang meningkatkan adhesi antara keduanya.

Pengujian tarik dapat menggunakan metode elemen hingga dengan tujuan untuk menghindari ujian eksperimental yang membutuhkan lebih banyak waktu dan biaya penelitian Al-Fouadi et al. (2018). Berdasarkan penelitian dari Mousavi Siamakani et al. (2020), metode elemen hingga dapat digunakan untuk menganalisis interaksi antar material. memodelkan distribusi tegangan dalam struktur dan cukup mewakili hasil uji laboratorium. Metode pada penelitian ini menggunakan program Midas FEA NX untuk menganalisis kemampuan angkur dalam menahan gaya tarik yang bekerja pada elemen struktur. Midas FEA NX sangat penting untuk geometri yang kompleks dan memungkinkan analisis struktural yang mendalam dan akurat.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi panjang kedalaman angkur untuk diameter angkur dan kekuatan beton yang berbeda-beda terhadap kapasitas tarik angkur dan perbandingan kapasitas tarik angkur berdasarkan analisis Midas FEA NX dengan perhitungan teoritis.

Kuat baut angkur terhadap tarik

Gambar 1 menunjukkan kegagalan yang terjadi saat baut mengalami putus ketika gaya tarik mencapai kondisi ultimit yang sudah tidak mampu ditahan oleh baut angkur.



Gambar 1. Kegagalan baja (Badan Standardisasi Nasional, 2019).

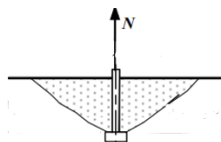
Kekuatan nominal angkur dalam tarik didapat dari persamaan 1 (Dewobroto, 2015):

$$\phi N_{sa} = A_{se,N} \cdot f_{uta} \quad (1)$$

dengan N_{sa} = kuat nominal angkur, $A_{se,N}$ = luas penampang efektif angkur, dan f_{uta} = kuat tarik putus angkur yang disyaratkan.

Kuat jebol beton terhadap tarik

Gambar 2 menunjukkan kegagalan yang terjadi karena kekuatan baut yang lebih tinggi daripada beton, dimana beton terangkat ke atas.



Gambar 2. Beton jebol terhadap tarik (Badan Standardisasi Nasional, 2019)

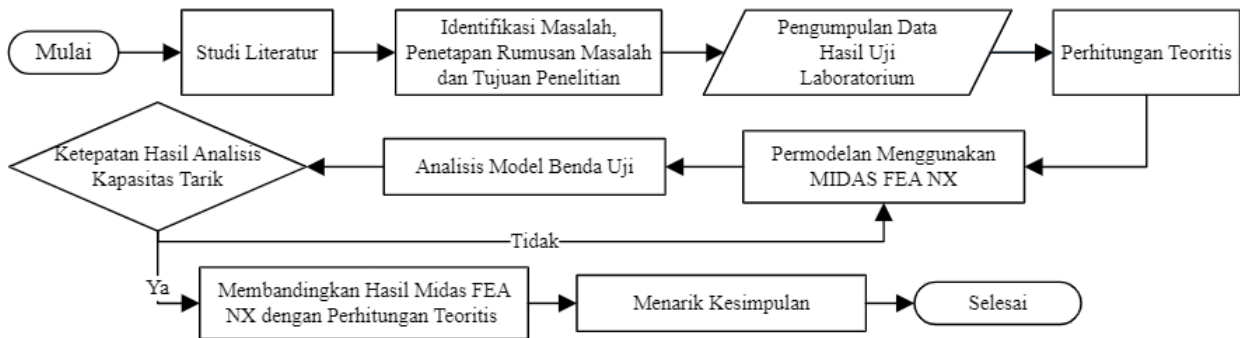
Kekuatan jebol nominal angkur tunggal didapat dari persamaan 2 (Dewobroto, 2015):

$$\phi N_{cb} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} N_b \quad (2)$$

dengan N_{cb} = kuat nominal jebol beton, A_{NC} = luas proyeksi kerusakan beton pada baut angkur tunggal, A_{Nco} = luas proyeksi maksimum kerusakan angkur tunggal, $\Psi_{ed,N}$ = faktor modifikasi untuk memperhitungkan pengaruh baut angkur di bagian pinggir pondasi, $\Psi_{c,N}$ = faktor modifikasi memperhitungkan keretakan beton pada area angkur, $\psi_{cp,N}$ = faktor modifikasi untuk memperhitungkan adanya tegangan tarik belah (*splitting*) saat pemasangannya, dan N_b = kuat dasar jebol beton angkur tunggal terhadap tarik.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur sebagai referensi yang kemudian digunakan dalam pengujian dengan program MIDAS FEA NX. Setelah itu dilakukan analisis uji tarik angkur menggunakan MIDAS FEA NX yang kemudian hasilnya akan dibandingkan dengan perhitungan teoritis. Tahapan penelitian ini dirangkum dalam diagram alir pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

Pada penelitian ini, dilakukan sebanyak 64 pemodelan angkur yang ditanam ke dalam beton berukuran 50 x 50 x 50 cm dengan diameter angkur 10 mm, 12 mm, 16 mm, dan 19 mm, mutu beton f_c' 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, dan 35 MPa dengan kedalaman penanaman angkur sebesar 3d, 6d, 105 mm, dan 150 mm yang dapat dilihat pada Tabel 1. Pemilihan salah satu kedalaman penanaman angkur tidak memenuhi syarat SNI 2847-2019 yaitu sedalam 4D sampai 20D untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kapasitas tarik angkur. Material baja yang digunakan pada pemodelan angkur yaitu tegangan leleh (f_y) sebesar 420 MPa dan tegangan maksimum (f_u) sebesar 525 MPa yang diambil berdasarkan syarat dari SNI 2057:2017. Material beton dimodelkan untuk kekuatan tekan sesuai dengan pemodelan benda uji dan kekuatan tarik yang didapat dari persamaan 3 sebagai berikut (FIB Bulletin 55, 2010).

$$f_t = 0.3(f_c')^{\frac{2}{3}} \quad (3)$$

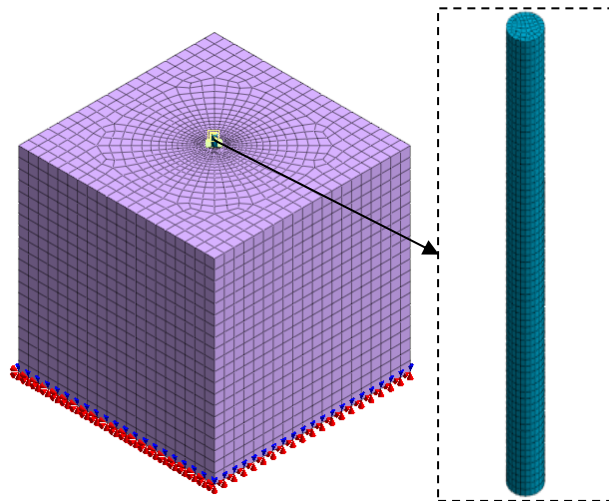
dengan f_t = kekuatan tarik beton, dan f_c' = kuat tekan beton.

Tabel 1. Pemodelan benda uji

| Mutu Beton (f_c') | Kedalaman Penanaman Angkur (mm) | | | |
|-----------------------|---------------------------------|--------|--------|--------|
| | D10 mm | D12 mm | D16 mm | D19 mm |
| 20 MPa | 35 | 36 | 48 | 57 |
| | 60 | 72 | 96 | 105 |
| | 105 | 105 | 105 | 114 |
| | 150 | 150 | 150 | 150 |
| 25 MPa | 35 | 36 | 48 | 57 |
| | 60 | 72 | 96 | 105 |
| | 105 | 105 | 105 | 114 |
| | 150 | 150 | 150 | 150 |
| 30 MPa | 35 | 36 | 48 | 57 |
| | 60 | 72 | 96 | 105 |
| | 105 | 105 | 105 | 114 |
| | 150 | 150 | 150 | 150 |
| 35 MPa | 35 | 36 | 48 | 57 |
| | 60 | 72 | 96 | 105 |
| | 105 | 105 | 105 | 114 |
| | 150 | 150 | 150 | 150 |

Pemodelan benda uji

Pembuatan geometri dilakukan untuk membuat pemodelan angkur yang ditanam ke dalam beton. Jenis elemen yang digunakan adalah elemen *solid* bentuk kubus untuk beton dan bentuk silinder untuk angkur. *Meshing* berfungsi untuk menggabungkan geometri dan material yang telah dibuat menjadi satu elemen. *Mesh* elemen beton yang digunakan sebesar 25 mm dan untuk elemen angkur menggunakan ukuran *mesh* sebesar 2,5 mm. Pemodelan sampel bahan adhesif pada penelitian ini dianggap sebagai lekat sempurna. Perletakan dimodelkan pada bagian bawah beton menggunakan perletakan sendi yang menggambarkan beton diletakkan di lantai dan tidak bisa terangkat ke atas ketika angkur ditarik. Pada angkur menggunakan perletakan *rigid link* di bagian atas angkur yang hanya bergerak ke atas sesuai dengan kondisi pengujian laboratorium. Pemberian beban berupa perpindahan ke atas diberikan pada atas angkur hingga 2 mm untuk angkur diameter 10 mm dan 12 mm, 4 mm untuk angkur diameter 16 mm dan 19 mm. Analisis dilakukan secara nonlinear statik yang berarti ketika matriks kekakuan bervariasi terhadap kenaikan beban yang bekerja. Kondisi nonlinear dapat dilihat dari perubahan yang terjadi pada elemen, seperti plastis. Pemodelan benda uji yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan dengan Midas FEA NX akan didapatkan kapasitas tarik masing-masing angkur dengan variasi diameter dan kedalaman penanaman angkur serta mutu beton. Hasil analisis ini kemudian akan dibandingkan dengan perhitungan teoritis.



Gambar 4. Pemodelan benda uji

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan teoritis dan Midas FEA NX

Perhitungan teoritis untuk mengetahui kuat tarik angkur mengacu pada SNI 2847:2019 Pasal 17. Hasil perhitungan teoritis untuk kuat baut angkur terhadap tarik (N_{sa}) dan kuat jebol beton terhadap tarik (N_{cb}) dan hasil kuat tarik angkur dari Midas FEA NX dengan diameter dan kedalaman penanaman angkur serta mutu beton yang berbeda-beda dapat dilihat pada Tabel 2 sampai Tabel 5. Dari hasil perhitungan teoritis kuat tarik yang digunakan adalah berdasarkan nilai terkecil dari kuat baut angkur terhadap tarik dan kuat jebol beton terhadap tarik.

Tabel 2. Hasil analisis kuat tarik angkur diameter 10 mm

| fc' (MPa) | Kedalaman Penanaman (mm) | Hasil Perhitungan SNI | | | Hasil Midas FEA NX (kN) | Jenis Keruntuhan |
|-----------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------|------------------|
| | | Keruntuhan Angkur Nsa (kN) | Keruntuhan Beton Ncb (kN) | Kuat Tarik yang Digunakan (kN) | | |
| 20 MPa | 35 | | 9,07 | 9,07 | 10,07 | Beton |
| | 60 | | 20,37 | 20,37 | 22,21 | Beton |
| | 105 | 41,23 | 47,15 | 41,23 | 39,74 | Angkur |
| | 150 | | 67,10 | 41,23 | 40,37 | Angkur |
| 25 MPa | 35 | | 10,15 | 10,15 | 10,63 | Beton |
| | 60 | 41,23 | 22,77 | 22,77 | 24,96 | Beton |
| | 105 | | 52,72 | 41,23 | 39,75 | Angkur |

| | | | | | | |
|--------|-----|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| 30 MPa | 150 | | 75,02 | 41,23 | 40,59 | Angkur Beton |
| | 35 | 41,23 | 11,11 | 11,11 | 13,07 | |

Tabel 2. Hasil analisis kuat tarik angkur diameter 10 mm (lanjutan)

| fc' (MPa) | Kedalaman Penanaman (mm) | Hasil Perhitungan SNI | | | Hasil Midas FEA NX (kN) | Jenis Keruntuhan |
|--------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| | | Keruntuhan Angkur Nsa (kN) | Keruntuhan Beton Ncb (kN) | Kuat Tarik yang Digunakan (kN) | | |
| 30 MPa | 60 | | 24,95 | 24,95 | 25,38 | Beton |
| | 105 | 41,23 | 57,75 | 41,23 | 40,40 | Angkur |
| | 150 | | 82,18 | 41,23 | 39,90 | Angkur |
| 35 MPa | 35 | | 12,01 | 12,01 | 13,16 | Beton |
| | 60 | 41,23 | 26,95 | 26,95 | 27,95 | Beton |
| | 105 | | 62,38 | 41,23 | 40,30 | Angkur |
| | 150 | | 88,76 | 41,23 | 41,89 | Angkur |

Tabel 3. Hasil analisis kuat tarik angkur diameter 12 mm

| fc' (MPa) | Kedalaman Penanaman (mm) | Hasil Perhitungan SNI | | | Hasil Midas FEA NX (kN) | Jenis Keruntuhan |
|--------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| | | Keruntuhan Angkur Nsa (kN) | Keruntuhan Beton Ncb (kN) | Kuat Tarik yang Digunakan (kN) | | |
| 20 MPa | 36 | | 9,47 | 9,47 | 11,18 | Beton |
| | 72 | | 26,78 | 26,78 | 26,82 | Beton |
| | 105 | 59,38 | 47,15 | 47,15 | 47,59 | Beton |
| | 150 | | 67,10 | 59,38 | 56,81 | Angkur |
| 25 MPa | 36 | | 10,58 | 10,58 | 11,48 | Beton |
| | 72 | 59,38 | 29,94 | 29,94 | 27,11 | Beton |
| | 105 | | 52,72 | 52,72 | 50,08 | Beton |
| | 150 | | 75,02 | 59,38 | 56,68 | Angkur |
| 30 MPa | 36 | | 11,59 | 11,59 | 11,41 | Beton |
| | 72 | 59,38 | 32,79 | 32,79 | 32,41 | Beton |
| | 105 | | 57,75 | 57,75 | 54,09 | Beton |
| | 150 | | 82,18 | 59,38 | 56,82 | Angkur |
| 35 MPa | 36 | | 12,52 | 12,52 | 12,52 | Beton |
| | 72 | 59,38 | 35,42 | 35,42 | 38,64 | Beton |
| | 105 | | 62,38 | 59,38 | 53,52 | Angkur |
| | 150 | | 88,76 | 59,38 | 57,06 | Angkur |

Tabel 4. Hasil analisis kuat tarik angkur diameter 16 mm

| fc' (MPa) | Kedalaman Penanaman (mm) | Hasil Perhitungan SNI | | | Hasil Midas FEA NX (kN) | Jenis Keruntuhan |
|--------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| | | Keruntuhan Angkur Nsa (kN) | Keruntuhan Beton Ncb (kN) | Kuat Tarik yang Digunakan (kN) | | |
| 20 MPa | 48 | | 14,57 | 14,57 | 15,10 | Beton |
| | 96 | | 41,22 | 41,22 | 44,77 | Beton |
| | 105 | 105,56 | 47,15 | 47,15 | 47,17 | Beton |
| | 150 | | 67,10 | 67,10 | 64,41 | Beton |
| 25 MPa | 48 | | 16,30 | 16,30 | 15,62 | Beton |
| | 96 | 105,56 | 46,09 | 46,09 | 46,91 | Beton |
| | 105 | | 52,72 | 52,72 | 56,51 | Beton |
| | 150 | | 75,02 | 75,02 | 73,89 | Beton |
| 30 MPa | 48 | | 17,85 | 17,85 | 19,62 | Beton |
| | 72 | 105,56 | 50,49 | 50,49 | 50,44 | Beton |
| | 105 | | 57,75 | 57,75 | 59,58 | Beton |
| | 150 | | 82,18 | 82,18 | 83,93 | Beton |
| 35 MPa | 48 | 105,56 | 19,28 | 19,28 | 21,37 | Beton |
| | 72 | | 54,53 | 54,53 | 53,84 | Beton |

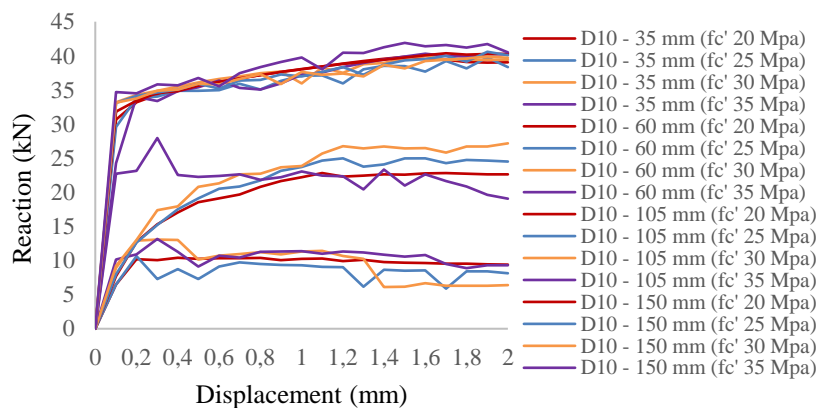
| | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|
| 105 | 62,38 | 62,38 | 61,38 | Beton |
| 150 | 88,76 | 88,76 | 88,23 | Beton |

Tabel 5. Hasil analisis kuat tarik angkur diameter 19 mm

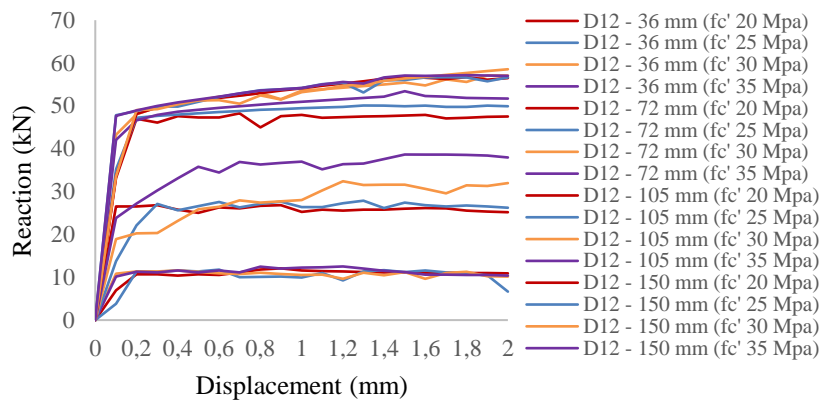
| fc' (MPa) | Kedalaman Penanaman (mm) | Hasil Perhitungan SNI | | | Hasil Midas FEA NX (kN) | Jenis Keruntuhan |
|-----------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------|------------------|
| | | Keruntuhan Angkur Nsa (kN) | Keruntuhan Beton Ncb (kN) | Kuat Tarik yang Digunakan (kN) | | |
| 20 MPa | 57 | | 18,86 | 18,86 | 20,03 | Beton |
| | 105 | 148,85 | 47,15 | 47,15 | 47,96 | Beton |
| | 114 | | 53,35 | 53,35 | 57,30 | Beton |
| | 150 | | 67,10 | 67,10 | 66,98 | Beton |
| 57 | 21,09 | | 21,09 | 22,67 | Beton | |
| 25 MPa | 105 | 148,85 | 52,72 | 52,72 | 55,53 | Beton |
| | 114 | | 59,64 | 59,64 | 57,66 | Beton |
| | 150 | | 75,02 | 75,02 | 77,59 | Beton |
| | 57 | | 23,10 | 23,10 | 24,26 | Beton |
| 30 MPa | 105 | 148,85 | 57,75 | 57,75 | 63,45 | Beton |
| | 114 | | 65,33 | 65,33 | 70,04 | Beton |
| | 150 | | 82,18 | 82,18 | 85,21 | Beton |
| | 57 | | 24,95 | 24,95 | 24,62 | Beton |
| 35 MPa | 105 | 148,85 | 62,38 | 62,38 | 64,50 | Beton |
| | 114 | | 70,57 | 70,57 | 72,94 | Beton |
| | 150 | | 88,76 | 88,76 | 92,09 | Beton |

Hasil analisis dengan Midas FEA NX

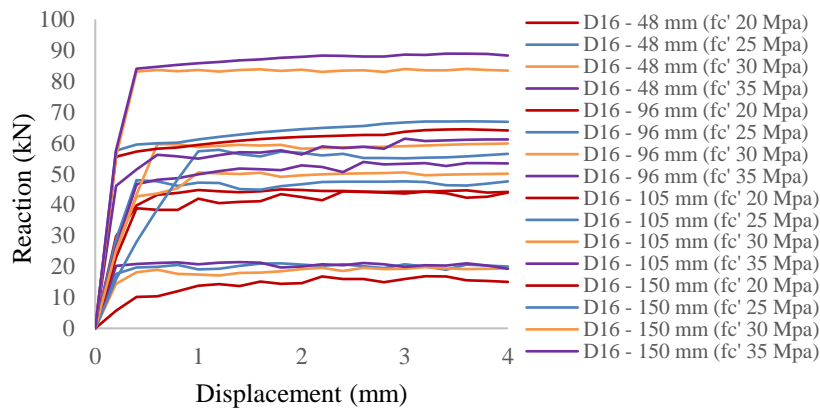
Pada pengujian tarik angkur, didapatkan nilai kuat tarik angkur setelah diberikan beban tarik hingga kapasitas maksimum ditandai dengan terjadinya keruntuhan pada salah satu elemen benda uji. Keruntuhan yang terjadi dilihat dari nilai tegangan beton telah melebihi kekuatan tarik beton atau tegangan angkur telah melebihi tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh angkur. Nilai kekuatan beton didapat dari persamaan 3 dan tegangan maksimum angkur yang digunakan adalah 525 MPa. Gambar 5 sampai Gambar 8 menunjukkan grafik antara reaksi dan perpindahan yang terjadi pada masing-masing angkur.



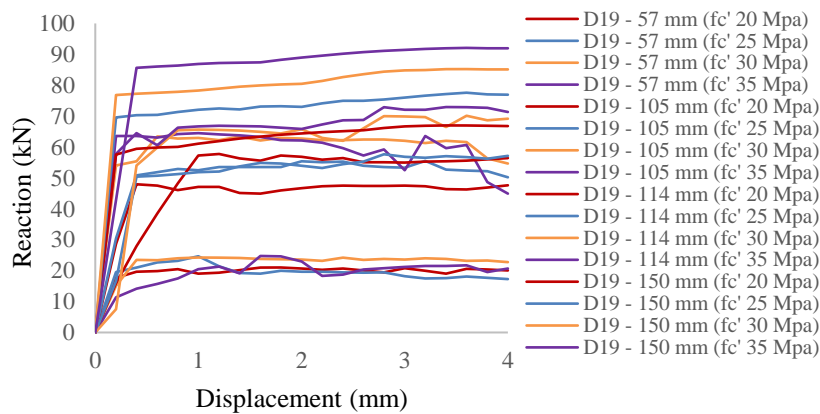
Gambar 5. Grafik reaksi tarik angkur diameter 10 mm



Gambar 6. Grafik reaksi tarik angkur diameter 12 mm



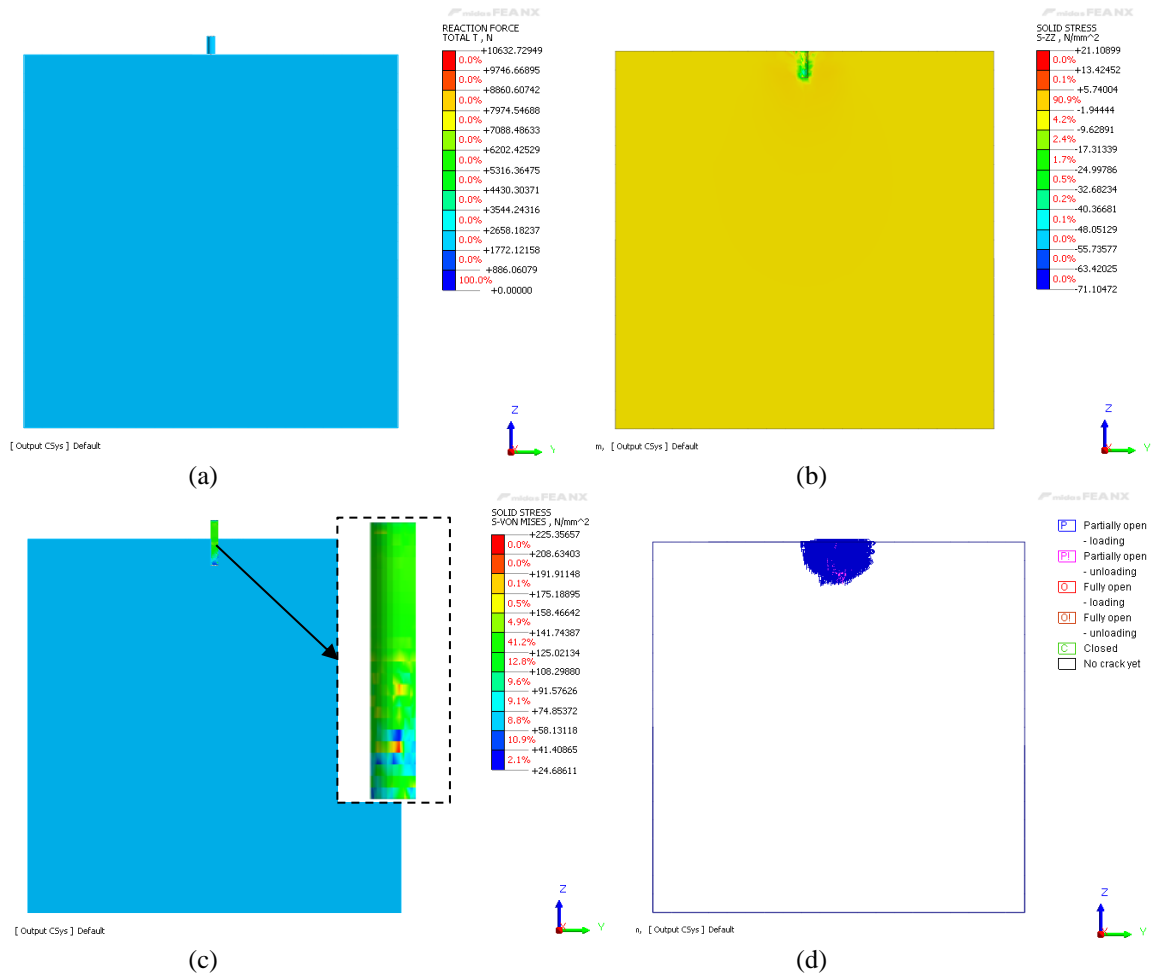
Gambar 7. Grafik reaksi tarik angkur diameter 16 mm



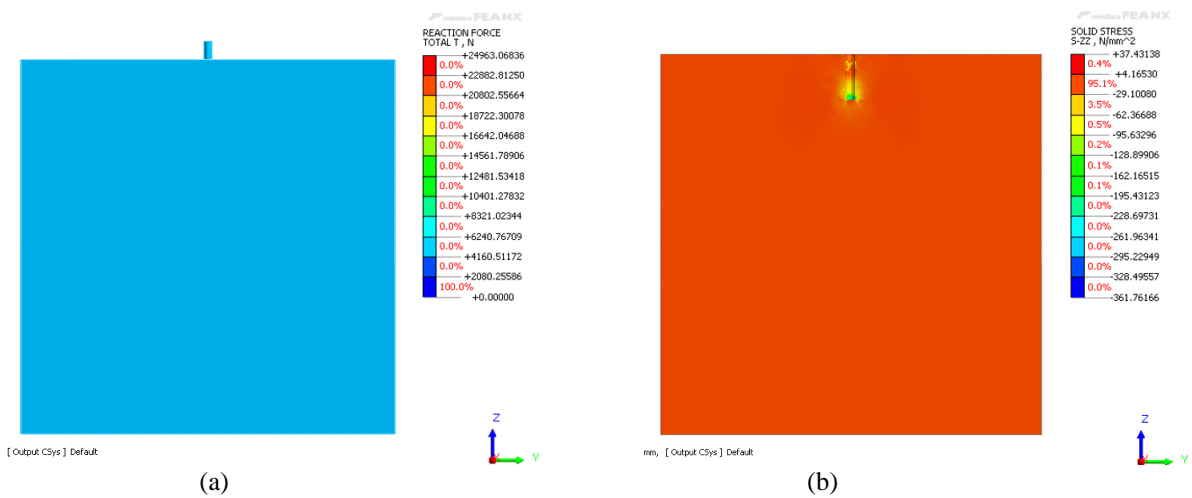
Gambar 8. Grafik reaksi tarik angkur diameter 19 mm

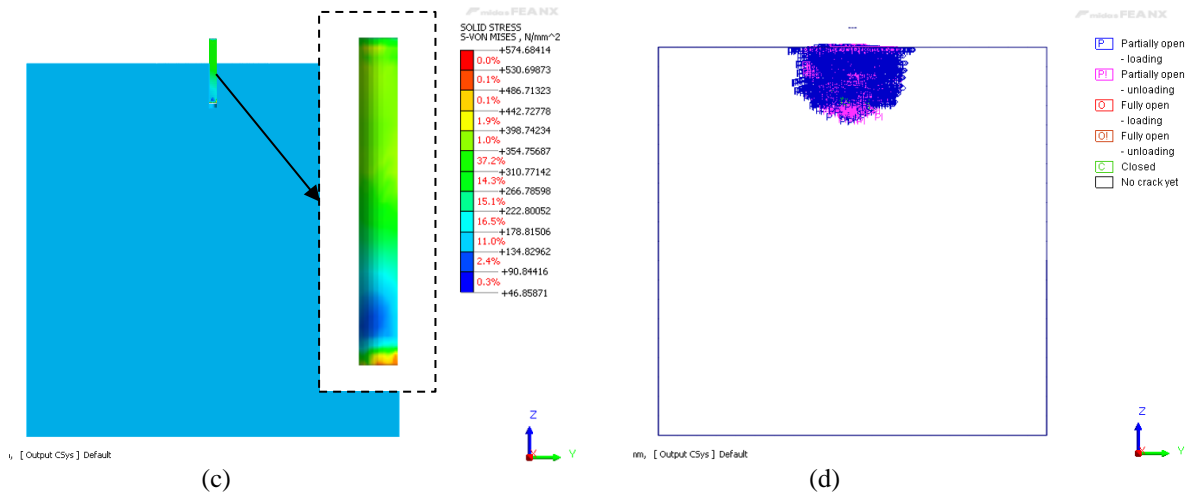
Gambar 9 sampai Gambar 12 menunjukkan hasil dari Midas FEA NX mengenai kapasitas tarik, tegangan beton, tegangan angkur, dan bentuk keruntuhan yang terjadi untuk model angkur diameter 10 mm yang ditanam ke dalam beton dengan kedalaman penanaman yang berbeda-beda serta mutu beton $f_c' 25$ MPa. Untuk model angkur dengan kedalaman penanaman 35 mm dan 60 mm, keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan beton dikarenakan tegangan beton melebihi tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh beton sehingga terjadi keretakan pada beton, sedangkan tegangan yang terjadi pada angkur belum mencapai tegangan putus angkur. Untuk model angkur dengan kedalaman penanaman 105 mm dan 150 mm, keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan angkur dikarenakan tegangan angkur

telah melebihi tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh angkur sedangkan tegangan yang terjadi pada beton belum mencapai tegangan maksimum beton.

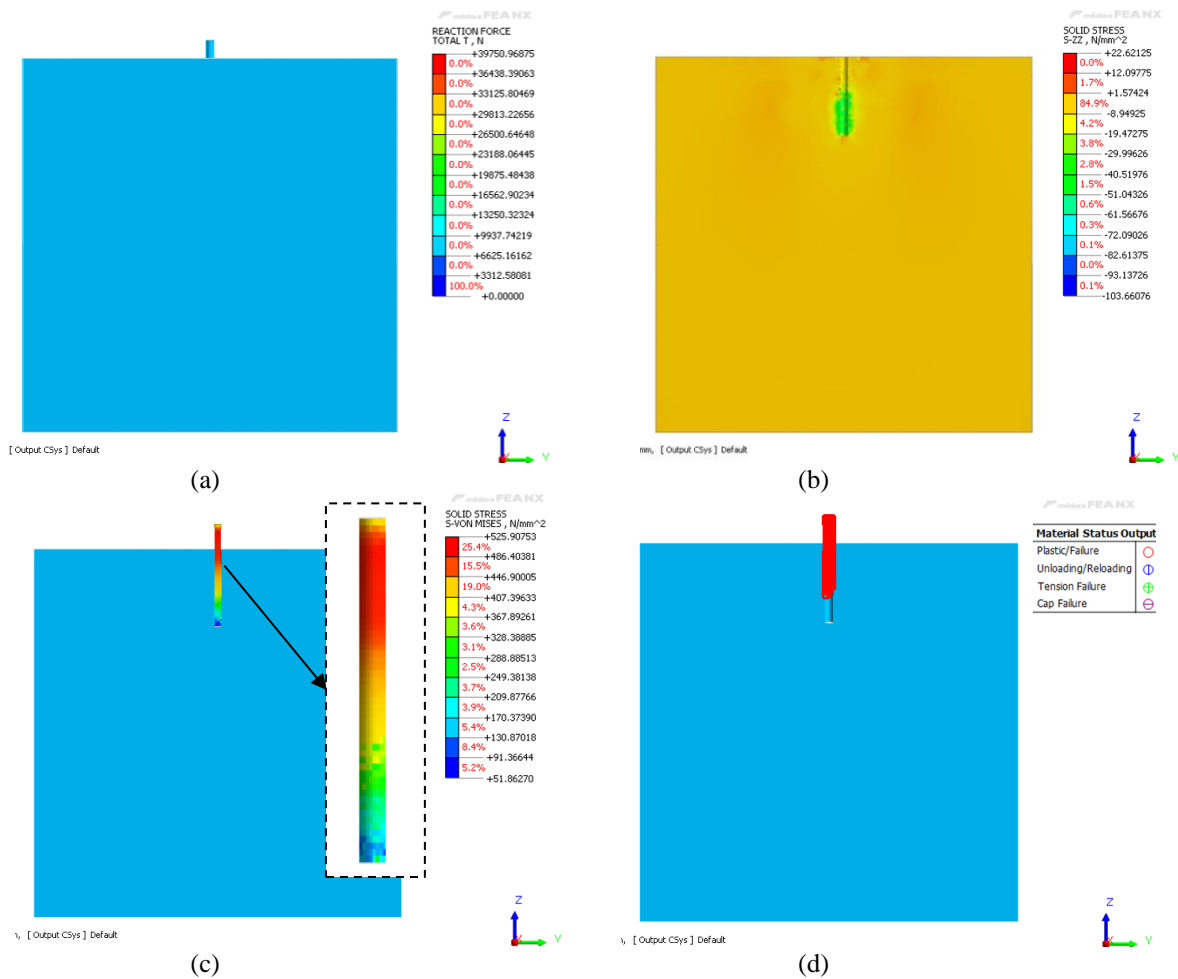


Gambar 9. Hasil analisis kuat tarik angkur diameter 10 mm, kedalaman 35 mm, f_c' 25 MPa (a) kapasitas tarik angkur (b) tegangan beton (c) tegangan baja dan (d) bentuk keruntuhan

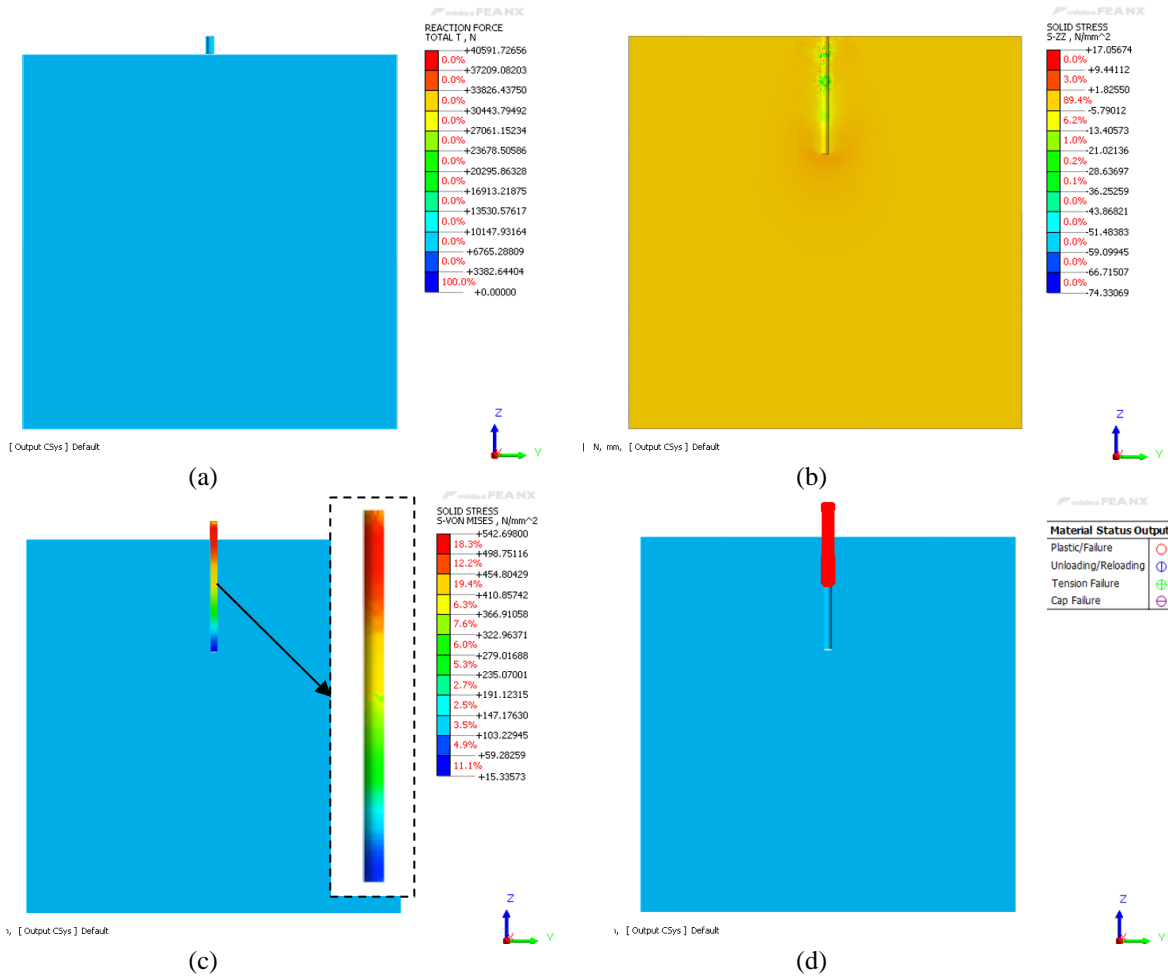




Gambar 10. Hasil analisis kuat tarik angkur diameter 10 mm, kedalaman 60 mm, $f_c' = 25$ MPa (a) kapasitas tarik angkur (b) tegangan beton (c) tegangan baja dan (d) bentuk keruntuhan

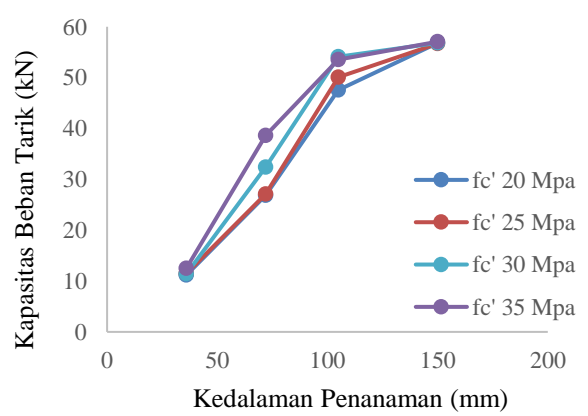
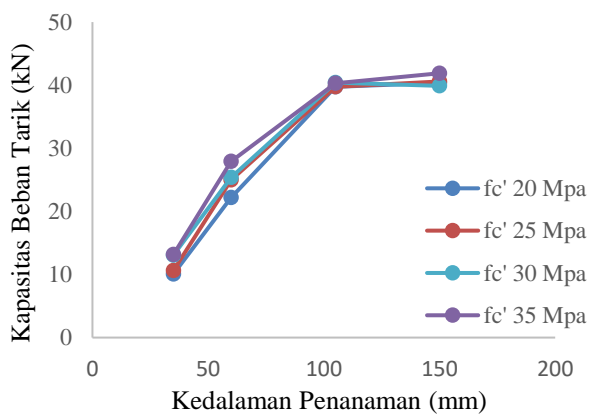


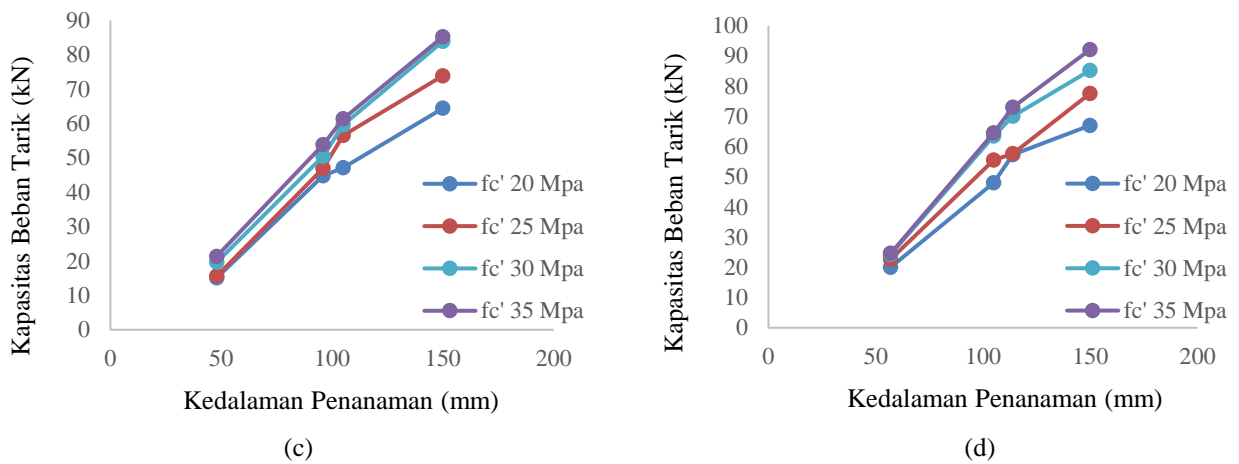
Gambar 11. Hasil analisis kuat tarik angkur diameter 10 mm, kedalaman 105 mm, $f_c' = 25$ MPa (a) kapasitas tarik angkur (b) tegangan beton (c) tegangan baja dan (d) bentuk keruntuhan



Gambar 12. Hasil analisis kuat tarik angkur diameter 10 mm, kedalaman 150 mm, f_c' 25 MPa (a) kapasitas tarik angkur (b) tegangan beton (c) tegangan baja dan (d) bentuk keruntuhan

Dari data hasil analisis benda uji dapat dibuat grafik perbandingan kuat tarik angkur berdasarkan pengujian pada masing-masing kedalaman penanaman angkur dan mutu beton yang dapat dilihat pada Gambar 13 untuk dapat mengetahui pengaruh kedalaman penanaman angkur terhadap kapasitas tarik pada masing-masing diameter angkur.





Gambar 13. Grafik hasil uji tarik angkur diameter (a) 10 mm (b) 12 mm (c) 16 mm dan (d) 19 mm

Perbandingan hasil uji Midas FEA NX dan perhitungan teoritis

Perbandingan hasil pengujian tarik angkur menggunakan Midas Fea NX dan hasil perhitungan teoritis dapat dilihat pada Tabel 8 sampai Tabel 11 sebagai berikut.

Tabel 8. Perbandingan hasil Midas FEA NX dan perhitungan teoritis angkur diameter 10 mm

| fc' (MPa) | Kedalaman Penanaman (mm) | Hasil Midas FEA NX (kN) | Hasil Perhitungan Teoritis (kN) | % Selisih |
|-----------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------|-----------|
| 20 MPa | 35 | 10,07 | 9,07 | 9,91 |
| | 60 | 22,21 | 20,37 | 9,02 |
| | 105 | 39,74 | 41,23 | 3,62 |
| | 150 | 40,37 | 41,23 | 2,09 |
| 25 MPa | 35 | 10,63 | 10,15 | 4,80 |
| | 60 | 24,96 | 22,77 | 9,62 |
| | 105 | 39,75 | 41,23 | 3,60 |
| 30 MPa | 150 | 40,59 | 41,23 | 1,56 |
| | 35 | 13,07 | 11,11 | 9,58 |
| | 60 | 25,38 | 24,95 | 1,72 |
| 35 MPa | 105 | 40,40 | 41,23 | 2,01 |
| | 150 | 39,90 | 41,23 | 3,24 |
| | 35 | 13,16 | 12,01 | 9,60 |
| 35 MPa | 60 | 27,95 | 26,95 | 3,71 |
| | 105 | 40,30 | 41,23 | 2,26 |
| | 150 | 41,89 | 41,23 | 1,60 |

Tabel 9. Perbandingan hasil Midas FEA NX dan perhitungan teoritis angkur diameter 12 mm

| fc' (MPa) | Kedalaman Penanaman (mm) | Hasil Midas FEA NX (kN) | Hasil Perhitungan Teoritis (kN) | % Selisih |
|-----------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------|-----------|
| 20 MPa | 36 | 11,18 | 9,47 | 12,31 |
| | 72 | 26,82 | 26,78 | 0,18 |
| | 105 | 47,59 | 47,15 | 0,92 |
| | 150 | 56,81 | 59,38 | 4,33 |
| 25 MPa | 36 | 11,48 | 10,58 | 8,44 |
| | 72 | 27,11 | 29,94 | 9,46 |
| | 105 | 50,08 | 52,72 | 5,01 |
| | 150 | 56,68 | 59,38 | 4,54 |

Tabel 9. Perbandingan hasil Midas FEA NX dan perhitungan teoritis angkur diameter 12 mm (lanjutan)

| fc' (MPa) | Kedalaman Penanaman (mm) | Hasil Midas FEA NX (kN) | Hasil Perhitungan Teoritis (kN) | % Selisih |
|--------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------------|-----------|
| 30 MPa | 36 | 11,41 | 11,59 | 1,62 |
| | 72 | 32,41 | 32,79 | 1,17 |
| | 105 | 54,09 | 57,75 | 6,34 |
| | 150 | 56,82 | 59,38 | 4,31 |
| 35 MPa | 36 | 12,52 | 12,52 | 0,03 |
| | 72 | 38,64 | 35,42 | 9,10 |
| | 105 | 53,52 | 59,38 | 9,86 |
| | 150 | 57,06 | 59,38 | 3,90 |

Tabel 10. Perbandingan hasil Midas FEA NX dan perhitungan teoritis angkur diameter 16 mm

| fc' (MPa) | Kedalaman Penanaman (mm) | Hasil Midas FEA NX (kN) | Hasil Perhitungan Teoritis (kN) | % Selisih |
|--------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------------|-----------|
| 20 MPa | 48 | 15,10 | 14,57 | 3,62 |
| | 96 | 44,77 | 41,22 | 8,61 |
| | 105 | 47,17 | 47,15 | 0,04 |
| | 150 | 64,41 | 67,10 | 4,00 |
| 25 MPa | 48 | 15,62 | 16,30 | 4,15 |
| | 96 | 46,91 | 46,09 | 1,78 |
| | 105 | 56,51 | 52,72 | 7,19 |
| | 150 | 73,89 | 75,02 | 1,50 |
| 30 MPa | 48 | 19,62 | 17,85 | 9,92 |
| | 96 | 50,44 | 50,49 | 0,10 |
| | 105 | 59,58 | 57,75 | 3,16 |
| | 150 | 83,88 | 82,18 | 2,08 |
| 35 MPa | 48 | 21,37 | 19,28 | 9,77 |
| | 96 | 53,84 | 54,53 | 1,27 |
| | 105 | 61,38 | 62,38 | 1,60 |
| | 150 | 85,22 | 88,76 | 3,99 |

Tabel 11. Perbandingan hasil Midas FEA NX dan perhitungan teoritis angkur diameter 19 mm

| fc' (MPa) | Kedalaman Penanaman (mm) | Hasil Midas FEA NX (kN) | Hasil Perhitungan Teoritis (kN) | % Selisih |
|--------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------------|-----------|
| 20 MPa | 57 | 20,03 | 18,86 | 6,20 |
| | 105 | 47,96 | 47,15 | 1,70 |
| | 114 | 57,30 | 53,35 | 7,41 |
| | 150 | 66,98 | 67,10 | 0,17 |
| 25 MPa | 57 | 22,67 | 21,09 | 7,50 |
| | 105 | 55,53 | 52,72 | 5,33 |
| | 114 | 57,66 | 59,64 | 3,32 |
| | 150 | 77,59 | 75,02 | 3,43 |
| 30 MPa | 57 | 24,26 | 23,10 | 5,03 |
| | 105 | 63,45 | 57,75 | 9,87 |
| | 114 | 70,04 | 65,33 | 7,20 |
| | 150 | 85,21 | 82,18 | 3,69 |
| 35 MPa | 57 | 24,62 | 24,95 | 1,31 |
| | 105 | 64,50 | 62,38 | 3,40 |
| | 114 | 72,94 | 70,57 | 3,36 |
| | 150 | 92,09 | 88,76 | 3,75 |

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian menggunakan metode elemen hingga pada kuat tarik angkur dengan diameter, kedalaman penanaman angkur, dan mutu beton yang berbeda-beda didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa diameter angkur mempengaruhi kapasitas tarik angkur. Hal ini dibuktikan dari diameter angkur yang lebih besar memiliki kapasitas tarik yang lebih tinggi.
2. Berdasarkan hasil pengujian kuat tarik angkur, dapat disimpulkan bahwa kedalaman penanaman angkur memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kapasitas tarik angkur. Semakin dalam penanaman angkur, maka semakin besar pula kapasitas tarik angkur. Namun pada diameter 10 mm kedalaman penanaman 105 mm, apabila dinaikan kedalaman penanamannya tidak memiliki pengaruh yang signifikan.
3. Berdasarkan hasil pengujian kuat tarik angkur, dapat disimpulkan bahwa mutu beton memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kapasitas tarik angkur pada angkur dengan diameter 16 mm dan 19 mm, tetapi tidak terlalu berpengaruh signifikan terhadap kapasitas tarik angkur pada diameter angkur 10 mm dan 12 mm.
4. Dari hasil analisis benda uji, kegagalan yang terjadi pada angkur diameter 10 mm dan 12 mm adalah kegagalan beton dan angkur. Sedangkan kegagalan yang terjadi pada diameter 16 mm dan 19 mm adalah kegagalan beton.
5. Kapasitas tarik angkur yang dianalisis menggunakan metode elemen hingga memberikan hasil yang cukup akurat dengan perbedaan terhadap perhitungan teoritis sebesar 0,03% - 12,31%.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Midas FEA NX yang telah memberikan lisensi untuk menggunakan aplikasi Midas FEA NX sebagai sarana dalam melakukan analisis uji tarik angkur.

DAFTAR PUSTAKA

- Abel, D. H. (2018). Studi Eksperimental Pengaruh Kedalaman dan Diameter Pada Kuat Lekat Angkur dengan Beton Menggunakan Chemical Anchor. *Universitas Katolik Parahyangan, Bandung*.
- Al-Fouadi, W., Mohammed, A., & Abdullah, K. (2018). Experimental and analytical study on behavior of pull-out failure of reinforcing bar embedded in concrete blocks.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan* (SNI 2847:2019).
- Dewobroto, W. (2015). *Struktur Baja–Perilaku, Analisis & Desain – AISC 2010*. Jurusan Teknik Sipil UPH, Tangerang.
- Mousavi Siamakani, S. Y., Jiradilok, P., Nagai, K., & Sahamitmongkol, R. (2020). Discrete mesoscale analysis of adhesive anchors under tensile load taking into account post-installed reinforcement. *Construction and Building Materials*, 262, 120778. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120778>
- Rosyidah, A., Putra, J. W., & Saputra, J. (2022). Chemical Anchor Pullout Force Modeling with Variation of Anchor Embedment Length in Concrete and Concrete Strength. 8(September), 277–290. <https://doi.org/10.22146/jcef.3769>
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *Baja tulangan beton* (SNI 2052:2017).
- Upadhyaya, P., & Kumar, S. (2015). Pull-out capacity of adhesive anchors: An analytical solution. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 60, 54–62. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2015.03.006>

