

## **PENGARUH JARAK TEPI ANGKUR ADHESIF TERHADAP KAPASITAS TARIK DENGAN MIDAS FEA NX**

**Gabriella Victoria<sup>1</sup>, Daniel Christianto<sup>2</sup>, dan Giovanni Pranata<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta  
*gabriella.325200001@stu.untar.ac.id*

<sup>2</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta  
*danielc@ft.untar.ac.id*

<sup>3</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta  
*giovannip@ft.untar.ac.id*

*Masuk: 03-01-2024, revisi: 16-01-2024, diterima untuk diterbitkan: 01-02-2024*

---

### **ABSTRACT**

*Based on the installation method, anchors classified into 2 groups, namely cast in place and post installed anchors. Based on the load transfer mechanism, post installed anchors can be categorized into two namely, mechanical anchors and adhesive anchors. Adhesive anchor system consists of steel inserted into holes drilled in the concrete, with a structural adhesive as the anchorage adhesive agent between the concrete and steel. Factors that can affect the strength of an anchor embedded in concrete include the diameter and spacing of the anchor edges and the quality of the concrete material used. This research was conducted by modeling post adhesive anchors embedded into concrete then subjected to tensile forces to determine the effect of using anchor edge spacing with varying anchor diameter and concrete quality on the tensile strength of the anchor based on theoretical calculations and Midas FEA NX modeling. The modeling that will be studied is a total of 64 samples, consisting of variations in anchor diameter of 10 mm, 12 mm, 16 mm, 19 mm, variations in anchor edge spacing of 60 mm, 75 mm, 130 mm, 250 mm, and variations in concrete quality of 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, 35 MPa.*

*Keywords: post adhesive anchor; anchor edge distance; Midas FEA NX; tensile strength*

### **ABSTRAK**

Berdasarkan cara pemasangan, ankur diklasifikasikan menjadi 2 kelompok yaitu ankur cor di tempat dan ankur pasca cor. Berdasarkan mekanisme transfer beban, ankur pasca pasang dapat dikategorikan menjadi dua yaitu, ankur mekanikal dan ankur adhesif. Sistem ankur adhesif terdiri dari batang baja atau berulir yang dimasukkan ke dalam lubang yang dibor pada beton, dengan perekat struktural sebagai agen perekat ankur antara beton dan baja. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan ankur yang tertanam pada beton yaitu seperti diameter serta jarak tepi ankur dan mutu bahan dari beton yang digunakan. Penelitian ini dilakukan dengan membuat permodelan ankur pasca pasang adhesif yang ditanam ke beton kemudian diberi gaya tarik untuk mengetahui pengaruh penggunaan jarak tepi ankur dengan diameter ankur dan mutu beton yang bervariasi terhadap kapasitas tarik ankur berdasarkan perhitungan teoritis dan permodelan Midas FEA NX. Permodelan yang akan diteliti sebanyak total 64 sampel, yang terdiri dari variasi diameter ankur sebesar 10 mm, 12 mm, 16 mm, 19 mm, variasi jarak tepi ankur sebesar 60 mm, 75 mm, 130 mm, 250 mm, dan variasi mutu beton sebesar 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, 35 MPa.

Kata kunci: ankur pasca pasang adhesif; jarak tepi ankur; Midas FEA NX; kapasitas tarik

## **1. PENDAHULUAN**

Angkur umum digunakan untuk menghubungkan elemen beton cor di tempat dengan beton yang baru dicor. Pemasangan ankur ke beton bisa dibagi menjadi 2 kategori yaitu cor di tempat (*cast-in-place*) dan pasca pasang (*post-installed*) (González et al., 2018). Cara pemasangan ankur cor di tempat yaitu baut ankur dipasang sebelum dilakukan pengecoran pada beton pada posisi tertentu sesuai yang direncanakan kemudian cor beton dituang ke dalam bekisting, sedangkan pemasangan ankur pasca pasang dilakukan pengeboran untuk memasang baut ankur karena dilakukan saat beton sudah mengeras (American Concrete Institute, 2014).

Walaupun perilaku ankur pasca pasang kurang dapat dipahami dibandingkan ankur cor di tempat, pemakaian ankur pasca pasang memungkinkan fleksibilitas yang lebih besar dalam perencanaan, desain, dan perkuatan struktur beton (Gesoglu et al., 2005). Berdasarkan mekanisme transfer beban, ankur pasca pasang dapat dikategorikan

menjadi dua yaitu, angkur mekanikal dan angkur adhesif. Angkur mekanikal mentransfer beban melalui gesekan dan pengaitan mekanis, sedangkan angkur adhesif bergantung pada perekatan antara angkur dan perekat atau antara perekat dan beton untuk mentransfer beban (Contrafatto & Cosenza, 2014).

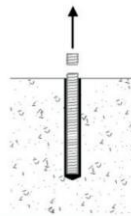
Waktu *curing* angkur adhesif relatif cepat, sehingga ideal untuk situasi yang membutuhkan waktu kering yang cepat. Perekat yang biasa digunakan adalah polimer seperti *epoxies*, *polyesters*, dan *vinylesters*. Ketika resin dan agen *curing* dicampur, perekat akan mengalami reaksi eksotermik yang menghasilkan pembentukan matriks polimer yang mengikat angkur dan beton bersama. Angkur adhesif biasanya dipasang dalam lubang kondisi kering bersih untuk mencapai kekuatan adhesif yang maksimum (Cook et al., 2003).

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan angkur yang tertanam pada beton yaitu dimensi angkur, jarak tepi angkur, kedalaman penanaman angkur dan mutu bahan dari beton yang digunakan. Kekuatan angkur dapat diketahui dan diuji ketika angkur diberikan beban sampai melebihi kapasitasnya dan mengalami keruntuhan. Salah satu pola keruntuhan angkur adalah terhadap gaya tarik. Menurut ACI 318-11, perilaku kerusakan akibat pembebanan tarik antara lain fraktur pada komponen angkur, *concrete breakout*, *concrete sideface blowout*, *pull-out failure*, dan kegagalan *splitting* (Wiguntoro & Apriyatno, 2020).

Metode elemen hingga (MEH) adalah salah satu metode numerik yang sering digunakan di dunia fisika, rekayasa, dan ilmu-ilmu terapan lainnya. Metode ini seringkali digunakan dalam kasus-kasus yang rumit. Metode elemen hingga mempunyai tingkat ketepatan dan ketelitian yang baik. Maka dari itu, metode elemen hingga dapat digunakan untuk mengkaji suatu struktur bangunan. Prediksi dan analisis kinerja struktur bisa diprediksi menggunakan metode elemen hingga (Kardestuncer & Norrie, 1987).

Maka dari itu, dilakukan penelitian ini dengan menganalisis kekuatan angkur terhadap gaya tarik pada jenis angkur pasca pasang adhesif untuk mengetahui pengaruh penggunaan jarak tepi angkur yang berbeda-beda terhadap kekuatan tarik angkur.

### Kuat tarik angkur ke beton



Gambar 1. Angkur putus akibat gaya Tarik (Nilforoush, 2017)

Kuat nominal baut angkur akibat gaya tarik,  $N_{sa}$ , ditentukan dari kalkulasi berdasarkan properti dari material angkur dan dimensi fisik dari angkur (American Concrete Institute, 2014):

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

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

### Kuat jebol beton terhadap tarik (*Concrete Breakout*)



Gambar 2. Beton jebol akibat gaya Tarik (Cook et al., 2003)

Kuat nominal jebol beton akibat gaya tarik,  $N_{cb}$  untuk angkur tunggal dihitung tidak kurang dari (American Concrete Institute, 2014):

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

dengan  $N_{cb}$  = kuat nominal jebol beton akibat gaya tarik,  $A_{Nc}$  = luas proyeksi kerusakan beton pada baut angkur tunggal untuk memperhitungkan kuat tarik,  $A_{Nco}$  = 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 kuat tarik baut angkur agar konservatif,  $\psi_{cp,N}$  = faktor modifikasi untuk memperhitungkan adanya tegangan tarik belah (*splitting*) saat pemasangannya, dan  $N_b$  = kuat dasar jebol beton angkur tunggal terhadap tarik.

**Metode elemen hingga**

Metode elemen hingga (MEH) adalah salah satu metode numerik yang sering digunakan di dunia fisika, rekayasa, dan ilmu-ilmu terapan lainnya. Metode ini seringkali digunakan dalam kasus-kasus yang rumit. Metode elemen hingga dalam penerapannya menjadikan suatu sistem kontinu menjadi bagian-bagian yang sangat kecil. Proses ini dikenal dengan sebutan diskritisasi. Metode elemen hingga mempunyai tingkat ketepatan dan ketelitian yang baik. Maka dari itu, metode elemen hingga dapat digunakan untuk mengkaji suatu struktur bangunan. Prediksi dan analisis kinerja struktur bisa diprediksi menggunakan metode elemen hingga (Kardestuncer & Norrie, 1987).

Langkah-langkah untuk menyusun dan melakukan analisis FEM adalah diskritisasi serta penentuan jenis elemen, kemudian pemilihan sebuah fungsi perpindahan, kemudian penentuan hubungan antara regangan dan tegangan serta anatara regangan dan perpindahan, kemudian penurunan elemen dan persamaan matriks kekakuan (gaya badan dan gaya permukaan), kemudian perakitan persamaan elemen untuk membentuk persamaan global dan kondisi batas, kemudian penyelesaian derajat kebebasan, kemudian penyelesaian hasil regangan dan tegangan elemen, dan terakhir interpretasi hasil (Logan, 2017).

**2. METODE PENELITIAN**

Penelitian dilakukan dengan menggunakan studi literatur (teoritis) dan berdasarkan analisis menggunakan perhitungan teoritis dan permodelan dengan bantuan aplikasi MIDAS FEA NX. Pengujian secara teoritis dilakukan dengan melakukan perhitungan berdasarkan standar yang tertera di kajian pustaka. Pengujian permodelan menggunakan aplikasi dilakukan dengan membuat permodelan pengujian tarik angkur pasca pasang adhesif pada beton dengan jarak tepi angkur bervariasi serta mutu beton, dan diameter yang berbeda-beda, dengan tujuan menghasilkan kapasitas tarik angkur yang beragam berdasarkan variasi tersebut.

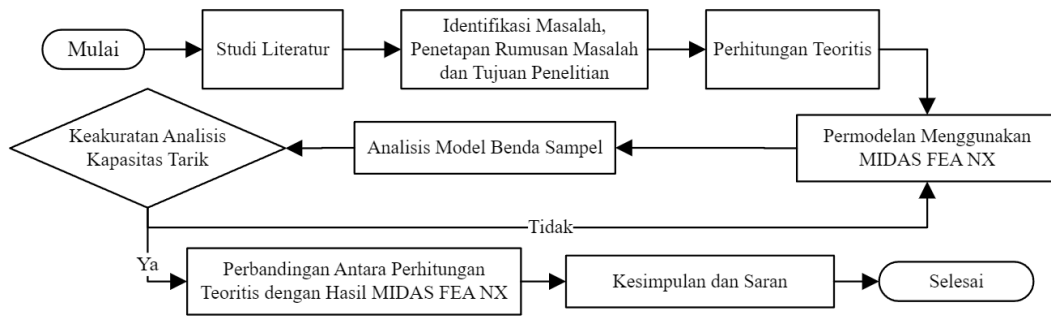
Model yang akan diteliti sebanyak total 64 sampel terdiri dari diameter angkur digunakan sebesar 10 mm, 12 mm, 16 mm, dan 19 mm yang ditanam ke beton berbentuk kubus 500 mm dengan panjang kedalaman angkur sebesar 150 mm. Angkur ditanam ke beton dengan variasi jarak tepi angkur bervariasi sebesar 60 mm, 75 mm, 130 mm, dan 250 mm dengan variasi mutu beton sebesar 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, dan 35 MPa. Nilai tegangan kuat leleh angkur ( $f_y$ ) digunakan minimal 420 MPa dan tegangan kuat tarik angkur ( $f_u$ ) digunakan minimal 525 MPa.

Tabel 1. Permodelan yang dianalisis

Panjang Kedalaman Angkur (mm)	Jarak Tepi Angkur (mm)	Mutu Beton, $f_c'$ (MPa)			
		D10 mm	D12 mm	D16 mm	D19 mm
150	60	20	20	20	20
		25	25	25	25
		30	30	30	30
		35	35	35	35
	75	20	20	20	20
		25	25	25	25
		30	30	30	30
		35	35	35	35
	130	20	20	20	20
		25	25	25	25
		30	30	30	30
		35	35	35	35
	250	20	20	20	20
		25	25	25	25
		30	30	30	30
		35	35	35	35

Penelitian ini dilaksanakan dengan diterapkan penggunaan metode elemen hingga (MEH) untuk mengevaluasi kapasitas angkur jenis pasca pasang adhesif dalam menahan gaya tarik yang bekerja pada struktur. Penggunaan metode ini dilakukan dengan bantuan program Midas FEA NX. Perangkat ini umumnya digunakan untuk memodelkan, menganalisis, dan menguji berbagai struktur dan komponen dengan menguraikan menjadi elemen-elemen diskrit bertujuan untuk memahami bagaimana struktur tersebut berperilaku di bawah beban tertentu, seperti beban gaya, panas, atau tekanan.

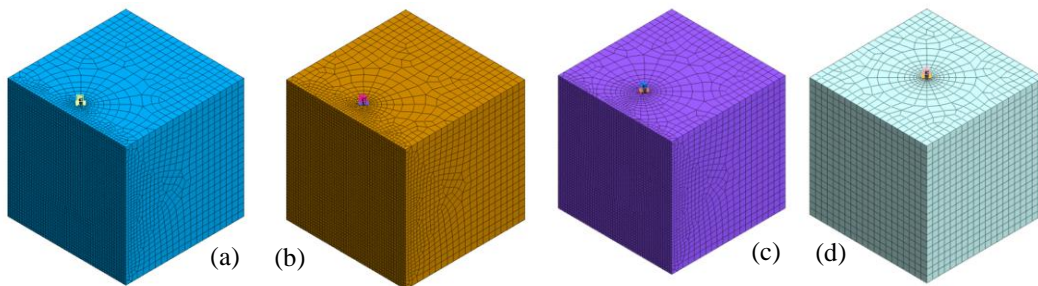
Sistematika penelitian dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Sistematika penelitian

### Pemodelan benda uji

Bentuk 3 dimensi permodelan pengujian tarik angkur adhesif yang ditanam ke beton dengan jarak tepi berbeda-beda pada program MIDAS FEA NX dapat dilihat pada gambar 4. Permodelan beton menggunakan elemen *solid* berbentuk kubus dan angkur menggunakan elemen *solid* berbentuk silinder dengan asumsi keduanya menempel lekat sempurna menggunakan *interface*.



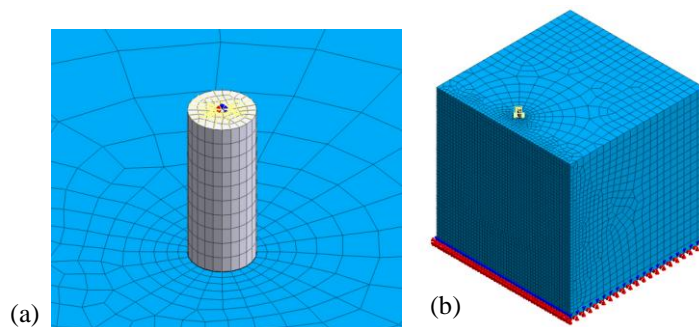
Gambar 4. Permodelan pada jarak tepi (a) 60 mm, (b) 75 mm, (c) 130 mm, dan (d) 250 mm

Angkur menggunakan tipe model *von mises* dengan ukuran *mesh* 2.5 mm. Beton menggunakan material tipe model *concrete smeared crack* dengan ukuran *mesh* 25 mm. Pada material beton dimasukkan nilai kekuatan tarik dari beton ( $f_t$ ) berdasarkan CEB-FIB *model code* (fib, 2010):

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

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

Permodelan beton pada bagian bawah diberikan *constraint* berupa sendi agar beton tidak terangkat dari lantai ketika angkur ditarik secara vertikal ke atas. Pada angkur bagian tengah atas juga diberikan *constraint* agar ketika mengalami perpindahan tidak bisa berputar dan hanya bergerak ke atas. *Constraint* pada permodelan dapat dilihat pada gambar 5. Analisa dilakukan untuk permodelan jarak tepi angkur ke beton 60 mm dan 75 mm sampai *displacement* 2 mm. Analisa untuk permodelan jarak tepi angkur ke beton 130 mm dan 250 mm dilakukan sampai *displacement* 4 mm. Analisis permodelan angkur ditanam ke beton pada MIDAS FEA NX dilakukan secara non linear untuk mengetahui besar kapasitas tarik angkur ketika diberi gaya sampai mengalami perpindahan.



Gambar 5. *Constraint* pada (a) bagian tengah atas angkur dan (b) bagian bawah beton

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Hasil perhitungan teoritis

Perhitungan teoritis kapasitas baut angkur terhadap tarik dan kuat jebol beton terhadap tarik dilakukan sebanyak 64 kali pada model dengan variasi jarak tepi angkur ke beton (60 mm, 75 mm, 130 mm, 250 mm), variasi mutu beton (20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, 35 MPa), dan variasi diameter angkur (10 mm, 12 mm, 16 mm, 19 mm). Tabel perhitungan teoritis kapasitas tarik dan jenis keruntuhan pada diameter angkur 10 mm, 12 mm, 16 mm, dan 19 mm dapat dilihat pada tabel 2 sampai tabel 5.

Tabel 2. Hasil perhitungan teoritis diameter angkur 10 mm

Mutu Beton, $f_c'$ (MPa)	Jarak Tepi Angkur (mm)	Keruntuhan Angkur, $N_{sa}$ (kN)	Keruntuhan Beton, $N_{cb}$ (kN)	Kapasitas Tarik Dipakai (kN)	Jenis Keruntuhan
20	60	41,2334	29,8309	29,8309	Beton
	75		32,2061	32,2061	Beton
	130		41,6040	41,2334	Angkur
	250		67,0960	41,2334	Angkur
25	60	41,2334	33,3519	33,3519	Beton
	75		36,0075	36,0075	Beton
	130		46,5147	41,2334	Angkur
	250		75,0156	41,2334	Angkur
30	60	41,2334	36,5352	36,5352	Beton
	75		39,4442	39,4442	Beton
	130		50,9543	41,2334	Angkur
	250		82,1755	41,2334	Angkur
35	60	41,2334	39,4626	39,4626	Beton
	75		42,6046	41,2334	Angkur
	130		55,0369	41,2334	Angkur
	250		88,7597	41,2334	Angkur

Tabel 3. Hasil perhitungan teoritis diameter angkur 12 mm

Mutu Beton, $f_c'$ (MPa)	Jarak Tepi Angkur (mm)	Keruntuhan Angkur, $N_{sa}$ (kN)	Keruntuhan Beton, $N_{cb}$ (kN)	Kapasitas Tarik Dipakai (kN)	Jenis Keruntuhan
20	60	59,3761	29,8309	29,8309	Beton
	75		32,2061	32,2061	Beton
	130		41,6040	41,6040	Beton
	250		67,0960	59,3761	Angkur
25	60	59,3761	33,3519	33,3519	Beton
	75		36,0075	36,0075	Beton
	130		46,5147	46,5147	Beton
	250		75,0156	59,3761	Angkur
30	60	59,3761	36,5352	36,5352	Beton
	75		39,4442	39,4442	Beton
	130		50,9543	50,9543	Beton
	250		82,1755	59,3761	Angkur
35	60	59,3761	39,4626	39,4626	Beton
	75		42,6046	42,6046	Beton
	130		55,0369	55,0369	Beton
	250		88,7597	59,3761	Angkur

Tabel 4. Hasil perhitungan teoritis diameter angkur 16 mm

Mutu Beton, $f_c'$ (MPa)	Jarak Tepi Angkur (mm)	Keruntuhan Angkur, $N_{sa}$ (kN)	Keruntuhan Beton, $N_{cb}$ (kN)	Kapasitas Tarik Dipakai (kN)	Jenis Keruntuhan
20	60	105,5575	29,8309	29,8309	Beton
	75		32,2061	32,2061	Beton
	130		41,6040	41,6040	Beton
	250		67,0960	67,0960	Beton
25	60	105,5575	33,3519	33,3519	Beton
	75		36,0075	36,0075	Beton
	130		46,5147	46,5147	Beton
	250		75,0156	75,0156	Beton
30	60	105,5575	36,5352	36,5352	Beton
	75		39,4442	39,4442	Beton
	130		50,9543	50,9543	Beton
	250		82,1755	82,1755	Beton
35	60	105,5575	39,4626	39,4626	Beton
	75		42,6046	42,6046	Beton
	130		55,0369	55,0369	Beton
	250		88,7597	88,7597	Beton

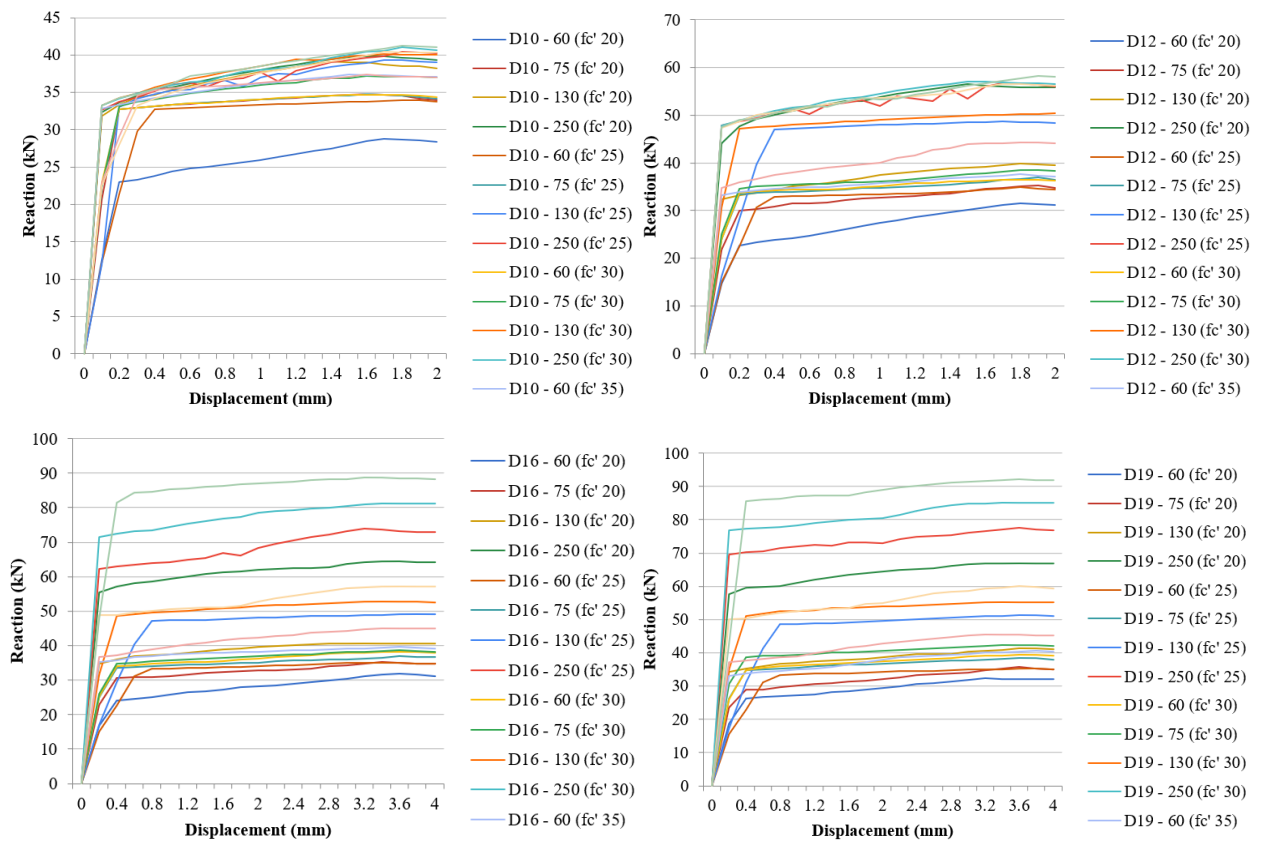
Tabel 5. Hasil perhitungan teoritis diameter angkur 19 mm

Mutu Beton, $f_c'$ (MPa)	Jarak Tepi Angkur (mm)	Keruntuhan Angkur, $N_{sa}$ (kN)	Keruntuhan Beton, $N_{cb}$ (kN)	Kapasitas Tarik Dipakai (kN)	Jenis Keruntuhan
20	60	193,5971	39,4626	39,4626	Beton
	75		42,6046	41,2334	Beton
	130		55,0369	41,2334	Beton
	250		88,7597	41,2334	Beton
25	60	193,5971	39,4626	39,4626	Beton
	75		42,6046	42,6046	Beton
	130		55,0369	55,0369	Beton
	250		88,7597	59,3761	Beton
30	60	193,5971	39,4626	39,4626	Beton
	75		42,6046	42,6046	Beton
	130		55,0369	55,0369	Beton
	250		88,7597	88,7597	Beton
35	60	193,5971	39,4626	39,4626	Beton
	75		42,6046	42,6046	Beton
	130		55,0369	55,0369	Beton
	250		88,7597	88,7597	Beton

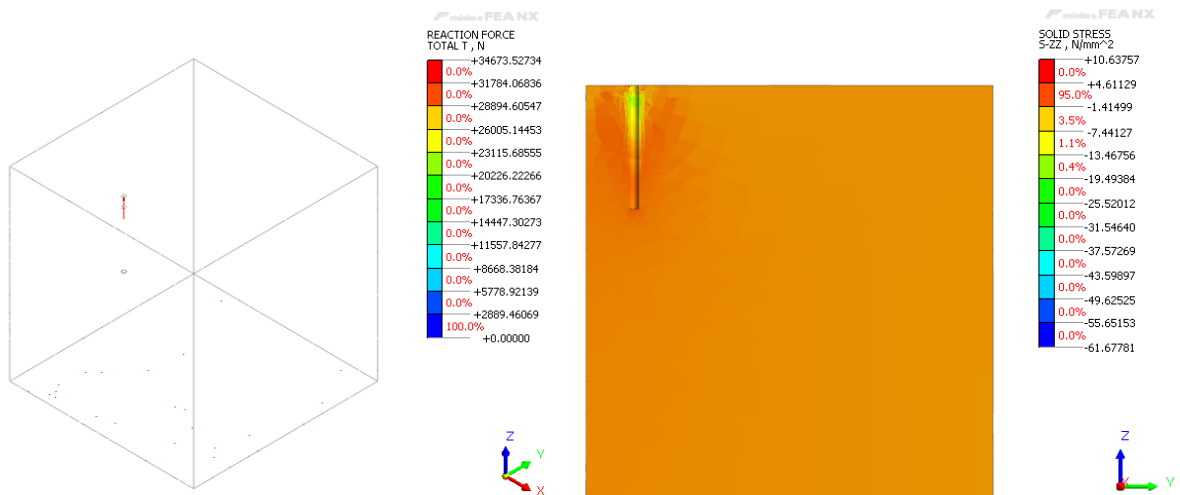
### Hasil analisa permodelan menggunakan MIDAS FEA NX

Permodelan yang menggunakan diameter angkur 10 mm dianalisa sampai pada *displacement* 2 mm kemudian dilihat reaksi yang diperoleh ketika angkur yang ditanam pada beton diberi gaya tarik untuk mendapatkan besar nilai kapasitas tarik angkur tersebut. Grafik hasil reaksi tarik angkur pada setiap diameter dapat dilihat pada gambar 6.

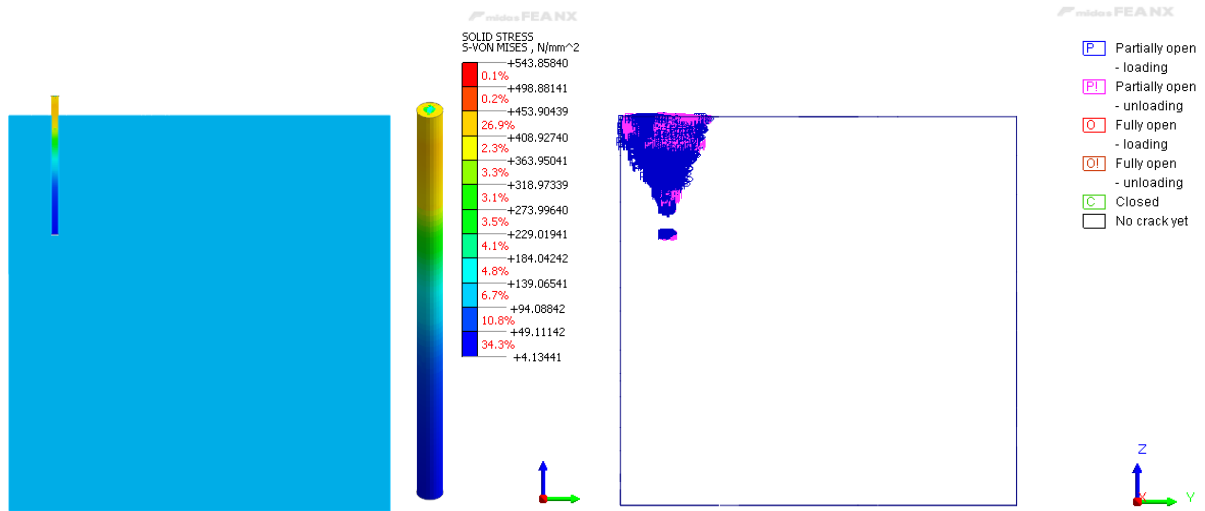
Analisa reaksi ketika angkur ditanam pada beton diberi gaya tarik dilakukan sebanyak 64 kali pada model dengan variasi jarak tepi angkur ke beton (60 mm, 75 mm, 130 mm, 250 mm), variasi mutu beton (20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, 35 MPa), dan variasi diameter angkur (10 mm, 12 mm, 16 mm, 19 mm). Pada permodelan, jenis keruntuhan ditentukan apabila tegangan angkur telah melewati batas tegangan putus sebelum tegangan beton telah melewati tegangan maksimum yang bisa ditahan maka terjadi keruntuhan angkur begitu pula sebaliknya apabila tegangan beton telah melewati tegangan maksimum yang bisa ditahan sebelum tegangan angkur melewati batas tegangan putus maka terjadi keruntuhan beton. Contoh hasil analisa kapasitas tarik angkur, tegangan beton, tegangan baja serta jenis keruntuhan permodelan angkur diameter 10 mm ( $f_c'$  30 MPa) menggunakan MIDAS FEA NX dapat dilihat pada gambar 7 sampai gambar 14.



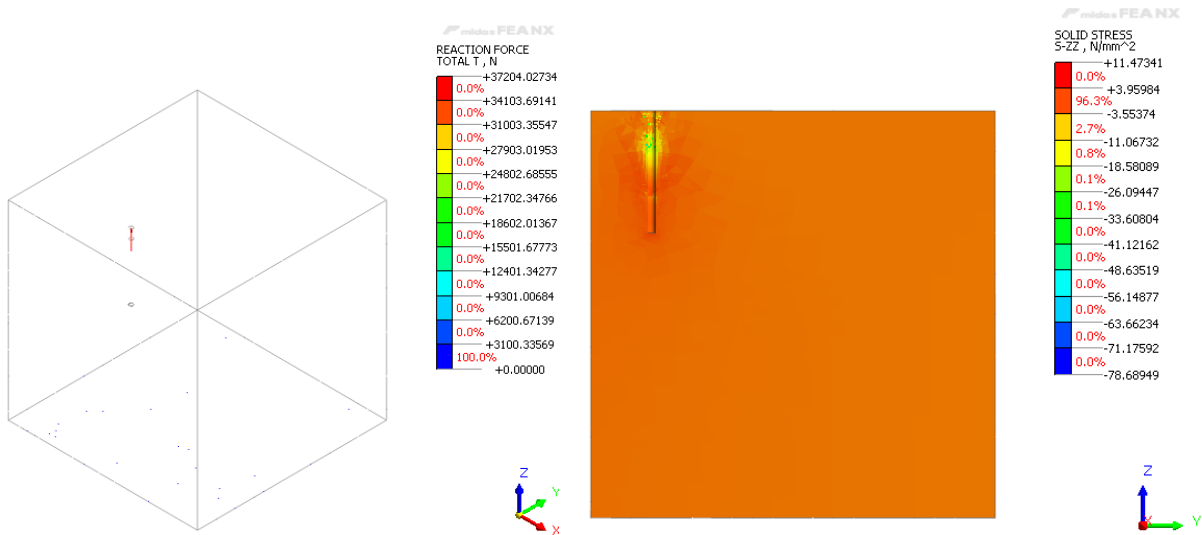
Gambar 6. Grafik hasil reaksi tarik angkur pada diameter 10 mm, 12 mm, 16 mm, dan 19 mm



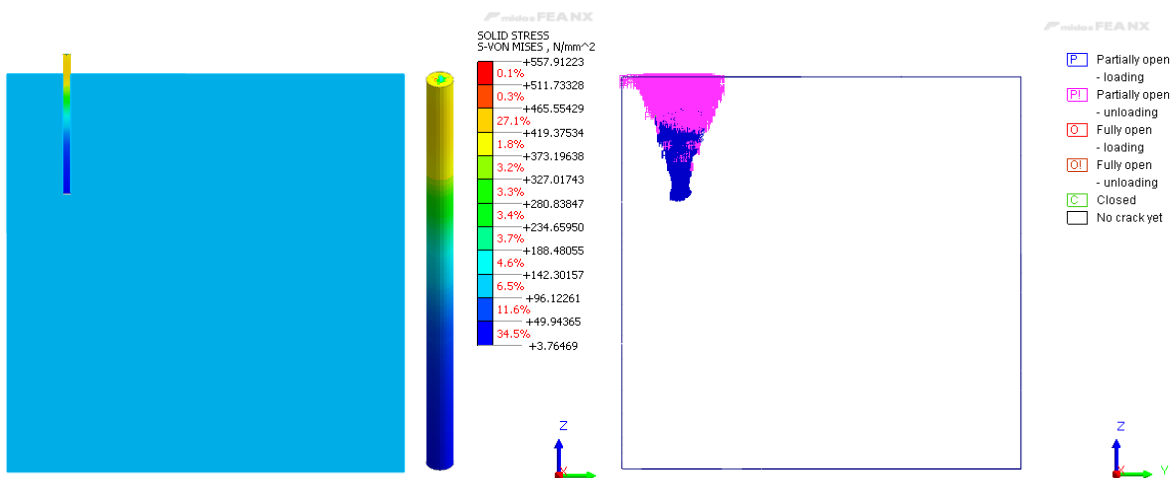
Gambar 7. Kapasitas tarik dan tegangan beton model D10 – 60 mm (fc' 30 MPa)



Gambar 8. Tegangan angkur dan bentuk keruntuhan model D10 – 60 mm ( $f_c'$  30 MPa)

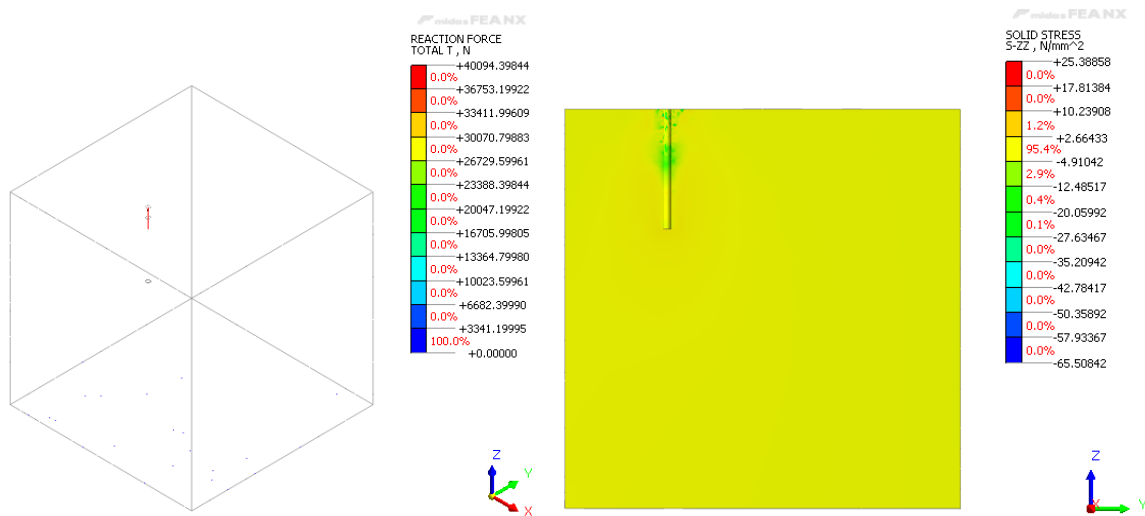


Gambar 9. Kapasitas tarik dan tegangan beton model D10 – 75 mm ( $f_c'$  30 MPa)

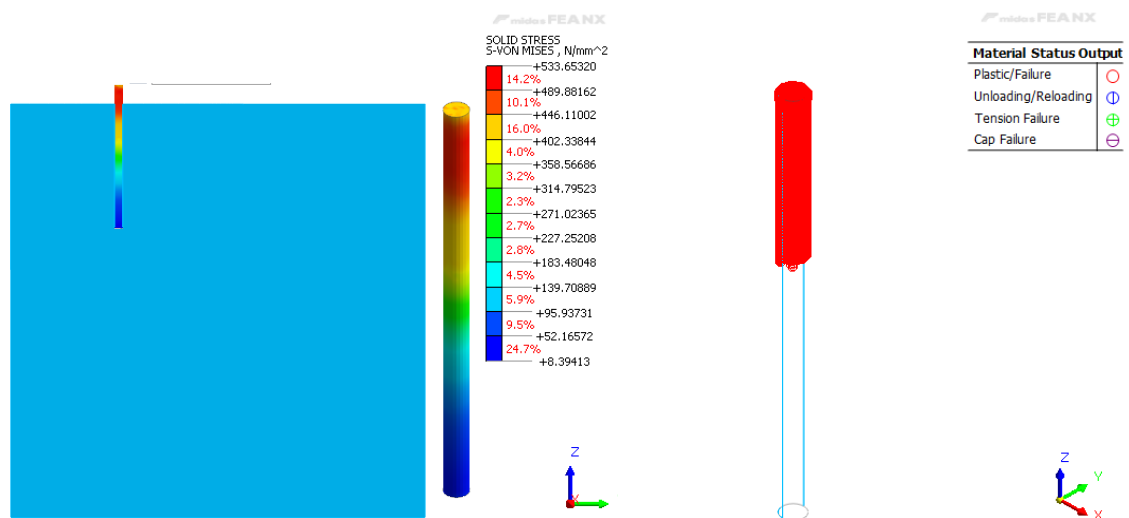


Gambar 10. Tegangan angkur dan bentuk keruntuhan model D10 – 75 mm ( $f_c'$  30 MPa)

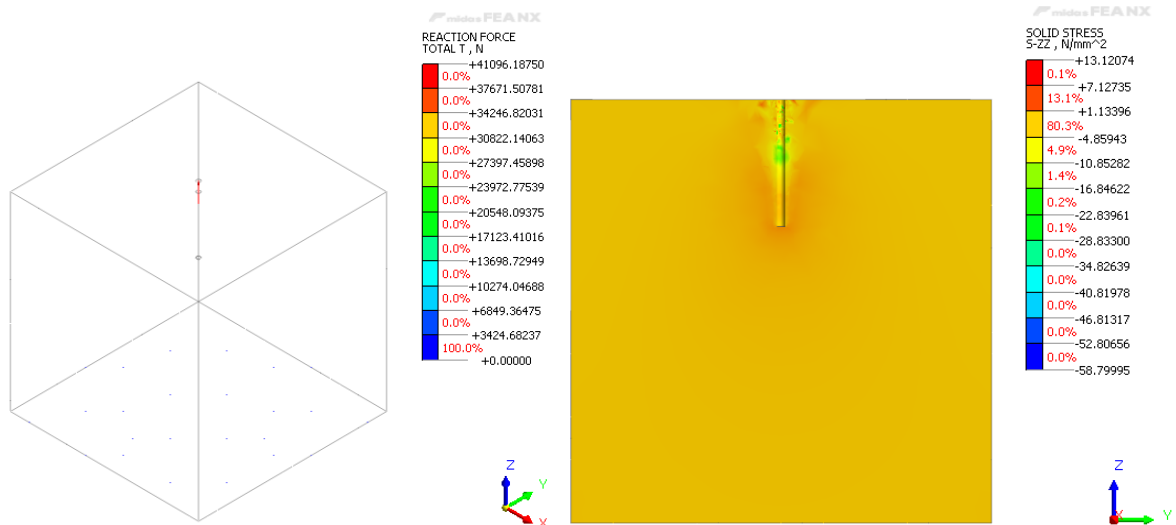




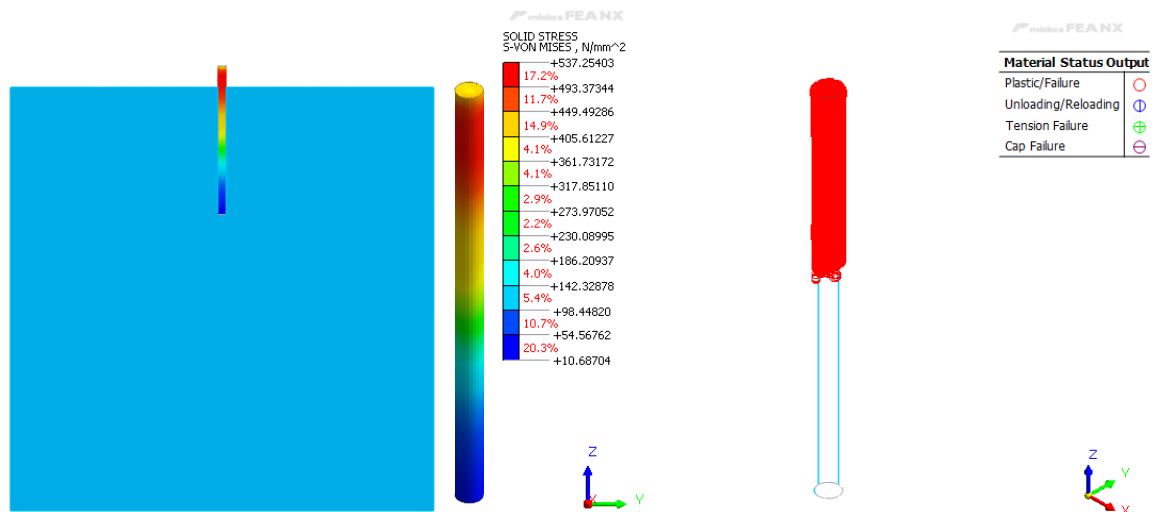
Gambar 11. Kapasitas tarik dan tegangan beton model D10 – 130 mm ( $f_c' 30 \text{ MPa}$ )



Gambar 12. Tegangan angkur dan bentuk keruntuhan model D10 – 130 mm ( $f_c' 30 \text{ MPa}$ )

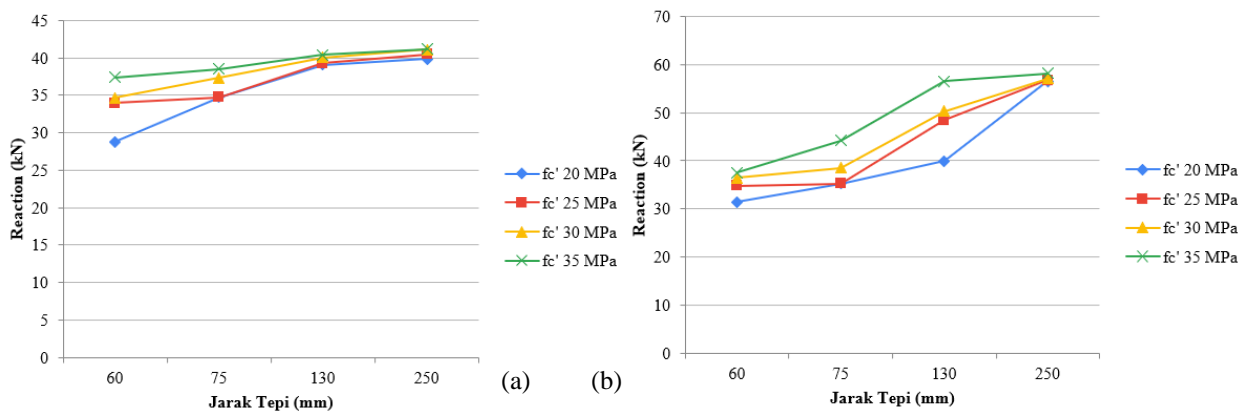


Gambar 13. Kapasitas tarik dan tegangan beton model D10 – 250 mm ( $f_c'$  30 MPa)

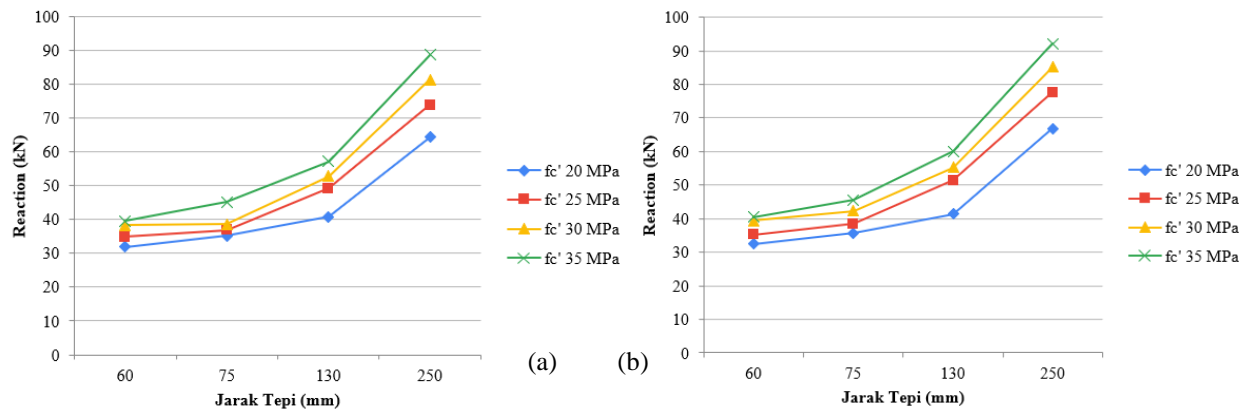


Gambar 14. Tegangan angkur dan bentuk keruntuhan model D10 – 250 mm ( $f_c'$  30 MPa)

Grafik rekapitulasi hasil kapasitas tarik dan jenis keruntuhan menggunakan permodelan MIDAS FEA NX pada diameter angkur 10 mm, 12 mm, 16 mm, dan 19 mm dapat dilihat pada gambar 15 dan gambar 16.



Gambar 15. Hasil kapasitas tarik MIDAS FEA NX diameter angkur (a) 10 mm dan (b) 12 mm



Gambar 16. Hasil kapasitas tarik MIDAS FEA NX diameter ankur (a) 16 mm dan (b) 19 mm

### Perbandingan analisa MIDAS FEA NX dan perhitungan teoritis

Hasil perhitungan teoritis kapasitas tarik ankur ditanam pada beton akan dibandingkan dengan hasil pengujian tarik ankur pada permodelan menggunakan MIDAS FEA NX untuk mendapatkan persentase selisih dari keduanya. Tabel perbandingan kapasitas tarik ankur pada diameter ankur 10 mm, 12 mm, 16 mm, dan 19 mm dapat dilihat pada tabel 6 sampai tabel 9.

Tabel 6. Perbandingan kapasitas tarik ankur diameter 10 mm dari perhitungan teoritis dan MIDAS FEA NX

Mutu Beton, $f_c'$ (MPa)	Jarak Tepi Angkur (mm)	Hasil MIDAS FEA NX (kN)	Hasil Perhitungan Teoritis (kN)	Persentase Selisih (%)
20 MPa	60	28,7920	29,8309	3,4826
	75	34,7370	32,2061	7,8585
	130	39,1170	41,2334	5,1327
	250	39,8690	41,2334	3,3090
25 MPa	60	33,9730	33,3519	1,8621
	75	34,7480	36,0075	3,4979
	130	39,3080	41,2334	4,6695
	250	40,4740	41,2334	1,8417
30 MPa	60	34,6730	36,5352	5,0971
	75	37,3180	39,4442	5,3905
	130	40,0940	41,2334	2,7633
	250	41,0960	41,2334	0,3332
35 MPa	60	37,3720	39,4626	5,2976
	75	38,5150	41,2334	6,5927
	130	40,4050	41,2334	2,0091
	250	41,2020	41,2334	0,0762

Tabel 7. Perbandingan kapasitas tarik ankur diameter 12 mm dari perhitungan teoritis dan MIDAS FEA NX

Mutu Beton, $f_c'$ (MPa)	Jarak Tepi Angkur (mm)	Hasil MIDAS FEA NX (kN)	Hasil Perhitungan Teoritis (kN)	Persentase Selisih (%)
20 MPa	60	31,4890	29,8309	5,5584
	75	35,2020	32,2061	9,3023
	130	39,9200	41,6040	4,0477
	250	56,5400	59,3761	4,7765
25 MPa	60	34,8670	33,3519	4,5426
	75	35,2720	36,0075	2,0426
	130	48,4810	46,5147	4,2273
	250	56,7720	59,3761	4,3858

Tabel 8 (*Lanjutan*). Perbandingan kapasitas tarik angkur diameter 12 mm dari perhitungan teoritis dan MIDAS FEA NX

Mutu Beton, $f_c'$ (MPa)	Jarak Tepi Angkur (mm)	Hasil MIDAS FEA NX (kN)	Hasil Perhitungan Teoritis (kN)	Persentase Selisih (%)
30 MPa	60	36,4300	36,5352	0,2880
	75	38,4820	39,4442	2,4395
	130	50,2720	50,9543	1,3390
	250	57,0150	59,3761	3,9765
35 MPa	60	37,5810	39,4626	4,7679
	75	44,2150	42,6046	3,7798
	130	56,5150	55,0369	2,6856
	250	58,1990	59,3761	1,9824

Tabel 9. Perbandingan kapasitas tarik angkur diameter 16 mm dari perhitungan teoritis dan MIDAS FEA NX

Mutu Beton, $f_c'$ (MPa)	Jarak Tepi Angkur (mm)	Hasil MIDAS FEA NX (kN)	Hasil Perhitungan Teoritis (kN)	Persentase Selisih (%)
20 MPa	60	31,9530	29,8309	7,1138
	75	35,2440	32,2061	9,4327
	130	40,7170	41,6040	2,1320
	250	64,4080	67,0960	4,0062
25 MPa	60	34,9190	33,3519	4,6985
	75	36,9420	36,0075	2,5953
	130	49,1850	46,5147	5,7408
	250	73,8860	75,0156	1,5059
30 MPa	60	38,2890	36,5352	4,8002
	75	38,6030	39,4442	2,1327
	130	52,8480	50,9543	3,7165
	250	81,3210	82,1755	1,0398
35 MPa	60	39,5750	39,4626	0,2849
	75	45,0810	42,6046	5,8124
	130	57,2330	55,0369	3,9902
	250	88,6660	88,7597	0,1055

Tabel 9. Perbandingan kapasitas tarik angkur diameter 19 mm dari perhitungan teoritis dan MIDAS FEA NX

Mutu Beton, $f_c'$ (MPa)	Jarak Tepi Angkur (mm)	Hasil MIDAS FEA NX (kN)	Hasil Perhitungan Teoritis (kN)	Persentase Selisih (%)
20 MPa	60	32,4300	29,8309	8,7128
	75	35,6700	32,2061	1,7555
	130	41,4140	41,6040	0,4567
	250	66,9020	67,0960	0,2892
25 MPa	60	35,1980	33,3519	5,5351
	75	38,4370	36,0075	6,7472
	130	51,4160	46,5147	10,5371
	250	77,5850	75,0156	3,4251
30 MPa	60	39,4650	36,5352	8,0190
	75	42,3320	39,4442	7,3211
	130	55,3090	50,9543	8,5463
	250	85,2090	82,1755	3,6915
35 MPa	60	40,5090	39,4626	2,6517
	75	45,5110	42,6046	6,8217
	130	59,9970	55,0369	9,0123
	250	92,0860	88,7597	3,7476

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

##### Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa pengujian tarik angkur ditanam ke beton menggunakan MIDAS FEA NX dengan mutu beton, diameter dan jarak tepi angkur yang bervariasi, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil permodelan pengujian tarik angkur ditanam ke beton menggunakan MIDAS FEA NX, dapat disimpulkan jika bahwa semakin besar jarak tepi angkur ke tengah beton yang digunakan maka kapasitas tarik angkur juga semakin besar. Hal ini dapat dibuktikan pada model dengan diameter angkur 10 mm dan mutu beton 30 MPa, jarak tepi angkur 60 mm memiliki kapasitas tarik sebesar 34,6730 kN sedangkan jarak tepi angkur 250 mm memiliki kapasitas tarik sebesar 41,0960 kN.
2. Dari hasil permodelan pengujian tarik angkur ditanam ke beton menggunakan MIDAS FEA NX, dapat disimpulkan jika bahwa semakin besar mutu beton ( $f_c'$ ) yang digunakan maka kapasitas tarik angkur juga semakin besar. Hal ini dapat dibuktikan pada model dengan diameter angkur 10 mm dan jarak tepi 60 mm, mutu beton 20 MPa memiliki kapasitas tarik sebesar 28,7920 kN sedangkan mutu beton 35 MPa memiliki kapasitas tarik sebesar 37,3720 kN.
3. Dari hasil permodelan pengujian tarik angkur ditanam ke beton menggunakan MIDAS FEA NX, dapat disimpulkan jika bahwa semakin besar diameter angkur yang digunakan maka kapasitas tarik angkur juga semakin besar. Hal ini dapat dibuktikan pada model dengan jarak tepi 60 mm dan mutu beton 20 MPa, diameter angkur 10 mm memiliki kapasitas tarik sebesar 28,7920 kN sedangkan diameter angkur 19 mm memiliki kapasitas tarik sebesar 32,4300 kN.
4. Dari hasil permodelan pengujian tarik angkur ditanam ke beton menggunakan MIDAS FEA NX, dapat disimpulkan model dengan diameter angkur 10 mm dan 12 mm dengan jarak tepi angkur dan mutu beton bervariasi memiliki jenis keruntuhan angkur atau beton, sedangkan model dengan diameter angkur 16 mm dan 19 mm memiliki jenis keruntuhan beton.
5. Dari hasil analisis kapasitas tarik angkur perhitungan teoritis dengan permodelan MIDAS FEA NX memiliki persentase selisih paling kecil 0,0762% dan persentase selisih paling besar 10,7555%.
6. Dari hasil analisis kapasitas tarik angkur, dapat disimpulkan pengaruh mutu beton dan jarak tepi angkur terhadap kenaikan kapasitas tarik lebih signifikan pada permodelan dengan diameter angkur 16 mm dan 19 mm daripada diameter angkur 10 mm dan 12 mm.

### Saran

Berdasarkan hasil analisa pengujian tarik angkur ditanam ke beton menggunakan MIDAS FEA NX dengan mutu beton, diameter dan jarak tepi angkur yang bervariasi, saran yang dapat diberikan penulis untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Permodelan pengujian tarik dapat dilakukan dengan memasukkan data *bond slip* pada interface antara beton dan angkur agar dapat memberikan hasil yang lebih sesuai.
2. Permodelan dapat dilakukan dengan mutu beton yang lebih tinggi dan jarak tepi yang lebih bervariasi agar dapat dibandingkan pada penelitian selanjutnya.

### DAFTAR PUSTAKA

- González, F., Fernández, J., Agranati, G., & Villanueva, P. (2018). Influence of construction conditions on strength of post installed bonded anchors. *Construction and Building Materials*, 165, 272-283.
- American Concrete Institute. (2014). Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14). [https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=318U14&Language=English&Units=US\\_Units](https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=318U14&Language=English&Units=US_Units).
- Contrafatto, L., & Cosenza, R. (2014). Behaviour of post-installed adhesive anchors in natural stone.
- Cook, R. A., Burtz, J. L., & Ansley, M. H. (2003). Design guidelines and specifications for engineered grouts. University of Florida: Department of Civil Engineering. Retrieved from [https://www.researchgate.net/profile/Ronald-Cook-2/publication/242132018\\_DESIGN\\_GUIDELINES\\_AND\\_SPECIFICATIONS\\_FOR\\_ENGINEERED\\_GROUTS/links/54e23e8b0cf2edaea09281c5/DESIGN-GUIDELINES-AND-SPECIFICATIONS-FOR-ENGINEERED-GROUTS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ronald-Cook-2/publication/242132018_DESIGN_GUIDELINES_AND_SPECIFICATIONS_FOR_ENGINEERED_GROUTS/links/54e23e8b0cf2edaea09281c5/DESIGN-GUIDELINES-AND-SPECIFICATIONS-FOR-ENGINEERED-GROUTS.pdf)
- fib. (2010). CEB-FIB Model Code 2010. Switzerland: International Federation for Structural Concrete.
- Gesoglu, M., Özturan, T., Özel, M., & Güneş, E. (2005). Tensile Behavior of Post-Installed Anchors in Plain and Steel Fiber-Reinforced Normal- and High-Strength Concretes. *ACI structural journal*, 102(2), 224.
- Kardestuncer, H., & Norrie, D. H. (1987). *Finite Element Handbook*. McGraw-Hill, Inc.
- Logan, D. L. (2017). *A First Course in the Finite Element Method*. Thomson.
- Nilforoush, R. (2017). Anchorage in concrete structures: numerical and experimental evaluations of load-carrying capacity of cast-in-place headed anchors and post-installed adhesive anchors. (Doctoral dissertation, Luleå University of Technology).

Wiguntoro, & Apriyatno, H. (2020). Eksperimen perbandingan kapasitas kekuatan angkur menggunakan metode cast in place dan post-installed pada kegagalan pull-out. Seminar Nasional Teknik Sipil X 2020. (pp. 45-50). Universitas Muhamadiyah Surakarta.