

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Umum Objek Penelitian

Pada Penelitian ini menggunakan ansys apdl, bertujuan untuk menganalisis kekuatan buckling pada struktur plat alas *bottom plate* barge menggunakan metode elemen hingga *Finite Element Method* melalui perangkat lunak ansys 2025 R1, Objek utama dalam penelitian ini adalah struktur Plat dasar barge yang berfungsi sebagai bagian penting dalam menahan beban statis maupun dinamis, baik dari muatan di atasnya maupun dari tekanan hidrostatik air laut, struktur barge yang dianalisis memiliki konfigurasi Plat datar dengan beberapa elemen pengaku stiffener dan girder longitudinal, objek yang diteliti yaitu buckling pada palat alas barge dengan dimensi Table 4.1.

Table 4.1 Ukuran Utama Kapal

BG. GREAT WHITE	
LOA	= 91.44 m
LPP	= 87.78 m
B	= 27.43 m
H	= 6.1 m
T	= 4.75 m

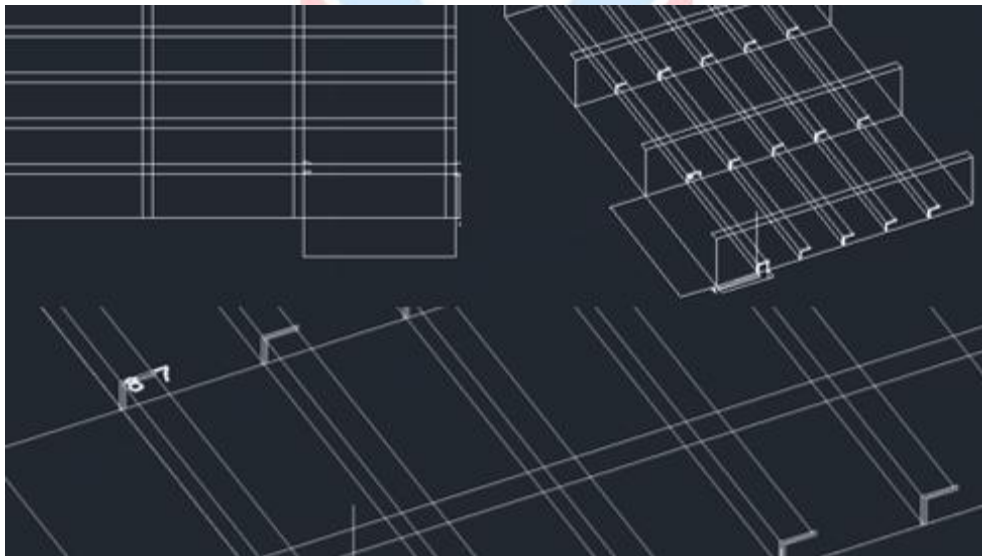
(Sumber: Galangan balickpapan utama)

Namun penelitian ini hanya menggunakan sesuai dengan desain struktur yang umum digunakan, di Galangan Balikpapan Utama. Material yang digunakan dalam analisis adalah baja struktural dengan karakteristik sebagai berikut Modulus Elastisitas $E = 2.1 \times 10^5$ MPa Rasio Poisson ν : 0.3 tegangan leleh yield strength $\pm 141-230$ MPa tebal Plat yang diuji 12 mm di karena kan setelah malukan penelitian di galangan ternyata palat yang terjadi buckling tersebut merupakan palat baru atau tergolong belum mengalami penurunan namun hal itu terjadi dikarenakan muatan atau situasi yang tidak baik maka dari itu dilakukan pembeban dari $\Sigma X, Y$ dan Z maka penelitian ini hanya menggunakan sebagian dari plat alas barge yang meliputi plat alas profil 1 scallop, bottom longitudinal dan wrang plat atau plat 3 lajur ke belakang.

Simulasi dilakukan pada model Plat dengan dimensi tertentu, dibatasi oleh kondisi batas *boundary condition* berupa tumpuan sederhana di beberapa sisi, serta beban tekan merata *uniform compression* yang diberikan secara bertahap hingga terjadi fenomena buckling, Model struktur dimodelkan dan dimasukkan ke dalam lingkungan kerja ansys, melalui tahapan pre-processing, meshing, input material, pembebanan, dan analisis pasca-proses *post-processing*.

4.2 Pemilihan tipe analisis

Selanjutnya setelah memperoleh dengan ukuran yang sebenarnya maka melanjutkan ke proses desain pada autocad untuk penentuan koordinat sesungguhnya.



Gambar 4. 1 Pemodelan Autocad.

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Gambar 4.1 dalam pemodelan menentukan nilai akurat yang akan di masukan ke dalam software ansys, menggunakan ansys mechanical apdl, terlebih dahulu untuk melakukan pembuatan model awal pada software ansys agar dapat menentukan titik koordinat yang sempurna dan lebih mudah dalam menentukan nilai *key point*, selain itu, plat alas barge yang dianalisis memiliki area total sekitar $3,2944 \text{ mm}^2$ dan dilengkapi dengan lima buah profil L sebagai pengaku tambaha, Dari aspek struktur terdapat beberapa jenis analisis umum yang dapat dilakukan

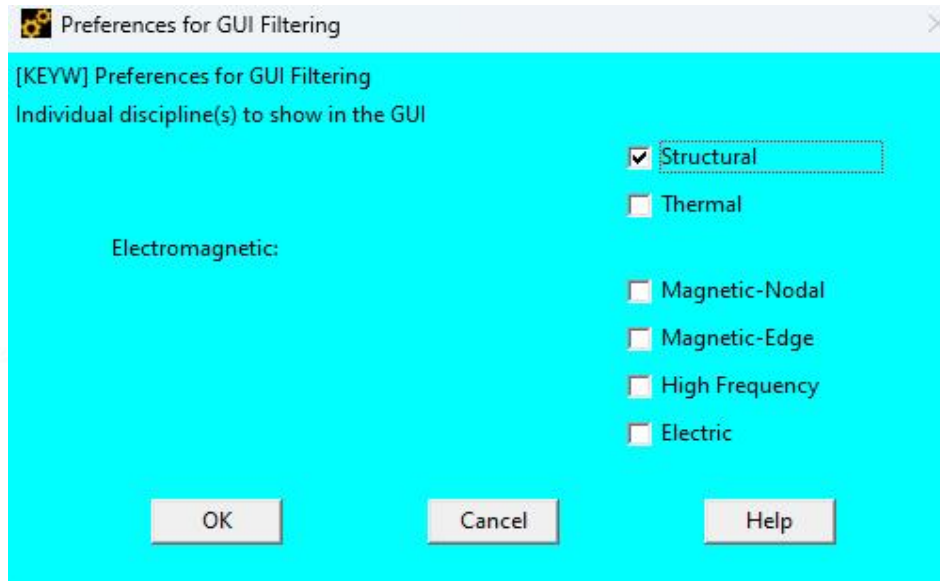
dengan pendekatan elemen hingga, seperti analisis struktural, termal, dinamika fluida (CFD), dan magnetik. Dalam penelitian ini, analisis struktural dipilih sebagai fokus utama karena sesuai dengan *case* yang terjadi di lapangan ukuran yang sebenarnya dapat di Table 4.2.

Tabel 4. 1 Titik ordinat struktur dasar.

No Ordinat	Arah X (mm)	Arah Y (mm)	Arah Z (mm)
1	0	0	0
2	0	180	0
3	53	180	0
4	53	0	0
5	53	0	120
6	65	0	120
7	53	180	120
8	53	180	120
9	52	0	0
10	54	0	0
11	54	0	110
12	66	0	110
13	66	0	130
14	52	0	130

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Table 4.2 pada data yang diperoleh lebih mudah melanjutkan ke tahap selanjut nya pada *software* ansys sehingga titik poin yang akan dibuat lebih mudah menyatu maka dari itu penelitian ini dapat bertujuan untuk mengevaluasi tegangan yang terjadi pada struktur yang akibat beban transversal yang diterapkan, pada tahapan selanjut nya kita melakukan pemodelan melalui software dan tidak sulit mencari kesalahan bila terjadi dikarenakan sudah memiliki desain 3D pada autocad yang dapat dilihat pada Table 4.2.



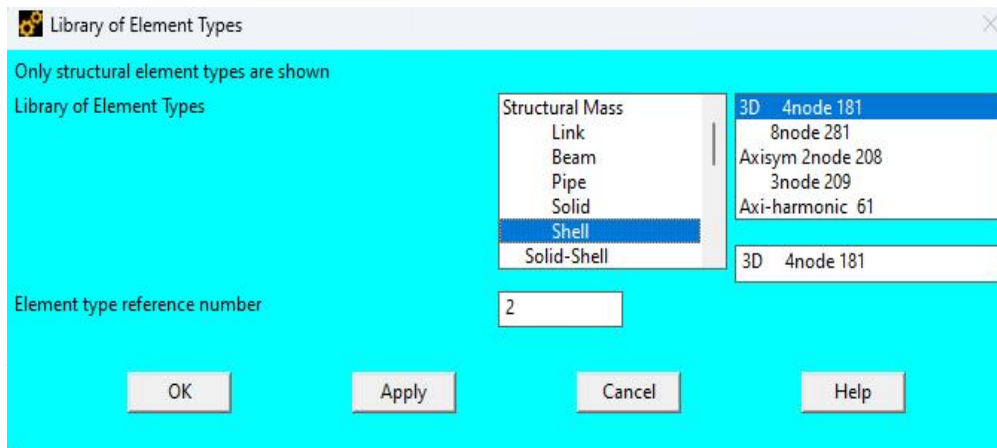
Gambar 4.2 Pemilihan Elemen Struktural

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Gambar 4.2 menampilkan menu "Preferences for GUI Filtering" yang di pilih jenis analisis yang akan ditampilkan di jendela. Pilihan analisis yang di ya itu Structural sesuai dengan fokus penelitian.

4.3 Pemilihan tipe elemen

Setelah menentukan tipe analisis, langkah berikutnya adalah memilih tipe elemen yang akan diterapkan. Dalam penelitian ini, elemen yang dipilih adalah shel 181, yang sesuai mengingat material yang digunakan adalah Baja . Berdasarkan dokumentasi ansys Help 18.1, Shel 181 merupakan elemen padat tiga dimensi dengan 4 node, bersifat orde tinggi, dan mampu menampilkan pola perpindahan kuadrat untuk analisis yang lebih presisi.



Gambar 4. 3 Pemilihan tipe element

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Dalam penelitian ini, elemen SHELL181 dipilih sebagai jenis elemen utama yang digunakan untuk memodelkan plat alas struktur barge, elemen SHELL181 merupakan elemen shell empat sisi (quad) yang juga dapat didefinisikan sebagai elemen tiga sisi triangular, yang masing-masing memiliki 4 node dengan enam derajat kebebasan pada setiap nodenya, yaitu tiga translasi arah x, y, dan z dan tiga rotasi (sekitar sumbu x, y, dan z). Pemilihan elemen ini didasarkan pada beberapa pertimbangan teknis sebagai berikut kemampuan memodelkan struktur tipis, efisiensi komputasi dan ketelitian, kemampuan menganalisis buckling dan pascatekuk, dukungan terhadap mesh campuran (3-node dan 4-node), validasi oleh ansys dan reputasi akademiK.

4.3 Penentuan Material Props

penentuan sifat material dilakukan pada tahap selanjutnya, dalam proses simulasi menggunakan perangkat lunak ansys, penentuan properti material merupakan langkah krusial yang secara langsung mempengaruhi akurasi hasil analisis, khususnya dalam kajian kekuatan buckling pada struktur plat alas barge. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja konstruksi (mild steel), yang umum digunakan pada struktur kapal karena sifat mekaniknya yang kuat, tahan terhadap deformasi, serta memiliki harga yang ekonomis. Pemilihan material ini didasarkan pada fakta bahwa sebagian besar plat alas barge di industri galangan kapal, termasuk di PT. Balikpapan

Utama, menggunakan baja sebagai bahan utama, oleh karena itu, dalam simulasi ini, properti mekanik baja seperti modulus elastisitas young's modulus, rasio poisson, serta batas leleh menjadi parameter penting yang harus didefinisikan secara akurat di dalam perangkat lunak. untuk melakukan penentuan element dapat di lihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Element Yang Di Gunakan

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Modul preprocessor pada menu bar, langkah ini bertujuan untuk mendefinisikan karakteristik material yang akan digunakan dalam model, seperti modulus elastisitas, rasio poisson, densitas, atau sifat tegangan, seperti modulus young (E) dan rasio poisson (ν) agar perangkat lunak dapat menghitung respons struktur terhadap beban.

4.4 Pemodelan

Pemodelan plat alas mengikuti dari pengambilan data *real* di lapangan yang berbentuk kotak dengan langkah awal menentukan satuan ukuran yang digunakan menggunakan meter (m) dengan perbandingan skala 1:1 ada pun dimensi nya sebagai berikut.

Keterangan	Plat alas (mm)	Profil L (mm)	Penegar (mm)
Tinggi	120	12	700
Lebar	3,280	120	3.280
Panjang	5,400	5.400	5.400

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Table 4.2 Data Aktual Penelitian

Simulasi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar beban kritis *critical load* yang dapat ditahan oleh plat sebelum mengalami kegagalan akibat buckling. Dari hasil simulasi menggunakan ansys, diperoleh beberapa mode buckling yang

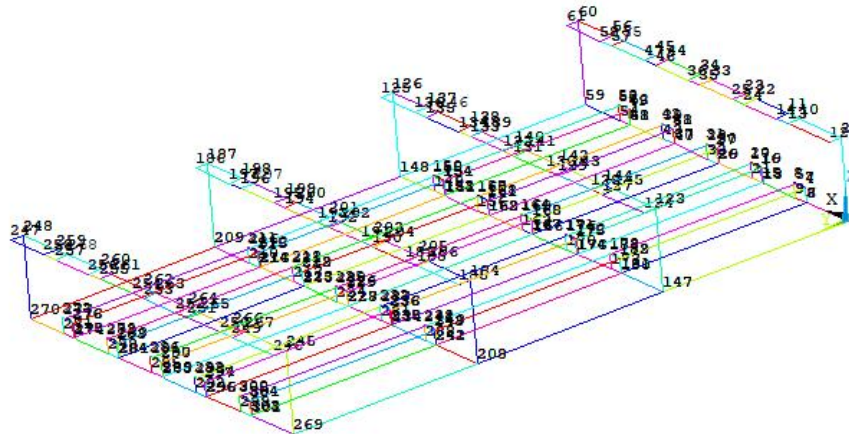
menunjukkan bentuk deformasi plat saat mencapai beban kritis.

1
LINES
TYPE NUM

Ansys
2025 R1

STUDENT

MAY 15 2025
17:27:25



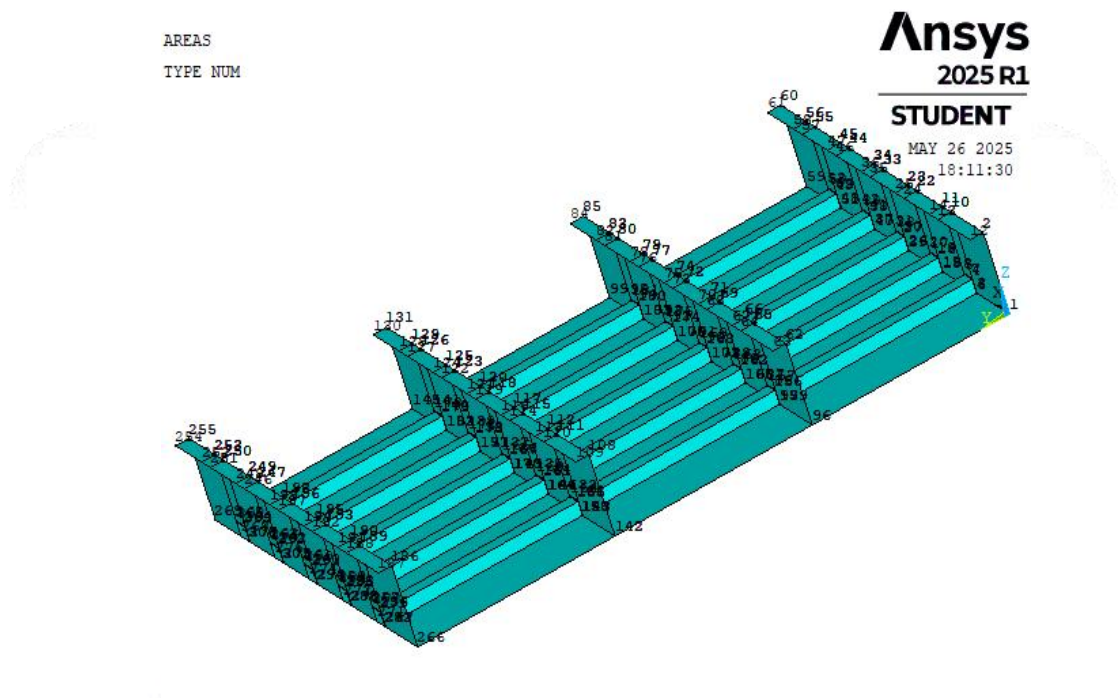
Gambar 4.5 Penggabungan Key Point.

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Dengan menggunakan variasi ketebalan 12,10,8,6 dan 4 mm tabel berikut memperlihatkan nilai load factor untuk masing-masing pemodelan ukuran buckling, pemodelan merupakan tahap awal dan penting dalam proses simulasi numerik, tahapan ini bertujuan untuk merepresentasikan bentuk dan kondisi nyata dari struktur yang akan dianalisis ke dalam bentuk digital 3D, dalam konteks penelitian ini, pemodelan dilakukan terhadap plat alas barge yang akan diuji kekuatan buckling-nya menggunakan perangkat lunak ansys, data yang di *input* pada ordinat dapat di lihat pada table 4.2, pemodelan yang akurat sangat menentukan validitas hasil simulasi, dengan bentuk geometri dan batasan yang sesuai, software dapat menghitung distribusi tegangan deformasi, serta fenomena tekuk secara mendekati kondisi aktual di lapangan, oleh karena itu proses ini tidak hanya mencakup pembuatan geometri tetapi juga melibatkan pengaturan ketebalan Plat, pembebanan, dan kondisi batas yang sesuai.

4.5 Geometri

Pada geometri bentuk plat alas yang di buat sesuai dengan objek penelitian pada barge dapat di lihat seperti gambar Gambar 4.6.



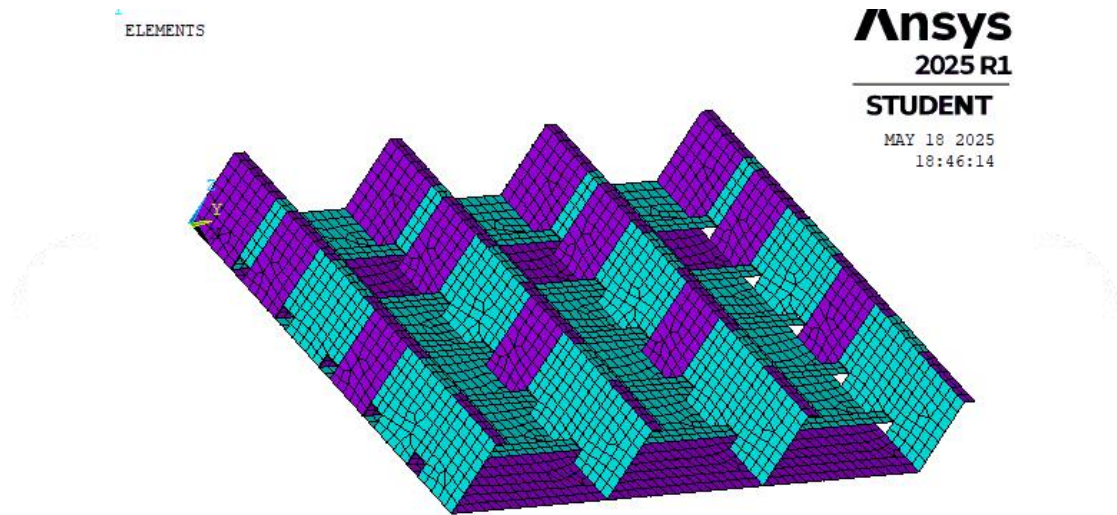
Gambar 4.6 Pemodelan Area.
(Sumber: Hasil olahan, 2025)

4.6 Mesh

Setelah geometri model dibuat dalam perangkat lunak ansys langkah selanjutnya adalah pembuatan mesh, yaitu membagi geometri tersebut menjadi elemen-elemen kecil untuk memungkinkan analisis numerik yang akurat terhadap perilaku struktur, tegangan dan deformasi. Maka hasil yang diperoleh akan semakin teliti dengan mesh yang lebih halus, tetapi waktu komputasi akan meningkat secara signifikan karena jumlah elemen yang lebih banyak membutuhkan sumber daya pemrosesan yang lebih besar.

Oleh karena itu diperlukan keseimbangan antara kepadatan mesh untuk mencapai hasil yang akurat dan efisiensi komputasi agar waktu simulasi tetap optimal. Seperti pada gambar 4.7 merupakan proses yang dilakukan pada

total mesh 50 karena semakin rendah mesh yang di masukan maka semakin akurat nilai yang akan di dapatkan.



Gambar 4.7 Proses Mesh.
(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Meshing Pada gambar 4.7 adalah proses mendiskretkan model geometri menjadi elemen-elemen kecil *finite elements* agar dapat dianalisis secara numerik oleh perangkat lunak berbasis metode elemen hingga *Finite Element Method* FEM seperti ansys, Proses ini merupakan tahap penting dalam simulasi, karena kualitas dan kepadatan mesh sangat berpengaruh terhadap akurasi hasil analisis.

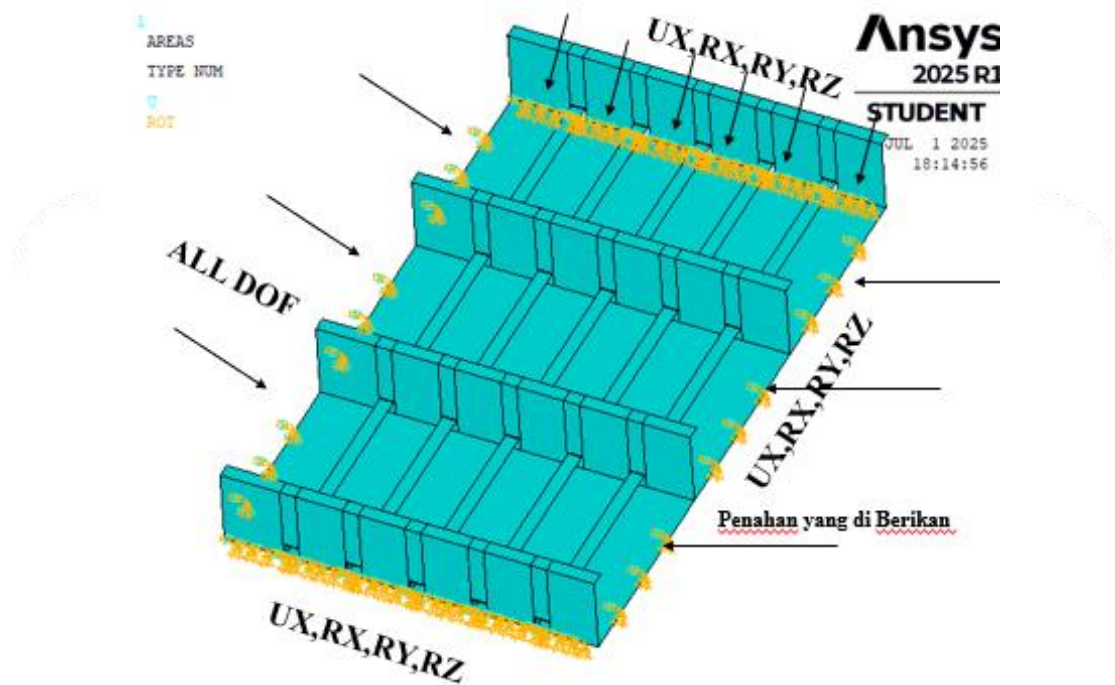
Pada dasarnya meshing mengubah model kontinu menjadi sistem diskret yang terdiri dari node dan elemen, Setiap elemen akan dihitung secara individual berdasarkan properti material, kondisi batas serta beban yang diberikan kemudian hasilnya digabungkan untuk memperoleh respons keseluruhan struktur.

4.7 Penentuan Kondisi Batas

Sebelum proses pembebanan dilakukan pada model struktur plat alas barge, langkah awal yang dilakukan adalah menentukan kondisi batas *boundary conditions*. Kondisi batas ini berfungsi untuk merepresentasikan keadaan sebenarnya dari struktur di lapangan, khususnya bagaimana struktur tersebut terpasang atau tertahan terhadap pergerakan.

Seluruh sisi Plat yang terhubung langsung dengan profil L dan struktur rangka bawah barge dikunci penuh *Fixed Support*, hal ini menggambarkan

kondisi nyata di mana Plat alas dikeling atau dilas secara permanen ke struktur induk sehingga tidak mengalami perpindahan maupun rotasi.



Gambar 4.8 Sisi Penahan Plat.
(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Dalam analisis struktur menggunakan metode elemen hingga *Finite Element Method* (FEM), kondisi batas dilakukan penahan pada seluruh sisi yang berarah ke X dan dapat di lihat *boundary conditions* merupakan salah satu parameter yang sangat penting. Kondisi batas berfungsi untuk merepresentasikan bagaimana struktur dibatasi, ditopang, atau ditahan pada bagian-bagian tertentu selama menerima beban. Pada penelitian ini, penentuan kondisi batas difokuskan pada bagian atas penahan plat alas barge, yang berfungsi sebagai area yang menahan atau membatasi gerakan struktur agar tidak mengalami perpindahan bebas.

Kondisi batas yang ditentukan akan memengaruhi distribusi tegangan, deformasi dan mode buckling yang terjadi pada Plat, Oleh karena itu penerapan kondisi batas yang sesuai dengan kondisi aktual di lapangan menjadi kunci agar simulasi dapat memberikan hasil yang realistis dan dapat digunakan sebagai dasar evaluasi desain.

4.8 Input Beban

Setelah kondisi batas pada model diterapkan, langkah selanjutnya adalah memberikan pembebanan sebesar 38,75 N dengan pembebanan yang sebenarnya dengan perhitungan yang diambil dari center of mast atau inersia

$$\text{Penampang, } P_{cr} = (1 \cdot 0.55)2\pi^2 \cdot 2.1 \times 108 \cdot 6.79 \times 10/11$$

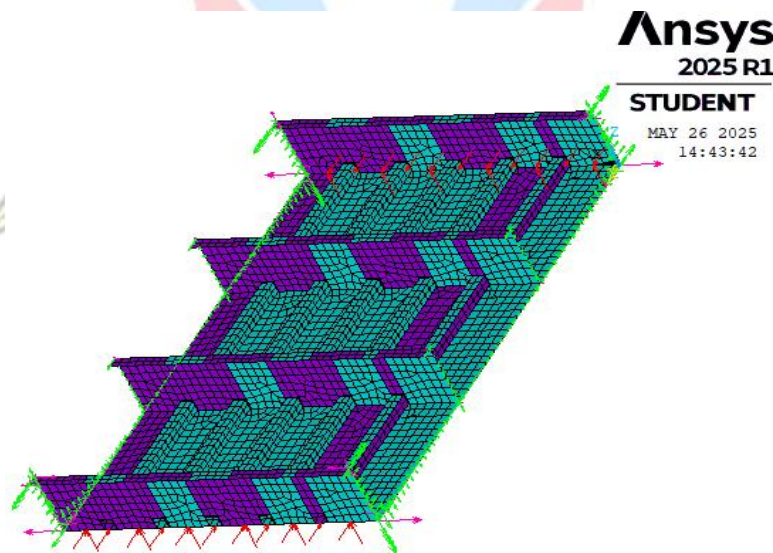
$$\pi^2 = 9.8696$$

$$2.1 \times 108 \cdot 6.79 \times 10 - 11 = 14.259$$

$$(0.55)^2 = 0.3025$$

$$P_{cr} = 0.3025 \cdot 9.8696 \cdot 14.259 = 0.3025 \cdot 140.66 = 38.75 \text{ N}$$

Struktur plat alas barge memiliki Tujuan utama dari tahap ini adalah untuk mengetahui bagaimana Plat merespon terhadap beban tekan yang dapat menyebabkan terjadinya tekuk *buckling*.

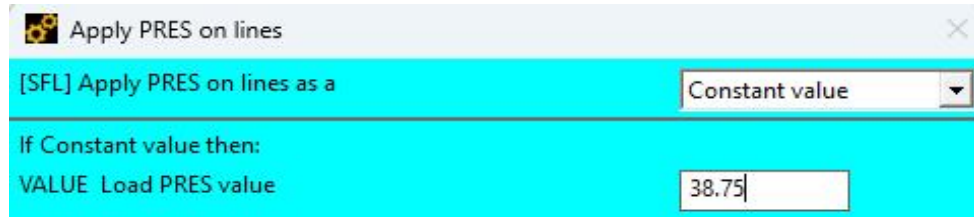


Gambar 4.9 Arah Pressure Yang Diterima.

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

4.9 Faktor Pembebanan Dan Faktor Keamanan

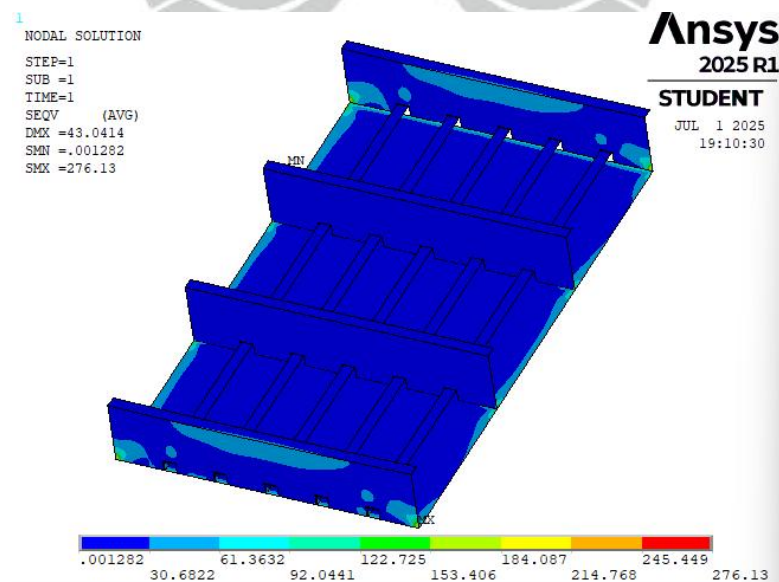
Analisis mengenai faktor pembebanan dan faktor keamanan sangat penting untuk memahami seberapa besar pengaruh beban yang diterima oleh struktur dan seberapa aman desain yang diterapkan, Ini berkaitan dengan kemampuan struktur untuk menahan beban yang diterapkan tanpa mengalami kegagalan atau kerusakan yang signifikan. Pembebanan yang digunakan pada analisis kali ini menggunakan 38.75 Mpa.



Gambar 4.10 Pembebanan Yang Diterima.
(Sumber: Hasil olahan, 2025)

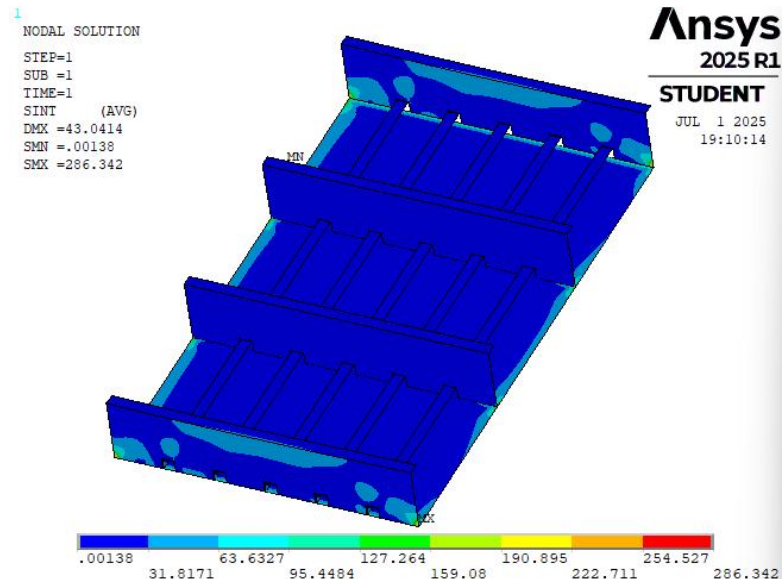
4.10 Hasil Simulasi / Analisis Buckling

Pada bagian ini akan dibahas hasil dari simulasi atau analisis buckling yang dilakukan pada struktur plat alas barge pada ketebalan 12 mm untuk mengidentifikasi bagaimana respon dari tegangan buckling yang terjadi, proses analisis ini penting untuk mengevaluasi apakah struktur plat alas barge dapat menahan beban yang diterapkan tanpa mengalami deformasi permanen atau kegagalan akibat tekuk buckling, hasil simulasi atau analisis buckling yang dilakukan pada perangkat lunak seperti ansys memberikan gambaran tentang perilaku struktur di bawah beban tekan yang dapat menyebabkan kegagalan akibat ketidakstabilan. Dalam analisis ini, beban kritis *critical load* diidentifikasi sebagai titik di mana struktur mulai mengalami buckling.



Gambar 4.11 Hasil Running Sementara.
(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Ditunjukkan oleh faktor beban buckling (buckling load factor, BLF). nilai tegangan ijin plat alas sebesar 141 MPa hingga 250 MPa menunjukkan rasio antara beban kritis dan beban yang diterapkan, mengindikasikan bahwa struktur dianggap aman dari buckling pada rentang beban tersebut, Mode bentuk buckling *buckling mode shapes* juga dihasilkan.



Gambar 4.12 Buckling Yang Terjadi.

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

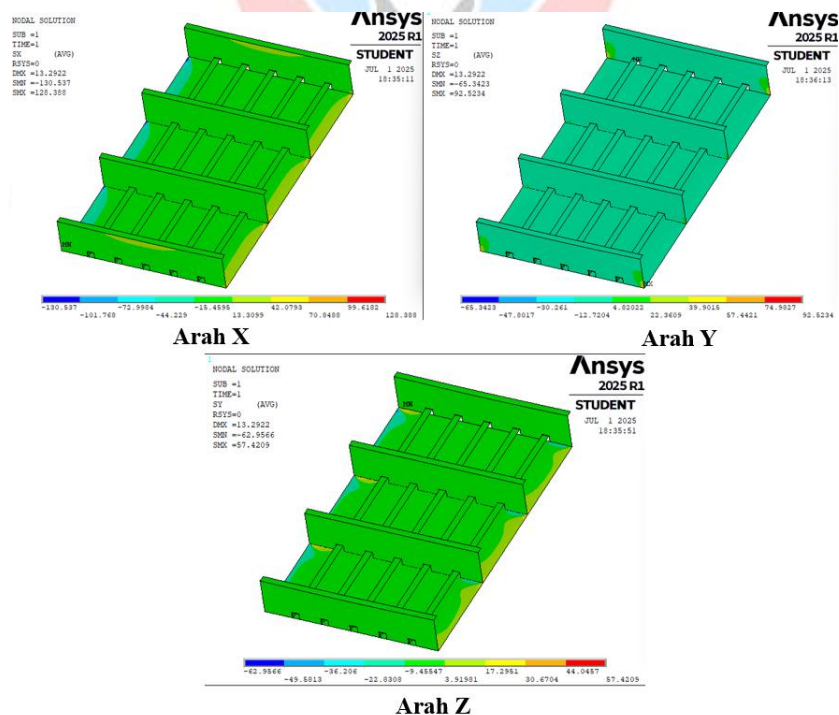
Mengilustrasikan deformasi karakteristik struktur seperti lenturan puntiran atau kombinasi keduanya, pada berbagai mode mode 1, mode 2, dst. Hasil ini mencakup distribusi tegangan dan area kritis yang rentan terhadap kegagalan, data tersebut digunakan untuk mengevaluasi stabilitas struktur, mengoptimalkan desain, dan memastikan keselamatan sesuai standar seperti aturan BKI atau kode desain lainnya.

4.11 Buckling Pada Ketebalan Awal.

Analisis tegangan buckling yang lakukan pada perangkat lunak ansys bertujuan untuk mengevaluasi distribusi tegangan pada struktur atau komponen di bawah kondisi beban sebesar 38,75 Newton, Dalam analisis ini, membuat model geometri di ansys dengan membentuk desain solid dari keypoint-keypoint yang telah ditentukan. Kemudian lalu menerapkan properti material, yaitu modulus elastisitas dan rasio Poisson, pada model tersebut. Beban mekanis, seperti gaya,

tekanan atau momen, diterapkan pada model sementara kondisi batas, seperti penjepit atau dukungan didefinisikan untuk mensimulasikan kondisi nyata yang dapat menyebabkan buckling.

Setelah proses meshing dilakukan untuk membagi model menjadi elemen-elemen kecil, Analisis tegangan utama dalam tiga arah (X, Y, dan Z) sangat penting untuk mengetahui bagaimana distribusi gaya internal bekerja pada Plat alas struktur barge ketika diberikan beban. Simulasi ini dilakukan menggunakan ANSYS 2025 R1, dan menampilkan komponen tegangan dalam sistem koordinat global. Ketiga gambar mewakili komponen tegangan sebagai berikut SX tegangan utama arah longitudinal (arah memanjang kapal/barge – arah X) SY tegangan utama arah transversal (arah melintang barge – arah Y) SZ Tegangan utama arah vertikal (tegangan tegak lurus permukaan Plat – arah Z).



Gambar 4.13 Buckling Yang Terjadi Pada X,Y Dan Z.

(Sumber:Hasil olahan,2025)

Gambar 4.13 dalam menjalankan analisis struktural statis atau dinamis, hasilnya menunjukkan distribusi tegangan von mises, tegangan maksimum dan area kritis yang berpotensi mengalami kegagalan, warna merah (tegangan tarik tinggi) dan

biru tua (tegangan tekan tinggi) menunjukkan adanya gaya tarik-tekan akibat lenturan Plat. Tampak pada gambar bawah. Nilai maksimum: +57,4209 MPa, minimum -62,9566 MPa. Komponen ini menunjukkan bagaimana Plat merespons beban tekan dari atas, seperti beban muatan atau berat sendiri struktur. Tegangan tekan dominan terjadi di sepanjang bagian tengah dan pertemuan antar Plat, menandakan efek lentur vertikal yang signifikan.

Jenis Tegangan arah sumbu X (SX) Nilai Minimum (SMN) -16.5044 MPa Nilai Maksimum (SMX) 18.0311 MPa Dengan Interpretasi Warna biru menunjukkan daerah dengan tegangan tarik/tekan terendah. Warna merah menunjukkan tegangan tertinggi di arah X. Dari model, tegangan terkonsentrasi di bagian sudut bawah dan sekitar area penyambungan stiffener dengan Plat, menunjukkan adanya gaya yang signifikan di sepanjang arah memanjang struktur (panjang barge), Berikut adalah tegangan maximal pada setiap sisi plat alas.

Table 4.3 Nilai Maksimum 12 mm.

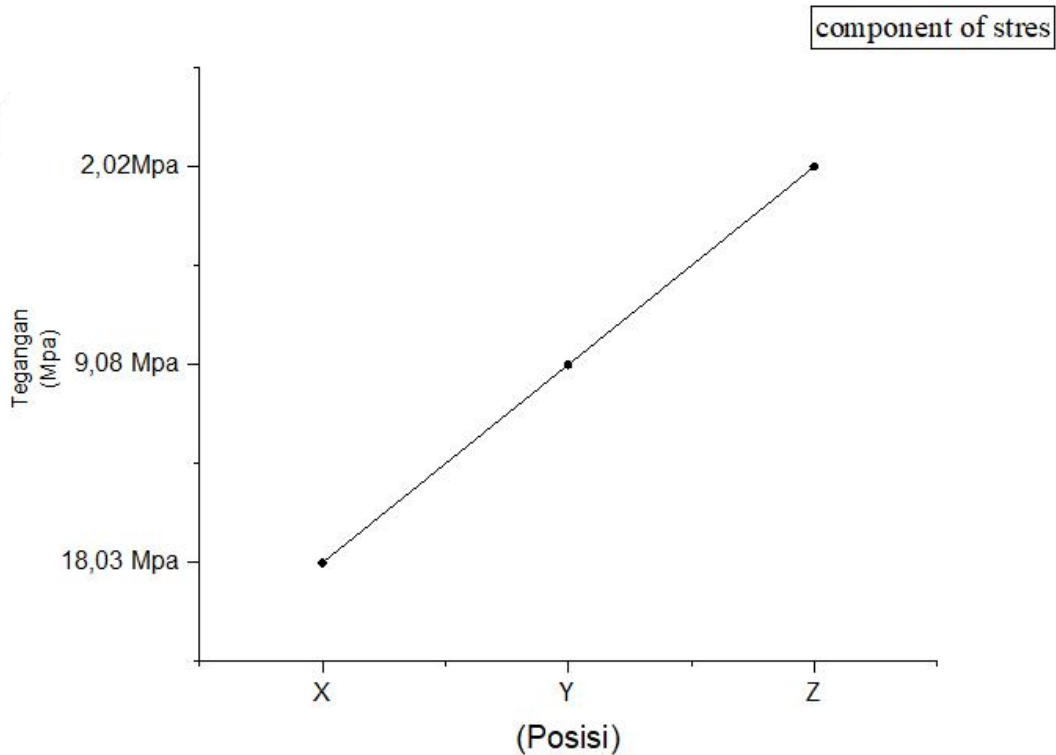
Tebal Plat (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
12	18,0311	9,08177	2,02357

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Gambar Y component of stress jenis tegangan arah sumbu Y (SY) nilai minimum (SMN) -15.8462 MPa dengan nilai maksimum (SMX) 9.08177 MPa tegangan arah Y cenderung lebih rendah dibanding X, namun masih menunjukkan variasi signifikan terutama di sekitar stiffener, daerah merah pada stiffener menunjukkan adanya gaya tekan/tarik yang bekerja tegak lurus terhadap arah panjang barge, kemungkinan akibat interaksi beban lokal dari struktur di atasnya yang dapat dilihat pada grafik di bawah. Ini menandakan stiffener memiliki peran penting dalam menahan gaya arah melintang.

Dari ketiga arah komponen tegangan tersebut, terlihat bahwa arah X longitudinal menghasilkan tegangan paling ekstrem, diikuti oleh arah Y (transversal), dan Z (vertikal). Hal ini sesuai dengan karakteristik distribusi

beban dan bentuk geometri struktur barge, di mana beban utama bekerja sejajar arah panjang Plat. Simulasi ini menunjukkan bahwa struktur Plat harus dirancang dengan ketebalan dan pengaku (stiffener) yang memadai untuk menghindari tegangan berlebih, terutama pada arah longitudinal yang paling kritis terhadap deformasi dan buckling.



Gambar 4.14 Tegangan Pada 12 mm.

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Arah dominan tegangan Tegangan vertikal (Z) menunjukkan nilai tekanan tertinggi, yang logis karena Plat alas menerima beban dari atas muatan barge, Arah x dan y masih menunjukkan distribusi tegangan signifikan, terutama di sekitar sambungan stiffener yang memperkuat struktur, Risiko kegagalan Area dengan tegangan tinggi (warna merah) di semua arah perlu dianalisis lebih lanjut, terutama untuk memastikan tidak terjadi kegagalan akibat tekuk buckling atau lelah material (fatigue). Saran desain Perkuatan tambahan bisa dipertimbangkan di area konsentrasi tegangan tinggi (khususnya di tepi dan sambungan stiffener), serta dilakukan verifikasi apakah tegangan yang muncul masih dalam batas aman terhadap nilai yield strength material yang digunakan.

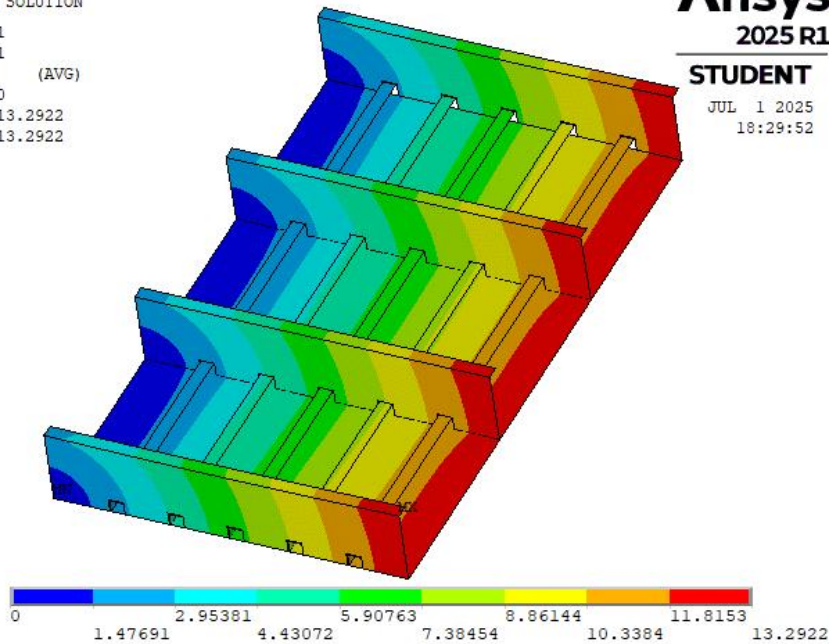
Jenis tegangan arah sumbu Z (SZ) Nilai Minimum (SMN) -20.1891 MPa Nilai maksimum (SMX) 2.02357 MPa interpretasi arah Z umumnya mewakili arah vertikal tegangan akibat beban berat dari atas, misalnya muatan, Nilai tegangan negatif besar (-20 MPa) menandakan tekanan tinggi ke bawah (kompresi) yang kemungkinan besar disebabkan oleh beban vertikal pada Plat alas, hampir seluruh bagian struktur tampak berwarna merah, menunjukkan bahwa Plat alas mengalami gaya tekan besar di arah vertikal, data ini digunakan untuk mengoptimalkan desain memastikan keamanan dan memenuhi standar teknis sesuai dengan aturan BKI. displacement vector sum adalah jumlah total perpindahan (dalam bentuk vektor) yang dialami oleh suatu titik pada struktur akibat beban, Ini dihitung dari gabungan perpindahan dalam semua arah X, Y, dan Z.

4.11.1 Deformasi Ketebalan 12mm

Hasil simulasi yang dilakukan pada perangkat lunak ansys, seperti yang ditunjukkan pada gambar, menggambarkan analisis tegangan pada struktur dengan fokus pada X-component of stress. Model geometri yang digunakan adalah desain solid yang terdiri dari beberapa elemen, divisualisasikan dalam kondisi deformasi *deformed shape*. pada gambar 4.15.

NODAL SOLUTION
SUB =1
TIME=1
USUM (AVG)
RSYS=0
DMX =13.2922
SMX =13.2922

Ansys
2025 R1
STUDENT
JUL 1 2025
18:29:52



Gambar 4.15 Deformasi Yang Terjadi Pada Ketebalan 0.12 mm.

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Nilai deformasi maksimum 13.2922 mm terjadi pada bagian ujung struktur, tepatnya di bagian Plat yang tidak memiliki penyangga langsung di bawahnya area warna merah pada model, hal ini wajar karena bagian tersebut mengalami gaya tekan vertikal dari beban, dan tidak memiliki kekakuan sebesar bagian tengah yang diperkuat stiffener, nilai deformasi minimum 1.4761 mm terjadi pada bagian yang sangat kaku, biasanya dekat dengan area fiksasi atau penyangga langsung (warna biru tua), Ini menunjukkan bahwa bagian tersebut tidak terlalu mengalami perubahan bentuk karena posisinya yang "terkunci" atau tertopang dengan baik, berikut merupakan data dari hasil analisis yang dilakukan.

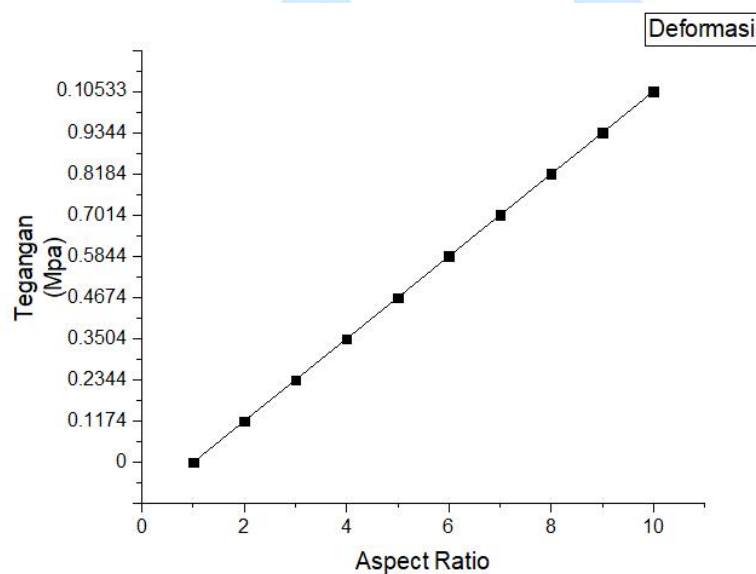
Table 4.4 Nilai Deformasi Yang Terjadi.

Aspect Ratio	Deformasi (mm)
1	0
2	1.47
3	2.95
4	4.43
5	5.90
6	7.38

7	8.86
8	11.81
9	13.29
10	14.79

(Sumber:Hasil olahan,2025)

Kesimpulan deformasi maksimum sebesar 14.79 mm masih tergolong kecil jika dibandingkan dengan ukuran struktur Plat alas barge secara keseluruhan, distribusi deformasi menunjukkan bahwa struktur bekerja sebagaimana mestinya: bagian tengah yang didukung stiffener lebih kaku, sementara bagian ujung mengalami lendutan kecil.



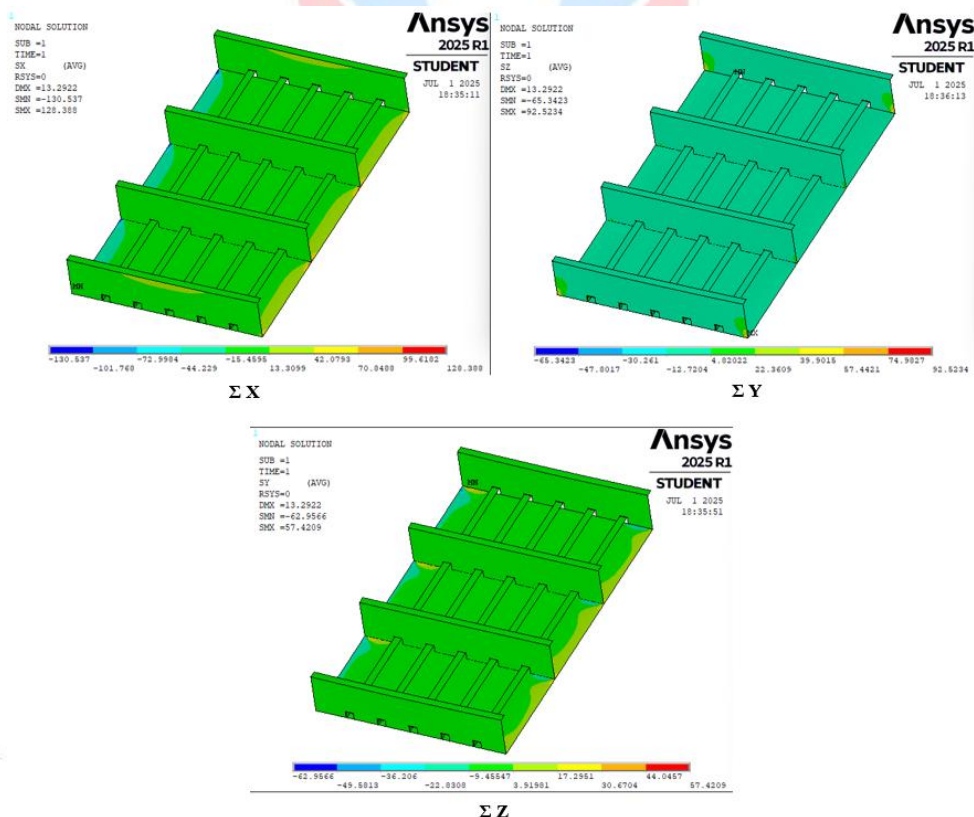
Gambar 4.16 Deformasi Pada 12 mm.

(Sumber:originpro2018)

Tidak terlihat adanya indikasi deformasi berlebih atau potensi gagal bentuk (buckling lokal), meskipun ini tetap perlu diuji dengan analisis khusus buckling. Lakukan verifikasi terhadap batas deformasi yang diizinkan sesuai standar klasifikasi 141 Mpa, biasanya batas deformasi adalah sekitar 1/250 hingga 1/300 dari panjang bentang struktur. Jika deformasi ini digunakan untuk menilai kekakuan atau kenyamanan, maka masih sangat aman. Kamu bisa lanjut dengan analisis buckling atau safety factor terhadap yield strength jika ingin mendapatkan penilaian kekuatan akhir

4.11.2 Tegangan Utama 12mm.

Dalam proses analisis kekuatan struktur plat alas pada barge, pemahaman terhadap distribusi tegangan utama sangatlah penting untuk mengetahui potensi titik lemah dan kemungkinan kegagalan struktur. Salah satu metode yang digunakan dalam simulasi numerik berbasis elemen hingga (FEM) adalah identifikasi 1st, 2nd, dan 3rd Principal Stress atau bisa disebut dengan tegangan utama, yang masing-masing merepresentasikan tegangan tarik maksimum, tegangan antara, dan tegangan tekan maksimum, hasil analisis ini memberikan gambaran awal terhadap kondisi tegangan yang terjadi di seluruh area plat alas akibat beban kerja yang diberikan.



Gambar 4.17 Tegangan Utama yang Terjadi Sigma X,Y dan Z.

(Sumber:Hasil olahan,2025)

Gambar 4.17 pada nilai pertama maksimum (SMX) yaitu 120 MPa nilai minimum (SMN) 13 MPa (mendekati nol) makna 1st principal

stress adalah tegangan tarik maksimum yang bekerja pada elemen. Daerah yang berwarna merah kekuningan menunjukkan tegangan tarik tertinggi, yaitu di bagian sisi pinggir dan area dekat sudut pengaku. Area ini merupakan lokasi yang paling rentan mengalami regangan (deformasi) karena mengalami tegangan tarik terbesar. Nilai 120 MPa masih dapat dianggap aman, asalkan masih di bawah batas leleh *yield strength* material pada baja 141 MPa atau lebih.

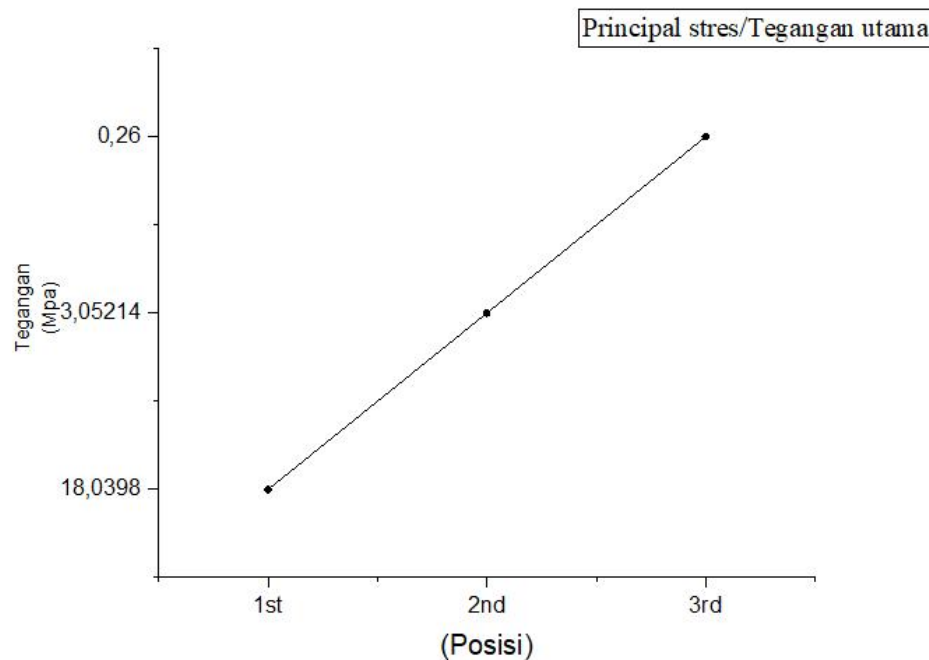
2nd principal stress (S2) gambar kedua nilai maksimum (SMX) 3.05214 MPa nilai minimum (SMN) -5.37089 MPa makna 2nd principal stress adalah tegangan yang arahnya di antara arah tegangan utama pertama dan ketiga. Biasanya lebih kecil dari S1 dan S3, tapi tetap penting karena menggambarkan kombinasi gaya yang bisa memicu tegangan geser atau tekanan lokal. Nilai tegangan yang terdeteksi bersifat tarik dan tekan, tetapi cukup kecil dan menyebar merata, terutama di daerah tengah struktur plat. Tidak ada indikasi konsentrasi tegangan signifikan dari hasil ini yang bisa di lihat pada tabel 4.3.

Table 4.5 Nilai Maksimal Tegangan Utama

T ebal Plat (mm)	X (Mpa)	Y (Mpa)	Z (Mpa)
12	128.38	92.52	57.42

(Sumber:Hasil olahan,2025)

3rd principal stress (S3) gambar ketiga nilai maksimum (SMX) 57.42 MPa (mendekati nol Nilai minimum (SMN) 3,9 MPa makna 3rd principal stress adalah tegangan tekan maksimum yang dialami elemen. Nilai 128 MPa menunjukkan adanya tekanan yang cukup tinggi di bagian tertentu dari struktur, terutama daerah sisi dan bawah plat alas. Area ini kemungkinan besar mengalami beban tekan dari struktur atas atau gaya distribusi dari beban muatan, meskipun nilai ini cukup tinggi dalam konteks kompresi, masih tergolong aman jika dibandingkan dengan batas tekan material pada gambar 4.18.



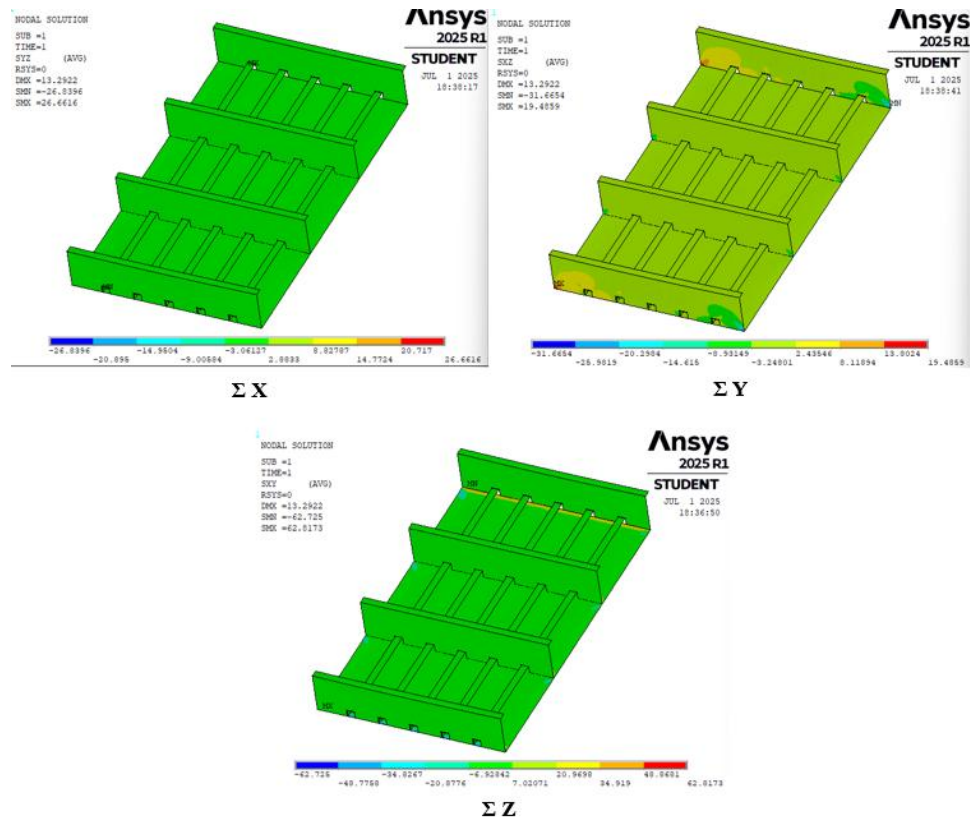
Gambar 4.18 Tegangan Utama Pada Plat 12 mm

(Sumber:originpro2018)

Tidak ada tanda kegagalan material secara eksplisit atau terus terang. Namun tegangan tekan (S3) harus diperiksa lebih lanjut apakah bisa memicu tekuk (buckling), terutama jika struktur ramping yang akan dilihat pada analisis von mises stress di pembahasan berikutnya untuk mengetahui apakah kombinasi semua tegangan ini mendekati yield strength material.

4.11.3 Tegangan Geser 12mm

Dalam analisis kekuatan struktur suatu barge, salah satu parameter penting yang harus diperhatikan adalah tegangan geser, tegangan ini muncul akibat gaya internal yang bekerja sejajar dengan permukaan suatu elemen struktur dan sangat mempengaruhi stabilitas serta keamanan komponen Plat dasar barge, khususnya pada bagian yang mengalami pembebanan tidak merata, melalui simulasi numerik menggunakan perangkat lunak ansys, distribusi tegangan geser dalam berbagai arah XY, YZ, dan XZ—dapat divisualisasikan untuk mengidentifikasi area kritis yang berpotensi mengalami deformasi atau keruntuhan lokal akibat geseran. yang dapat dilihat pada gambar 4.19.



Gambar 4.19 Tegangan Geser Pada Sigma X,Y Dan Z.

(Sumber:Hasil olahan,2025)

Berdasarkan hasil simulasi kontur tegangan geser pada struktur Plat baja, diperoleh distribusi tegangan untuk masing-masing komponen sebagai berikut tegangan geser XY *Shear Stress XY* nilai maksimum 13.6817 MPa nilai minimum -12.889 MPa warna merah tampak pada area sudut dan tepi Plat, menunjukkan konsentrasi tegangan geser tertinggi pada arah XY, warna biru dominan di bagian tengah Plat, menandakan area yang relatif aman dari pengaruh tegangan geser XY. Tegangan geser YZ *Shear Stress YZ* Nilai maksimum 7.67336 MPa Nilai minimum -7.75563 MPa Tegangan geser arah YZ paling dominan muncul di bagian bawah struktur, kemungkinan akibat distribusi beban vertikal, warna hijau hingga kuning menunjukkan tegangan sedang, sedangkan biru tua mewakili area dengan tegangan geser rendah, tegangan geser XZ *Shear Stress XZ* nilai maksimum 6.6548 MPa Nilai minimum -6.7356 MPa Distribusi tegangan XZ relatif merata di sepanjang permukaan Plat, dengan konsentrasi kecil di area pertemuan

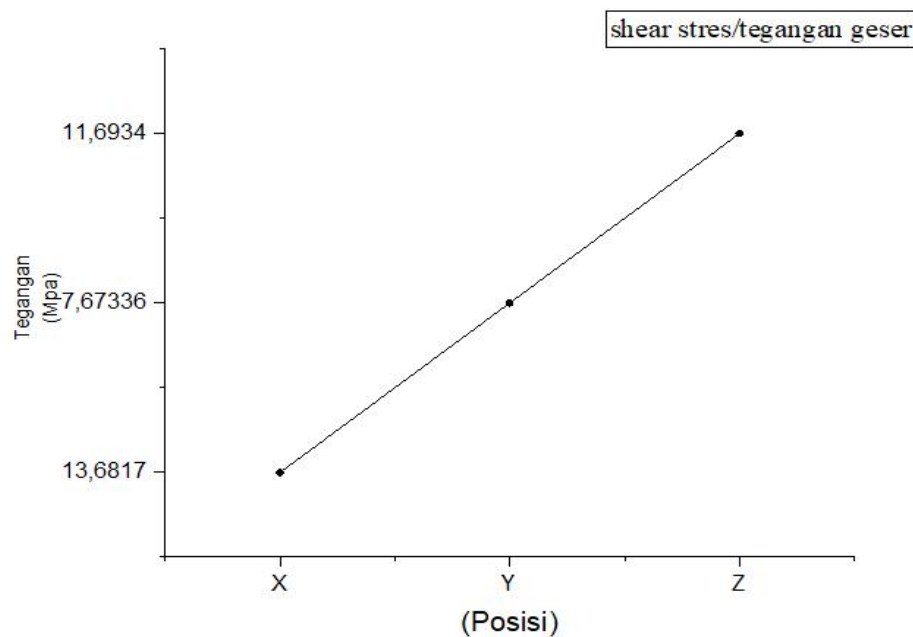
antar elemen struktural, perbedaan warna menggambarkan gradasi distribusi tegangan yang tidak terlalu ekstrem dibandingkan arah XY.table 4.4.

Table 4.6 Nilai Tegangan Geser.

Tebal Plat (mm)	X (Mpa)	Y (Mpa)	Z (Mpa)
12	26.66	19.48	62.81

(Sumber:Hasil olahan,2025)

Plat lengkung dan di antara penyangga profil L, yang berarti geseran vertikal antar elemen penting untuk diperhatikan. Tegangan geser XZ nilai maksimum 11.6934 MPa nilai minimum -10.7876 MPa Kontur warna menunjukkan konsentrasi tegangan geser XZ terjadi di kedua ujung Plat dan beberapa titik pertemuan antara plat dan tulangan, mengindikasikan gaya geser horizontal terhadap bidang Z cukup signifikan. Simulasi ini memperlihatkan bahwa distribusi tegangan geser tidak seragam dan terkonsentrasi pada beberapa area struktural tertentu.



Gambar 4.20 Tegangan Geser Pada 12 mm.

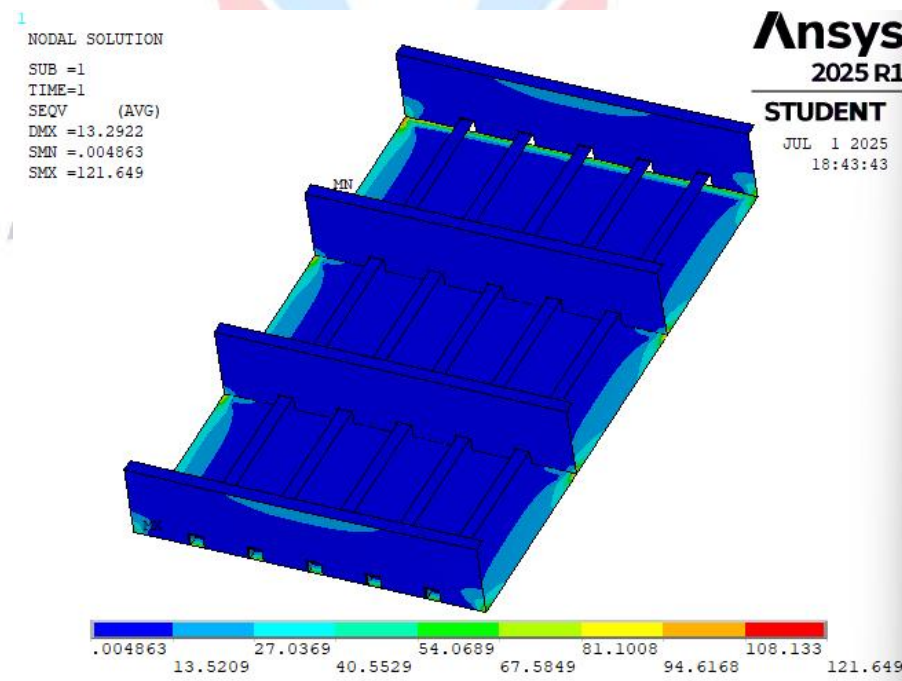
(Sumber:originpro2018)

Tegangan tertinggi muncul pada komponen XY shear stress, yang mengindikasikan bahwa arah geseran horizontal terhadap bidang Y

perlu menjadi perhatian utama dalam perancangan maupun penguatan struktur plat dasar barge.

4.11.4 Ekuivalen 12mm

Analisis kekuatan struktur menggunakan metode elemen hingga *Finite Element Method* FEM, tegangan ekuivalen von mises menjadi salah satu parameter utama untuk menilai apakah suatu komponen mengalami kegagalan plastis atau masih berada dalam batas aman. Tegangan ini menggambarkan distribusi tegangan gabungan yang bekerja pada suatu titik dalam struktur akibat beban kerja yang dikenakan, gambar 4.22 menunjukkan hasil simulasi tegangan ekuivalen von mises pada struktur baja yang menggunakan perangkat lunak ansys 2025 R1.



Gambar 4.21 Tegangan Ekuivalen Pada T Plat 12mm

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Pada hasil analisis tersebut, tampak bahwa pada gambar 4.18 nilai maksimum tegangan ekuivalen terjadi pada bagian ujung atas sisi kanan dan titik tengah dengan besar sekitar 25,2376 MPa, sedangkan nilai minimum sebesar 0,0381 MPa berada pada Sigma x dan y, warna merah menunjukkan konsentrasi tegangan tertinggi sedangkan warna biru

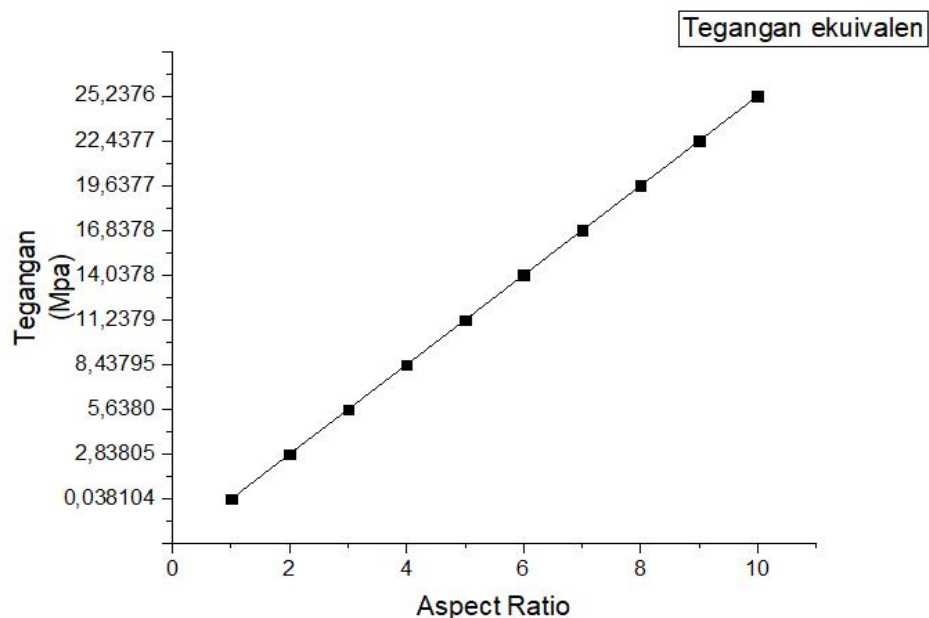
menunjukkan tegangan yang paling rendah. Oleh karena itu dari setiap tegangan yang terjadi dapat dilihat pada tabel 4.7.

Table 4.7 Nilai Tegangan Ekuivalen 12 mm.

Aspect Ratio	Tegangan ekuivalen (Mpa)
1	13.52
2	27.03
3	40.55
4	54.06
5	67.58
6	81.10
7	94.61
8	108.13
9	121.64
10	135.20

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Hal ini mengindikasikan bahwa area dengan nilai 135.20 Mpa dengan warna merah perlu mendapat perhatian khusus dalam perancangan, karena berpotensi mengalami deformasi plastis jika melebihi tegangan luluh material, berikut dapat di lihat bagaimana respon tegangan pada tegangan ekuivalen pada gambar 4.22.



Gambar 4.22 Tegangan Ekuivalen Pada T Plat 12mm.

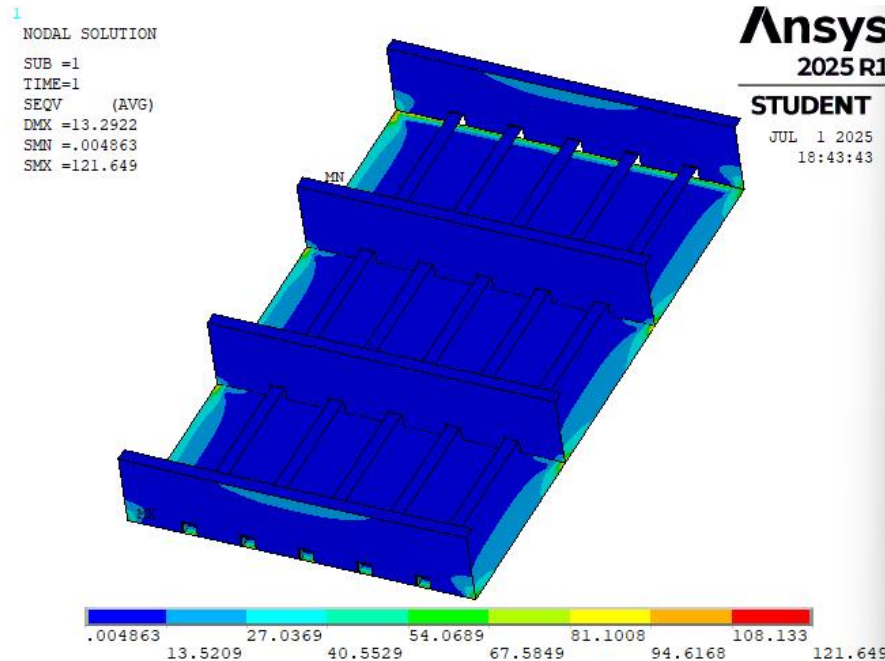
(Sumber: originpro2018)

Pada *aspect ratio* 1, nilai tegangan ekuivalen masih sangat kecil yaitu sebesar 0,038 MPa. namun, seiring bertambahnya *aspect ratio* hingga mencapai nilai 10, tegangan ekuivalen meningkat secara signifikan hingga mencapai 25,2376 MPa, pola ini menunjukkan bahwa bentuk geometri dari plat yang direpresentasikan oleh *aspect ratio* memiliki pengaruh langsung terhadap perilaku tegangan pada struktur tersebut.

Kenaikan ini dapat dijelaskan oleh fakta bahwa plat dengan *aspect ratio* yang lebih tinggi cenderung mengalami deformasi yang lebih besar, sehingga distribusi tegangan menjadi lebih intens, terutama saat mendekati kondisi kritis buckling. Oleh karena itu, pemilihan *aspect ratio* yang tepat sangat penting dalam perancangan struktur plat agar dapat menghindari kegagalan akibat beban kritis.

4.11.5 Tegangan Ekuivalen 12mm

Tegangan ekuivalen merupakan salah satu parameter penting dalam menganalisis kekuatan dan keamanan struktur terhadap beban yang bekerja, pada penelitian ini, analisis tegangan ekuivalen dilakukan terhadap plat alas barge dengan variasi ketebalan plat mulai dari 4 mm hingga 12 mm, hasil simulasi menggunakan perangkat lunak ansys memberikan gambaran distribusi tegangan ekuivalen yang terjadi pada masing-masing model, dari hasil data yang sudah di *running* sehingga dapat dibandingkan untuk menilai pengaruh perubahan ketebalan terhadap performa struktur, Pada gambar 4.23.



Gambar 4.23 Ekuivalen Pada T Plat 12 mm.

(Sumber:Hasil olahan,2025)

Gambar 4.23 menunjukkan hasil simulasi tegangan ekuivalen pada struktur plat alas barge. Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui distribusi tegangan maksimum yang terjadi akibat pembebanan pada struktur, dengan konfigurasi lima buah pengaku berbentuk profil L. Tampilan kontur diperoleh melalui menu general postproc, plot results ,contour plot lalu nodal solution, dengan pemilihan kuantitas *von mises stress* sebagai parameter utama yang diamati, mode tampilan yang digunakan adalah *deformed shape only*, artinya bentuk struktur yang ditampilkan telah mengalami deformasi sesuai hasil analisis, namun tidak mewakili skala deformasi yang sesungguhnya karena penggunaan skala otomatis. Distribusi warna pada kontur menunjukkan variasi tegangan von mises yang terjadi pada seluruh permukaan struktur, dengan rentang nilai dari sekitar 0,038 MPa hingga 25,237 MPa, warna biru tua mewakili daerah dengan tegangan rendah, yang umumnya berada di tengah panel dan berada di bawah pengaruh langsung pengaku. Warna hijau hingga kuning menunjukkan zona transisi, sementara warna merah menunjukkan area dengan tegangan tertinggi, yang banyak ditemukan di sudut-sudut plat serta ujung pengaku profil L. Nilai

maksimum tegangan von mises yang terjadi adalah sebesar 25,237 MPa, yang masih jauh di bawah batas luluh material baja struktural (sekitar 144–300 MPa), sehingga struktur ini masih berada dalam batas aman elastis.

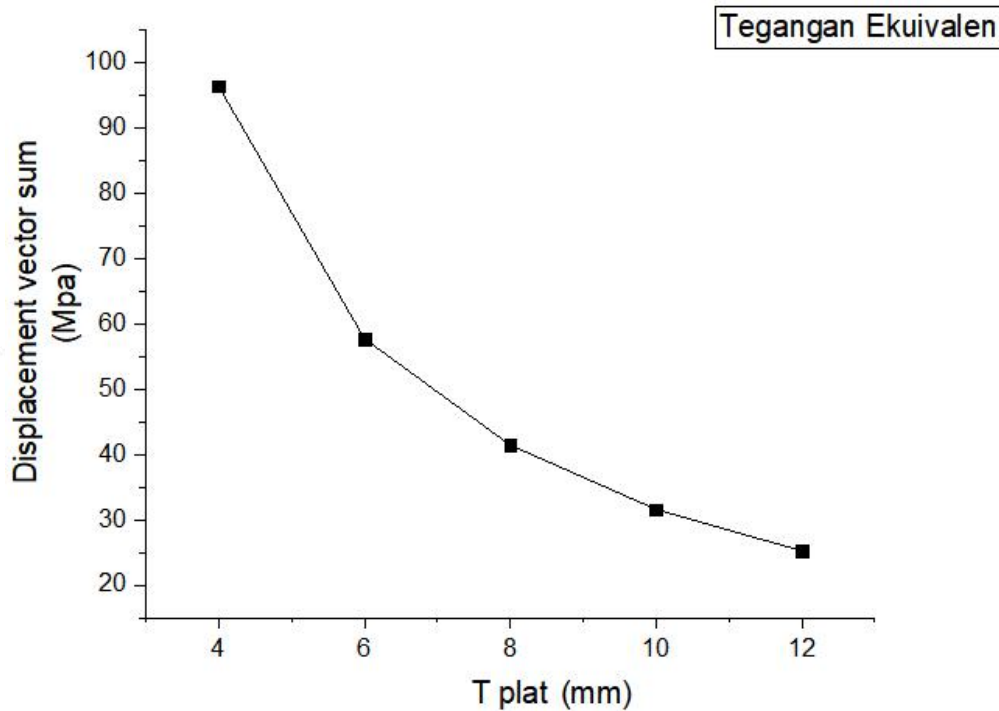
Tegangan von mises sendiri merupakan tegangan ekuivalen yang digunakan sebagai indikator utama dalam menilai potensi kegagalan akibat beban kompleks, dari hasil simulasi ini, dapat disimpulkan bahwa desain pengaku telah bekerja efektif dalam meredam tegangan di area utama plat, namun demikian konsentrasi tegangan yang tinggi di beberapa titik seperti sambungan plat dan ujung profil L perlu mendapat perhatian lebih lanjut, karena berpotensi menjadi titik awal kegagalan akibat kelelahan atau tekuk lokal, Untuk memastikan keamanan struktur secara menyeluruh terhadap risiko tekuk, analisis tambahan seperti *eigen-buckling* atau *nonlinear buckling* disarankan guna menentukan beban kritis dan mode tekuk yang mungkin terjadi. Nilai ekuivalen yang terjadi dapat dilihat pada tabel. 4.8.

Table 4.8 Nilai Max Ekuivalen T Plat 12 mm.

Tebal Plat (mm)	Deformasi (Mpa)
12	121.64

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Pada ketebalan 8 mm tegangan maksimum semakin berkurang dan terdistribusi lebih luas, warna dominan beralih ke hijau dan kuning, menunjukkan bahwa struktur mulai bekerja dalam zona aman, performa struktural meningkat signifikan. Ketebalan 10 mm Hampir seluruh permukaan plat menunjukkan tegangan rendah hingga sedang (biru–hijau). Struktur menjadi lebih tahan terhadap konsentrasi beban.



Gambar 4.24 Tegangan Ekuivalen.

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Risiko kegagalan akibat tegangan tinggi berkurang drastis, ketebalan 12 mm tegangan ekuivalen menyebar dengan sangat merata dan dominan berwarna biru. Ini menandakan bahwa plat sangat stabil dan mampu mendistribusikan beban dengan optimal. Ketebalan ini dapat dikategorikan sebagai kondisi paling aman dalam rentang pengujian. Berdasarkan hasil visualisasi tegangan ekuivalen, dapat disimpulkan bahwa semakin tebal plat alas yang digunakan, semakin kecil tegangan maksimum yang terjadi pada struktur, hal ini menunjukkan bahwa penambahan ketebalan plat efektif dalam meningkatkan kekuatan struktur terhadap tegangan yang ditimbulkan oleh beban luar sekaligus meminimalisasi risiko terjadinya kegagalan.

4.12 Buckling Pada Penurunan

Pada tahap ini tegangan buckling di variasi kan agar mengetahui berapa besar dampak yang akan di timbulkan jika plat mengalami penurunan ketebalan, bertujuan untuk mengevaluasi distribusi tegangan pada struktur

atau komponen di bawah kondisi beban sebesar 38,75 dalam analisis ini, membuat model geometri di ansys dengan membentuk desain solid dari keypoint-keypoint yang telah ditentukan, menerapkan properti material yaitu modulus elastisitas dan rasio Poisson pada model tersebut.

Beban mekanis seperti gaya tekanan atau momen, diterapkan pada model sementara kondisi batas seperti penjepit atau dukungan didefinisikan untuk mensimulasikan kondisi nyata, yang dapat menyebabkan buckling. Setelah proses meshing dilakukan untuk membagi model menjadi elemen-elemen kecil.

4.12.1 Tegangan Penurunan Plat

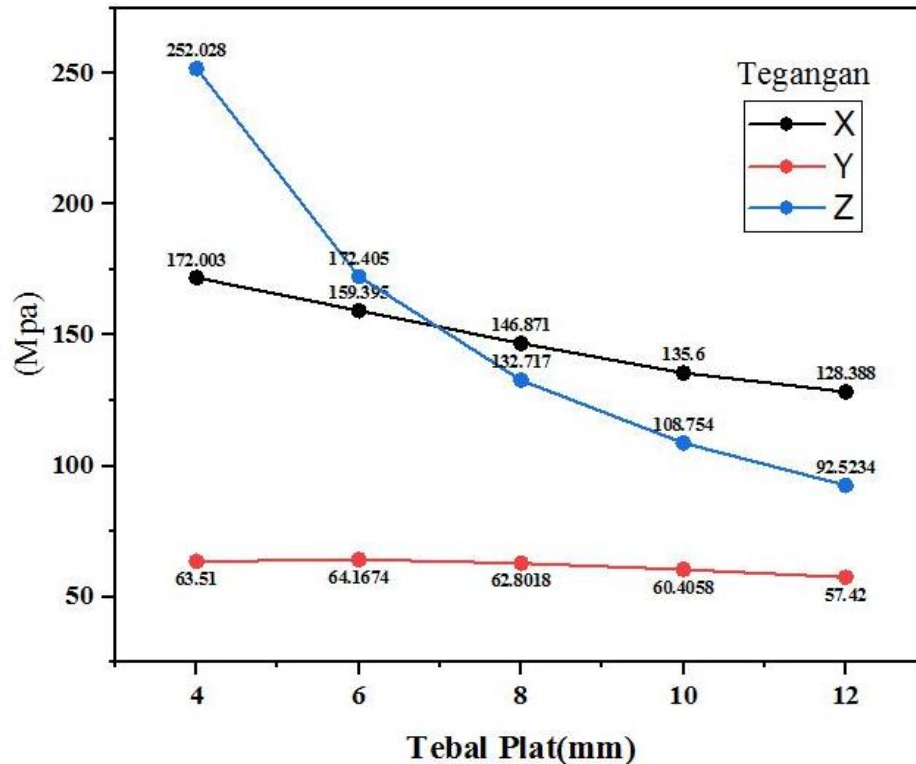
Dalam analisis kekuatan struktur, khususnya pada elemen-elemen plat seperti plat alas barge, komponen Yang di dapat dalam perbandingan yang di lakukan melalui hasil olahan dari masing masing ketebalan Plat dapat di lihat pada table 4.7, Untuk mengetahui pengaruh ketebalan plat terhadap distribusi tegangan pada struktur plat alas barge, Simulasi ini menghasilkan nilai tegangan maksimum pada arah x (σ_x), arah y (σ_y), dan arah z (σ_z)

Table 4.9 Table 4. 9 Nilai Perbandingan Tegangan.

Tebal Plat (mm)	ΣX (Mpa)	ΣY (Mpa)	ΣZ (Mpa)
4	172,003	63,510	252,03
6	159,395	64,167	172,405
8	146,871	62,802	132,717
10	135,600	60,406	108,754
12	128,388	57,420	92,523

(Sumber:Hasil olahan,2025)

Untuk setiap variasi ketebalan plat hasil analisis tersebut disajikan Pada Gambar 4.25



Gambar 4.25 Component of Stres/Tegangan.

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Berdasarkan grafik di atas, dapat diamati bahwa tegangan pada arah x (σ_x) mengalami penurunan signifikan seiring bertambahnya ketebalan plat, hal ini menunjukkan bahwa ketebalan plat memiliki peran penting dalam memperkuat struktur terhadap beban memanjang, khususnya dalam mencegah terjadinya tekuk buckling, sementara itu, tegangan pada arah y (σ_y) dan z (σ_z) cenderung stabil, menandakan bahwa pengaruh ketebalan terhadap komponen tegangan di arah tersebut tidak terlalu dominan, penjelasan lebih lanjut mengenai hal ini akan dibahas pada bagian berikutnya.

1. Tegangan Normal σ

Merupakan tegangan yang bekerja tegak lurus terhadap permukaan suatu bidang, tegangan ini muncul akibat gaya tarik *tensile* atau gaya tekan *compressive*, contohnya adalah tegangan yang bekerja secara vertikal pada plat yang ditekan dari atas.

Tegangan geser τ Merupakan tegangan yang bekerja sejajar terhadap permukaan bidang. Tegangan ini berusaha menggeser satu bagian material terhadap bagian lainnya yang berdekatan.

Di mana:

$$\begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} \\ \tau_{yx} & \sigma_y \end{bmatrix} \quad (2)$$

σ_x dan σ_y adalah tegangan normal pada arah sumbu-x dan sumbu-y

τ_{xy} dan τ_{yx} adalah tegangan geser pada bidang xy.

Masing-masing komponen ini sangat penting dalam perhitungan kekuatan dan kestabilan struktur, terutama saat dilakukan simulasi numerik seperti metode elemen hingga menggunakan perangkat lunak komputer.

2. Tegangan Geser

Tegangan geser adalah salah satu jenis tegangan yang termasuk dalam komponen tegangan. Tegangan ini terjadi ketika suatu gaya bekerja sejajar terhadap bidang permukaan suatu material. Tegangan geser memiliki pengaruh besar terhadap kemungkinan deformasi geser atau kegagalan geser pada struktur. Secara umum, tegangan geser dirumuskan sebagai berikut

Di mana:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (3)$$

τ = tegangan geser (N/mm² atau MPa),

F= gaya geser yang bekerja sejajar permukaan (N),

A = luas penampang tempat gaya bekerja (mm²).

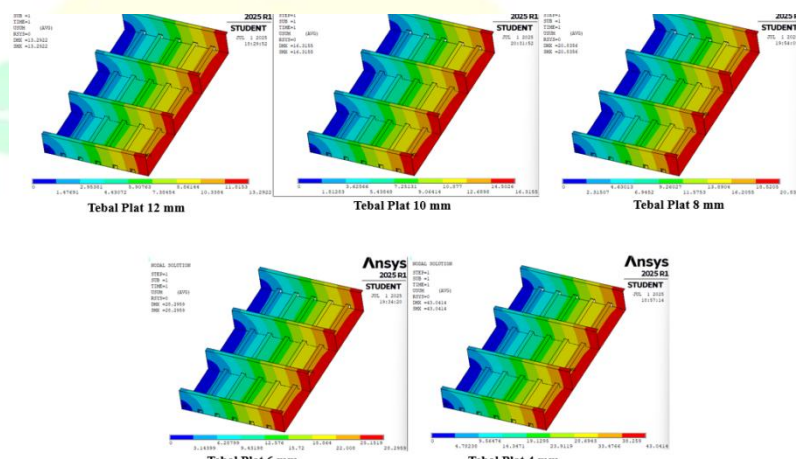
Dalam struktur plat seperti pada plat alas barge, tegangan geser dapat muncul akibat gaya-gaya lateral atau interaksi antar elemen struktur. Meskipun besarnya seringkali lebih kecil dari tegangan normal, tegangan geser tetap harus diperhitungkan,

terutama dalam kondisi beban kompleks atau saat terjadi fenomena tekuk buckling.

Dapat disimpulkan bahwa komponen tegangan mencakup keseluruhan jenis tegangan yang bekerja pada elemen struktur, termasuk tegangan normal dan tegangan geser. Sementara itu, tegangan geser merupakan bagian khusus dari komponen tegangan yang memiliki arah gaya sejajar bidang. Kedua jenis tegangan ini harus diperhitungkan secara bersamaan untuk mendapatkan gambaran menyeluruh mengenai kondisi tegangan dan potensi kegagalan pada struktur, khususnya dalam analisis numerik menggunakan software simulasi seperti ansys.

4.12.2 Deformasi Penurunan Plat

Selain tegangan, analisis terhadap deformasi atau perpindahan displacement akibat beban tekan sangat penting untuk menentukan kestabilan struktur plat alas pada barge, simulasi displacement dalam ansys memberikan gambaran visual tentang seberapa besar perubahan bentuk yang dialami oleh plat dengan berbagai ketebalan. dengan memeriksa pola dan besarnya perpindahan, dapat diketahui batas ketahanan plat terhadap beban sebelum terjadi kegagalan akibat buckling atau deformasi permanen.



Gambar 4.26 Deformasi Penurunan Plat.
(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Gambar di atas menunjukkan distribusi total perpindahan *displacement vector sum* pada plat alas barge dengan variasi ketebalan plat 12 mm, 10 mm, 8 mm, 6 mm, dan 4 mm, pada ketebalan 12 mm, perpindahan maksimum yang terjadi hanya sebesar 0,013292 meter, menunjukkan bahwa plat masih sangat kaku dan stabil terhadap beban yang diberikan, saat ketebalan dikurangi menjadi 10 mm, terjadi peningkatan perpindahan menjadi 0,0163155 meter, namun struktur masih berada dalam batas aman dan tidak menunjukkan tanda deformasi serius. Pada Plat 8 mm, nilai perpindahan meningkat lebih jauh hingga 0,0208356 meter, dan mulai terlihat adanya tanda awal deformasi lentur di bagian tengah Plat. Ketika ketebalan diturunkan ke 6 mm, perpindahan maksimum mencapai 0,0282959 meter, yang menandakan deformasi lentur signifikan dan penurunan kekakuan struktural.

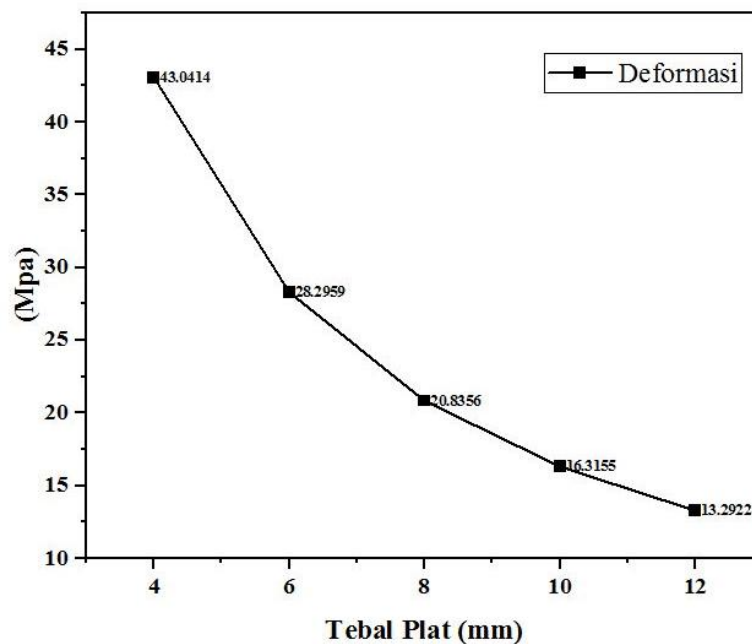
Pada ketebalan 4 mm, perpindahan tertinggi sebesar 0,0340414 meter terjadi, menunjukkan Plat mengalami deformasi besar dan berada dalam kondisi yang tidak stabil. Warna merah pada model menunjukkan area dengan perpindahan tertinggi, yang cenderung semakin meluas seiring penurunan ketebalan Plat. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa semakin tipis Plat, semakin besar perpindahan yang terjadi, yang berdampak langsung pada penurunan kekakuan dan kestabilan struktur secara keseluruhan.

Table 4.10 Keterangan Kekuatan Plat.

No.	Ketebalan Plat (mm)	Displacement Maksimum (mm)	Indikasi Deformasi	Stabilitas Struktural
1	12	0.013	Sangat kecil / stabil	Sangat baik
2	10	0.016	Kecil	Baik
3	8	0.020	Sedang	Mulai berkurang
4	6	0.028	Tinggi	Tidak stabil
5	4	0.034	Sangat tinggi	Sangat tidak stabil

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Dari hasil ini terlihat jelas bahwa ketebalan Plat yang lebih kecil menghasilkan deformasi yang lebih besar sehingga struktur menjadi lebih rentan terhadap buckling atau kerusakan bentuk permanen, oleh karena itu pemilihan ketebalan Plat yang tepat sangat krusial dalam perancangan Plat alas barge, agar dapat menahan beban tekan secara optimal tanpa mengalami deformasi berlebih.



Gambar 4.27 Deformasi Yang Terjadi

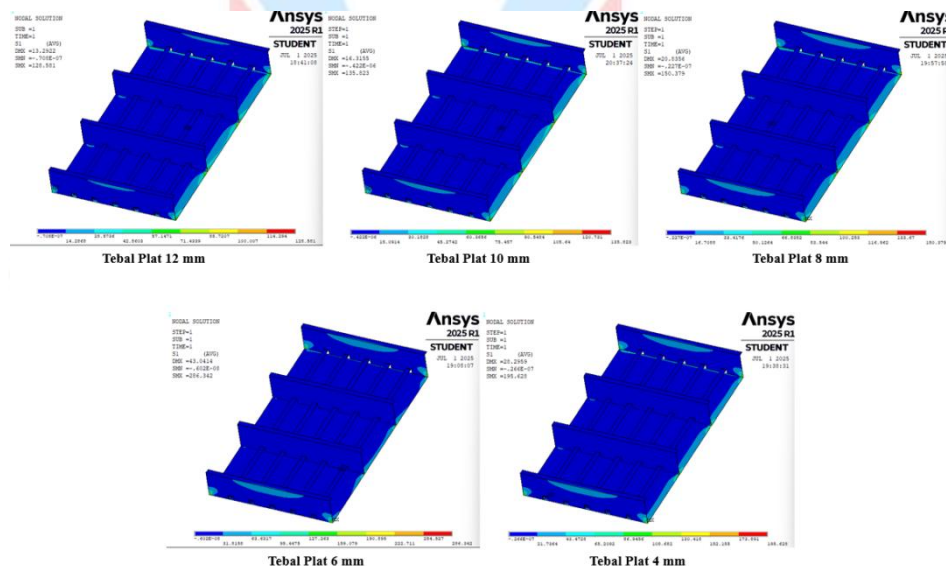
(Sumber: Hasil olahan, 2025)

4.12.3 Tegangan utama Penurunan Plat

Dalam struktur barge, plat alas berperan penting sebagai elemen penopang utama terhadap beban yang bekerja secara langsung, baik dari muatan maupun gaya-gaya lingkungan seperti tekanan air dan beban gelombang. Ketika plat mengalami deformasi atau penurunan akibat pembebanan, maka akan timbul tegangan-tegangan internal yang mempengaruhi perilaku material. salah satu tegangan yang paling menentukan dalam kondisi ini adalah tegangan utama, yaitu tegangan maksimum yang bekerja

pada bidang tertentu dalam material. Analisis terhadap tegangan utama menjadi penting untuk mengidentifikasi potensi kegagalan awal seperti retak atau bahkan tekuk lokal pada plat.

Untuk memahami pengaruh ketebalan plat terhadap distribusi tegangan utama dalam struktur barge, dilakukan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak ANSYS 2025 R1. Gambar berikut menunjukkan hasil analisis tegangan utama pada arah 1 (SX) dari Plat alas barge dengan variasi ketebalan mulai dari 12 mm hingga 4 mm, simulasi ini bertujuan mengevaluasi potensi terjadinya konsentrasi tegangan dan fenomena buckling akibat penurunan ketebalan plat.

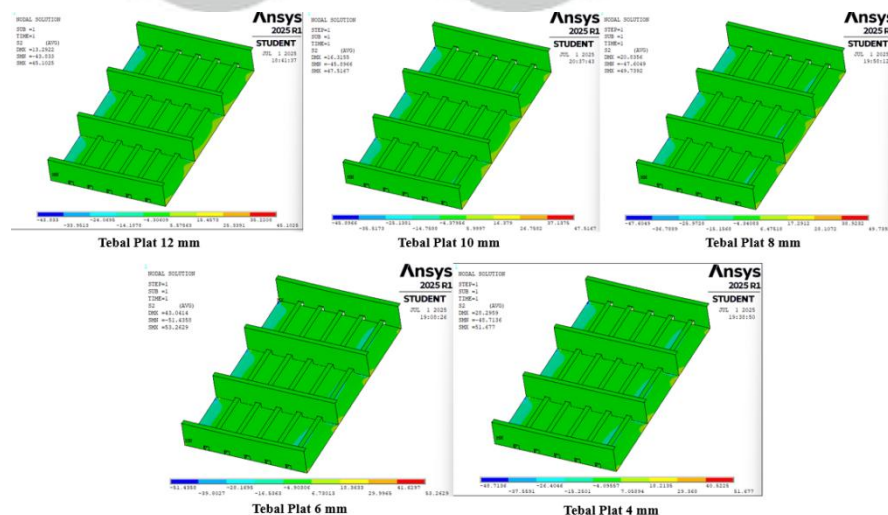


Gambar 4.28 Tegangan Utama Pada 1st
(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Gambar 4.28 memperlihatkan sebaran tegangan utama (SX) pada struktur Plat alas barge dengan variasi ketebalan Plat tebal plat 12 mm menunjukkan distribusi tegangan yang relatif rendah dengan nilai maksimum sekitar 128,581 MPa, menunjukkan bahwa struktur berada dalam kondisi aman dan jauh dari risiko buckling, tebal plat 10 mm mengalami sedikit peningkatan tegangan maksimum menjadi 155,823 MPa, namun masih dalam batas

elastis material baja. Tebal plat 8 mm memperlihatkan tegangan maksimum mencapai 190,379 MPa, mendekati nilai tegangan leleh untuk baja karbon biasa sekitar 240 MPa, menandakan mulai terjadinya peningkatan risiko deformasi permanen, tebal plat 6 mm memiliki tegangan maksimum sebesar 266,342 MPa yang sudah melampaui tegangan leleh mengindikasikan bahwa material berada dalam kondisi kritis terhadap deformasi plastis, tebal plat 4 mm menunjukkan tegangan maksimum mencapai 295,947 MPa, yang sangat tinggi dan menandakan bahwa plat telah mengalami kondisi over-stress yang signifikan dan berisiko mengalami kegagalan struktur secara lokal. Perubahan ketebalan plat sangat berpengaruh terhadap distribusi dan intensitas tegangan, penurunan ketebalan menyebabkan peningkatan konsentrasi tegangan yang dapat memicu terjadinya tekuk *buckling* dan keruntuhan lokal.

Tegangan ini penting untuk diketahui karena berkaitan langsung dengan distribusi tegangan transversal yang terjadi akibat pembebanan lateral dan pengaruh pengekanan dari stiffener, gambar di bawah ini menampilkan hasil simulasi untuk berbagai variasi ketebalan Plat, mulai dari 12 mm hingga 4 mm.

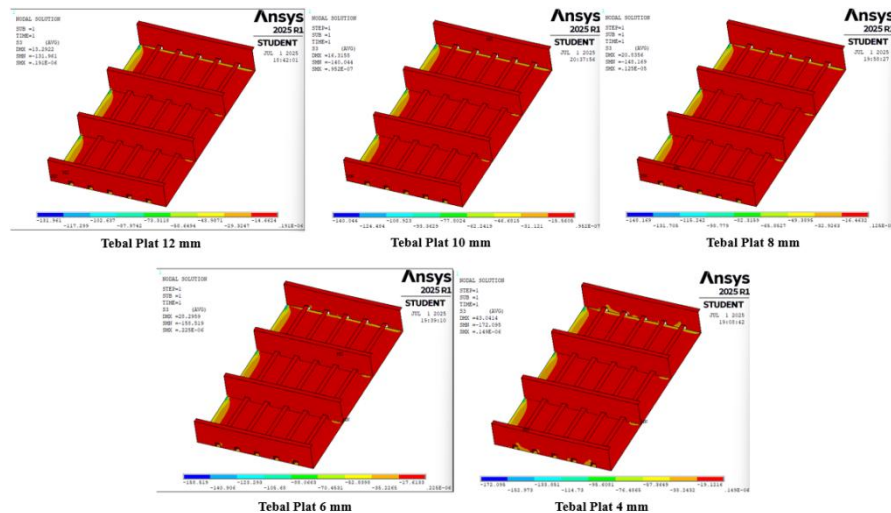


Gambar 4.29 Tegangan Utama Pada 2 nd

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Berdasarkan hasil simulasi yang ditampilkan, distribusi tegangan utama arah 2 (SY) cenderung menunjukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan arah 1 (SX), namun tetap relevan dalam menilai kestabilan struktural secara menyeluruh, Tebal plat 12 mm menunjukkan nilai maksimum sebesar +45,1025 MPa dan minimum sekitar -43,083 MPa, dengan distribusi tegangan yang dominan berada dalam rentang hijau (± 20 MPa), menandakan kondisi stabil, tebal plat 10 mm memperlihatkan peningkatan rentang tegangan, dari -36,5173 MPa hingga +47,5167 MPa, namun belum menunjukkan konsentrasi tegangan ekstrem. Tebal Plat 8 mm memiliki distribusi tegangan yang mulai menyebar ke area kuning dan biru tua, dengan nilai maksimum +39,7832 MPa, mengindikasikan peningkatan efek lentur di area Plat yang lebih tipis. Tebal plat 6 mm menunjukkan sebaran tegangan dari -51,4136 MPa hingga +53,4259 MPa, yang sudah memasuki batas tegangan yang patut diwaspadai terutama di bagian sambungan atau sudut Plat. Tebal plat 4 mm memiliki rentang tegangan -78,7136 MPa hingga +60,6257 MPa, menandakan adanya risiko konsentrasi tegangan tinggi dan potensi deformasi transversal, terutama pada area dengan kekakuan rendah.

Untuk melengkapi evaluasi tegangan pada struktur plat alas barge, dilakukan simulasi terhadap tegangan utama arah ke-3 (SZ), yang menggambarkan tegangan pada arah vertikal (normal terhadap bidang Plat). Tegangan ini sangat penting dalam menilai efek lentur dan reaksi akibat tekanan atau gaya luar dari muatan di atas Plat. Gambar 4.30 menunjukkan respons struktur terhadap variasi ketebalan Plat dari 12 mm hingga 4 mm.



Gambar 4.30 Tegangan Utama Pada 3 rd.

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Gambar 4.28 menunjukkan bahwa arah tegangan utama ke-3 (SZ) memiliki distribusi tegangan yang signifikan secara negatif (tekanan), terutama karena beban yang diterapkan secara normal terhadap permukaan plat. Berikut ringkasan pengamatan tebal plat 12 mm tegangan maksimum pada arah SZ sebesar $-131,961$ MPa, menunjukkan kondisi Plat yang masih cukup kaku dan mampu menahan gaya tekan dengan baik. Tebal plat 10 mm Tegangan maksimum menurun ke $-140,004$ MPa, yang menunjukkan adanya sedikit peningkatan deformasi vertikal akibat penurunan ketebalan, tebal plat 8 mm nilai tegangan mencapai $-146,149$ MPa, mendekati ambang tegangan kritis untuk gaya tekan, khususnya pada titik-titik tumpuan dan tengah plat, tebal plat 6 mm nilai tegangan terus meningkat hingga $-168,619$ MPa, yang menunjukkan bahwa plat mulai mengalami deformasi lentur yang lebih signifikan dan potensi tekuk lokal mulai meningkat, tebal plat 4 mm menunjukkan tegangan tekan tertinggi yakni $-179,092$ MPa, yang mendekati atau melebihi batas elastis pada arah vertikal, menandakan risiko tinggi terhadap deformasi permanen atau kegagalan tekuk lokal, distribusi tegangan pada arah SZ tampak merata di seluruh permukaan, namun intensitasnya meningkat drastis seiring

dengan berkurangnya ketebalan Plat, warna dominan merah pada seluruh model menunjukkan kondisi dominasi tegangan tekan secara menyeluruh.

Gambar tersebut menunjukkan hasil analisis buckling mode shape dari plat alas barge dengan stiffener, dengan tiga mode 1st mode shape 1st warna dominan biru menunjukkan deformasi minimum atau hampir tidak ada, Titik deformasi awal mulai tampak di bagian ujung tengah plat, namun masih sangat kecil. Nilai eigenvalue paling kecil 5.12×10^{-3} menandakan bahwa inilah mode paling kritis, karena struktur akan mulai mengalami buckling pada nilai beban ini terlebih dahulu.

Table 4.11 Perbedaan Utama 1st, 2nd, dan 3rd

Aspek	1st	2nd	3rd
Nilai Eigenvalue	Paling rendah	Menengah	Paling tinggi
Beban Kritis	Terendah (paling rawan)	Lebih besar dari 1st	Terbesar dari ketiganya
Area Deformasi	Terbatas (lokal)	Mulai menyebar	Menyeluruh (global)
Warna dominan	Biru (deformasi kecil)	Kuning-Hijau (sedang)	Merah (maksimum)
Sifat Buckling	Awal, lokal	Menengah, semi-global	Global, menyeluruh

(Sumber: Penulis, 2025)

Mode ini bisa dianggap sebagai mode kegagalan pertama yang harus diwaspadai dalam desain. mode shape 2nd terlihat adanya peningkatan deformasi dibanding mode pertama, distribusi deformasi mulai menyebar, terutama di area tengah dan sekitar stiffener, warna kuning-hijau menandakan bahwa struktur mulai menunjukkan perilaku pascatekuk lebih kompleks, nilai eigenvalue 5.74×10^{-3} sedikit lebih tinggi dari 1st, artinya struktur bisa menahan beban lebih besar sebelum mengalami mode ini.

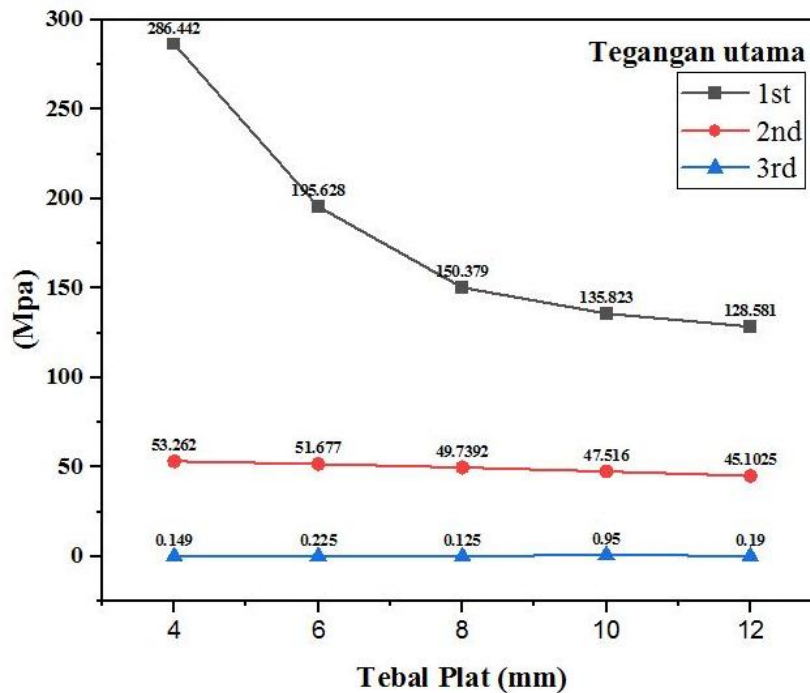
3rd Mode Shape 3rd Warna dominan merah menunjukkan deformasi maksimum. Terjadi buckling di banyak titik dan lebih merata, khususnya di bagian stiffener dan sudut Plat. Mode ini menampilkan pola global buckling, yaitu melibatkan seluruh sistem Plat-stiffener. Nilai eigenvalue paling tinggi dari ketiganya 6.42×10^{-3} , menunjukkan mode ini terjadi setelah struktur melewati dua mode buckling sebelumnya. Mode pertama adalah mode yang paling kritis dan perlu menjadi fokus dalam perancangan agar struktur tidak mengalami kegagalan dini. Analisis mode kedua dan ketiga penting untuk memahami bagaimana perilaku struktur setelah melewati batas beban kritis pertama. Tabel 4.8 menjelaskan bagaimana respon yang dialami oleh masing-masing plat pada pembebanan yang sama.

Table 4.12 Nilai Perbandingan Tegangan Utama.

Tebal Plat (mm)	1 st (Mpa)	2 nd (Mpa)	3 rd (Mpa)
4	81,32	7,63299	0,129
6	35,3444	5,06288	0,231
8	26,7069	3,79202	0,396
10	21,8119	3,44486	0,753
12	18,0398	3,05214	0,26

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Penurunan plat yang tidak terkendali dapat memicu redistribusi tegangan yang tidak merata dan memperbesar risiko keruntuhan lokal, oleh karena itu dalam proses perancangan dan analisis kekuatan struktur, identifikasi tegangan utama akibat penurunan harus dilakukan secara cermat agar dapat mengidentifikasi nya di lihat pada tabel 4.12 nilai dari total keseluruhan sample pembanding. Dengan menggunakan bantuan perangkat lunak simulasi berbasis elemen hingga seperti ansys.



Gambar 4.31 Fenomena Tegangan Utama Yang Terjadi
(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Gambar 4.31 tegangan utama pada plat yang mengalami penurunan dapat dianalisis secara lebih akurat untuk mendapatkan gambaran Grafik menyeluruh mengenai daya tahan struktur terhadap beban kerja. Evaluasi ini juga menjadi dasar dalam pengambilan keputusan desain, termasuk ketebalan plat, jenis material, serta kebutuhan penguatan lokal.

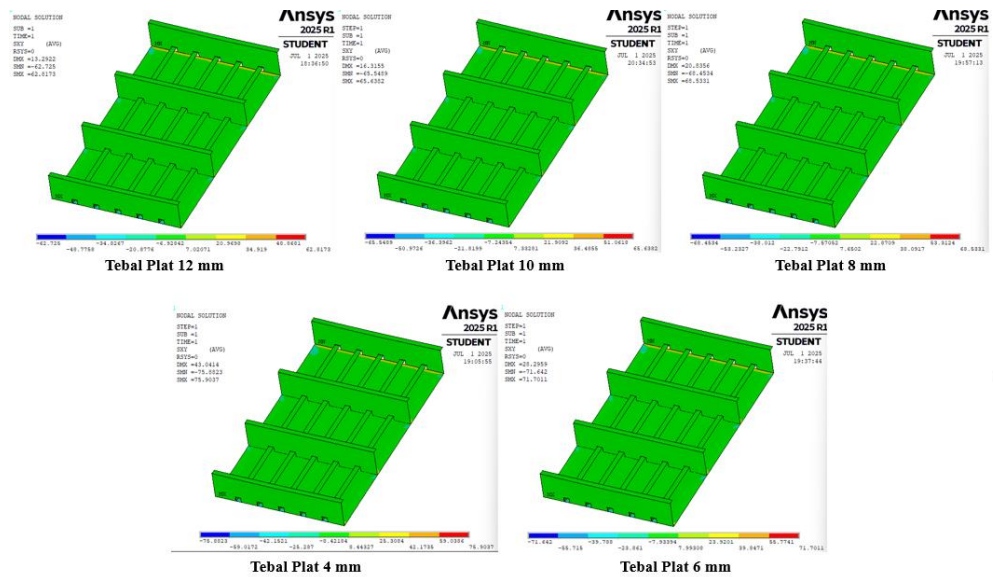
Berdasarkan hasil analisis numerik terhadap ketiga arah tegangan utama (SX, SY, dan SZ), dapat disimpulkan bahwa variasi ketebalan plat alas memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap *respon* struktural barge secara keseluruhan, pada arah SX *longitudinal* penurunan ketebalan Plat menyebabkan peningkatan drastis pada nilai tegangan utama, yang berpotensi memicu terjadinya buckling. Sementara itu, pada arah SY *transversal* meskipun nilai tegangan lebih rendah, pola distribusinya menunjukkan adanya peningkatan tekanan lokal yang mengindikasikan lemahnya kekakuan pada arah tersebut seiring dengan menipisnya plat, adapun pada arah SZ *vertikal*, plat yang lebih tipis mengalami tegangan tekan yang

semakin tinggi dan merata, yang berisiko menyebabkan deformasi lentur atau tekuk lokal.

Dengan mempertimbangkan hasil dari ketiga arah tegangan utama ini, maka dapat ditegaskan bahwa ketebalan Plat merupakan parameter krusial dalam desain struktur Plat alas barge. Ketebalan minimal 8 mm masih menunjukkan kinerja yang cukup baik dan berada dalam batas elastis, sedangkan ketebalan di bawah nilai tersebut mulai menunjukkan gejala kritis terhadap tegangan dan deformasi. Oleh karena itu, dalam perencanaan dan evaluasi struktur barge, penting untuk menjaga ketebalan Plat agar tetap memenuhi batas aman secara struktural, terutama dalam menghadapi kombinasi beban longitudinal, transversal, dan vertikal.

4.12.4 Tegangan Geser Penurunan Plat

Selain tegangan utama, tegangan geser juga menjadi parameter penting dalam menganalisis respons struktur plat alas terhadap beban kerja. Tegangan geser muncul akibat gaya-gaya yang bekerja sejajar terhadap permukaan plat, terutama saat terjadi deformasi atau penurunan akibat pembebanan yang tidak merata. Dalam struktur barge, penurunan plat yang terjadi karena beban muatan atau gaya eksternal lainnya dapat menyebabkan distribusi tegangan geser yang signifikan, khususnya di sekitar sambungan, batas tumpuan, dan area yang mengalami perubahan ketebalan pada Gambar 4.32



Gambar 4.32 Tegangan Geser penurunan.

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Gambar 4.32 tiga tampilan komponen struktur plat alas barge dengan orientasi hasil tegangan arah yang berbeda SXX (X), SYY (Y), dan SXY (Z), gambar ini memperlihatkan distribusi tegangan (stress intensity) sebagai bagian dari analisis stabilitas struktur terhadap buckling (tekuk) X tegangan arah longitudinal tampak ada distribusi tegangan longitudinal yang cukup merata, tapi dengan variasi warna hijau, kuning dan biru pada sisi bawah dan tengah dengan nilai maksimum 44.62 MPa tegangan terbesar terjadi di area tengah-tengah plat, menandakan beban memanjang memberikan kontribusi dominan terhadap risiko buckling, area ini berpotensi mengalami buckling lokal memanjang jika nilai beban meningkat melewati batas kritis.

Y tegangan Arah transversal warna dominan hijau, namun terdapat garis-garis sempit berwarna oranye di area stiffener bagian bawah, nilai maksimum SYY 26.83 MPa tegangan transversal cukup stabil namun terkonsentrasi di sekitar stiffener, yang menandakan interaksi antara plat dan penegar dalam menahan beban lateral, perlu diperhatikan di daerah sambungan plat–stiffener karena bisa terjadi konsentrasi tegangan transversal yang memicu tekuk.

Z tegangan geser warna hijau dominan dengan gradien biru–merah di beberapa sudut, nilai maksimum SXY 49.16 MPa tegangan geser terbesar berada di area sudut dan ujung plat. Ini menunjukkan adanya pergeseran antar elemen plat akibat beban gabungan, berpotensi menyebabkan tekuk geser *shear buckling*, terutama di bagian tepi dan sambungan.

Table 4.13 Nilai Maksimal Tegangan Geser.

Tebal Plat (mm)	X (Mpa)	Y (Mpa)	Z (Mpa)
4	44,6265	26,8329	49,1683
6	30,9837	17,5896	31,1286
8	22,5835	12,5811	21,377
10	17,088	9,63321	15,4947
12	13,6817	7,67336	11,6934

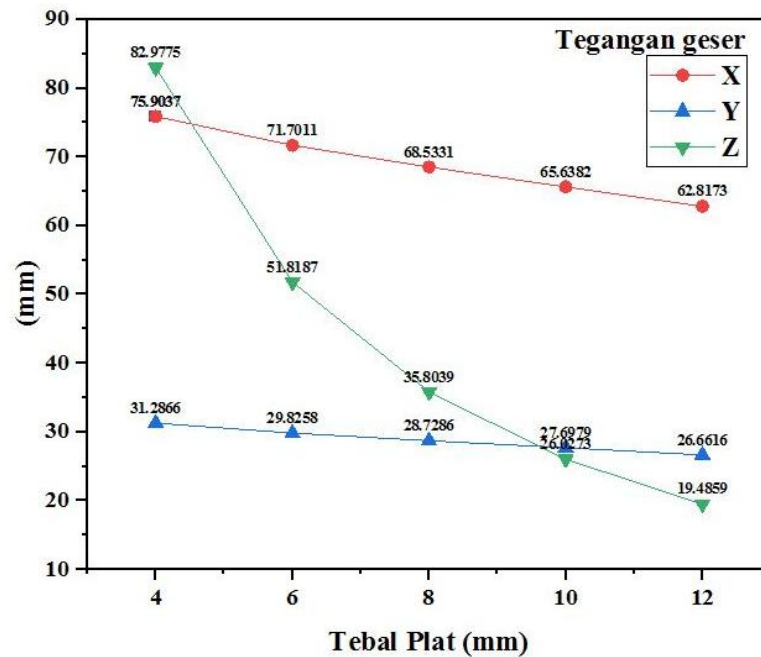
(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Tegangan arah X tegangan tertinggi terjadi pada plat dengan tebal 4 mm 44,63 MPa, tegangan menurun drastis seiring bertambahnya tebal plat hingga 13,68 MPa pada 12 mm plat yang lebih tipis cenderung lebih rentan terhadap buckling memanjang. penambahan ketebalan plat secara efektif mengurangi risiko tersebut.

Tegangan arah Y transversal mengalami penurunan serupa dari 26,83 MPa 7,67 MPa distribusi ini menunjukkan bahwa kekakuan transversal meningkat saat Plat diperkuat. tegangan tesar (SXY) nilai paling tinggi di awal 49,17 MPa menandakan risiko tinggi terhadap buckling geser pada Plat tipis, penurunan ke 11,69 MPa pada plat 12 mm menandakan daya tahan Plat yang sangat meningkat terhadap gaya geser.

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan pada variasi ketebalan plat, terlihat bahwa semakin tebal plat alas barge, nilai tegangan yang terjadi pada arah longitudinal X, transversal Y, dan geser Z cenderung menurun secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan ketebalan plat mampu meningkatkan kekakuan struktur, sehingga menurunkan risiko buckling, tegangan tertinggi ditemukan pada plat dengan ketebalan 4 mm, terutama pada

komponen geser 49,17 MPa, yang mengindikasikan potensi tekuk geser, sementara itu plat dengan ketebalan 12 mm menunjukkan distribusi tegangan paling rendah di semua arah, sehingga direkomendasikan sebagai desain yang lebih aman terhadap beban kritis.



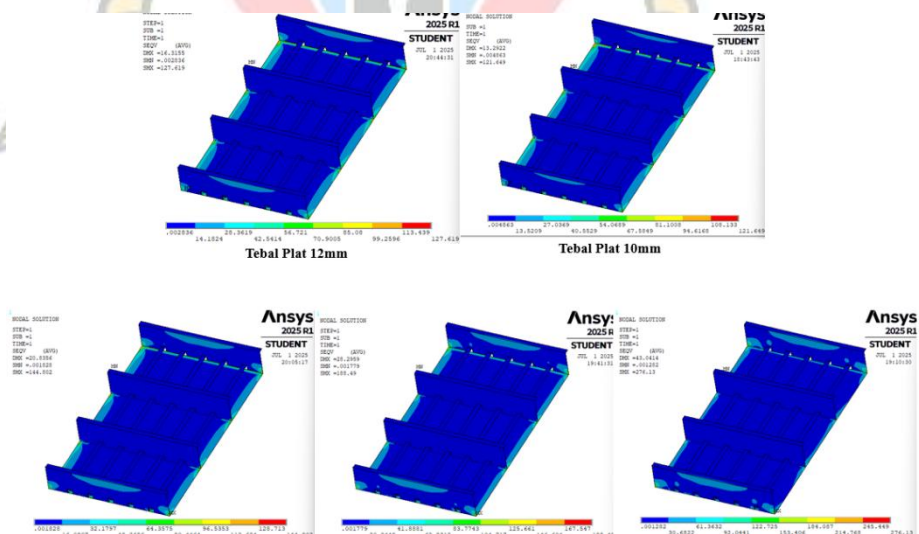
Gambar 4.33 Fenomena Tegangan Geser Yang Terjadi.

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Pemahaman terhadap distribusi tegangan geser sangat penting untuk mencegah terjadinya kegagalan geser seperti robekan antar elemen atau keretakan mikro pada material, Gambar 4.33 merupakan dampak yang di alami pada plat alas pada Analisis tegangan geser ini, membantu dalam mengidentifikasi titik-titik lemah yang tidak terlihat hanya dari tegangan normal atau tegangan utama saja. Melalui simulasi numerik dengan bantuan perangkat lunak seperti ansys dan Origin lab 2025, perilaku tegangan geser pada plat yang mengalami penurunan dapat dipetakan secara menyeluruh. Informasi ini menjadi dasar dalam penyempurnaan desain struktur, penentuan lokasi penguatan, dan evaluasi terhadap keselamatan serta umur pakai struktur barge.

4.12.5 Tegangan Ekuivalen pada penurunan

Untuk memahami perilaku struktural Plat alas pada barge terhadap beban tekan dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak ansys dengan metode elemen hingga, Simulasi ini bertujuan untuk menganalisis distribusi tegangan von mises sebagai indikator kekuatan dan potensi terjadinya kegagalan material akibat buckling. Variasi ketebalan plat digunakan sebagai parameter utama untuk melihat pengaruhnya terhadap ketahanan struktur, di mana semakin tipis plat, semakin besar risiko deformasi dan konsentrasi tegangan yang terjadi, gambar berikut menyajikan hasil analisis tegangan von mises pada plat dengan ketebalan 12 mm hingga 4 mm Gambar 4.2 menunjukkan distribusi tegangan von mises pada Plat alas barge dengan variasi ketebalan sebagai berikut.



Gambar 4.34 Ekuivalen Penurunan.

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

12 mm Menunjukkan distribusi tegangan yang paling rendah dan merata, dengan nilai maksimum sekitar 276 MPa. Struktur masih sangat stabil dan tidak menunjukkan tanda-tanda tekuk berlebihan. 10 mm Tegangan mulai meningkat sedikit, namun masih dalam batas aman. Konsentrasi tegangan mulai tampak di bagian tengah Plat. 8 mm Tegangan meningkat signifikan, mendekati nilai maksimum 188

MPa. Ini menunjukkan adanya risiko awal terhadap buckling, terutama di area dengan warna merah kekuningan, nilai tegangan ekuivalen pada table.

Table 4.14 Nilai Maksimal Tegangan Ekuivalen

Tebal plat (mm)	Tegangan Ekuivalen (Mpa)
4	276.13
6	188,49
8	144,80
10	127,62
12	121,65

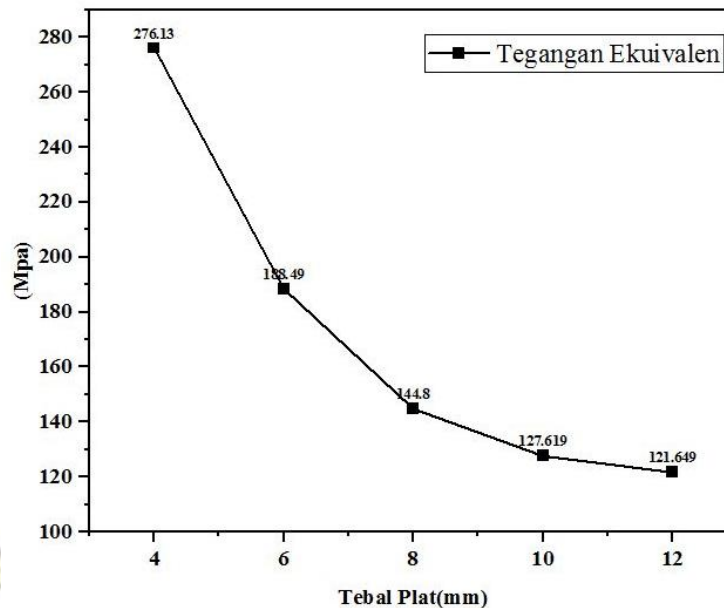
(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Pada baris bawah ya itu 6 mm tegangan tertinggi mencapai 144 MPa, warna merah pekat mendominasi bagian tengah, menandakan bahwa struktur berada dalam kondisi kritis dan sangat mungkin mengalami deformasi permanen. 4 mm Nilai tegangan mencapai 127 MPa, yang merupakan kondisi paling berbahaya, struktur ini tidak hanya mengalami tegangan tinggi, tetapi juga menunjukkan indikasi kuat terjadinya buckling, warna merah menyala menyebar luas, mengindikasikan distribusi tegangan ekstrem yang melebihi batas elastis material.

dilakukan analisis terhadap nilai tegangan ekuivalen *von mises stress*. Tegangan ini digunakan sebagai indikator utama dalam menilai kekuatan material terhadap beban gabungan, karena mencerminkan respon material terhadap berbagai arah tegangan secara simultan, grafik berikut menunjukkan hubungan antara variasi ketebalan plat dengan besarnya tegangan ekuivalen yang terjadi grafik menunjukkan bahwa nilai tegangan ekuivalen mengalami penurunan yang signifikan seiring dengan bertambahnya ketebalan plat dari 4 mm hingga 12 mm. Pada ketebalan 4 mm, tegangan ekuivalen mencapai nilai tertinggi yaitu sekitar 96 MPa, sedangkan pada ketebalan 12 mm nilainya turun menjadi sekitar 24 MPa.

Penurunan ini menunjukkan bahwa semakin tebal plat, semakin tinggi kapasitas penampanganya dalam menahan gaya luar, sehingga

distribusi tegangan menjadi lebih merata dan kecil. Tegangan ekuivalen yang tinggi pada plat tipis mengindikasikan adanya konsentrasi tegangan yang dapat meningkatkan risiko kegagalan plastis atau tekuk lokal, oleh karena itu penambahan ketebalan terbukti efektif dalam meningkatkan stabilitas dan kekuatan struktural plat alas terhadap beban kombinasi.

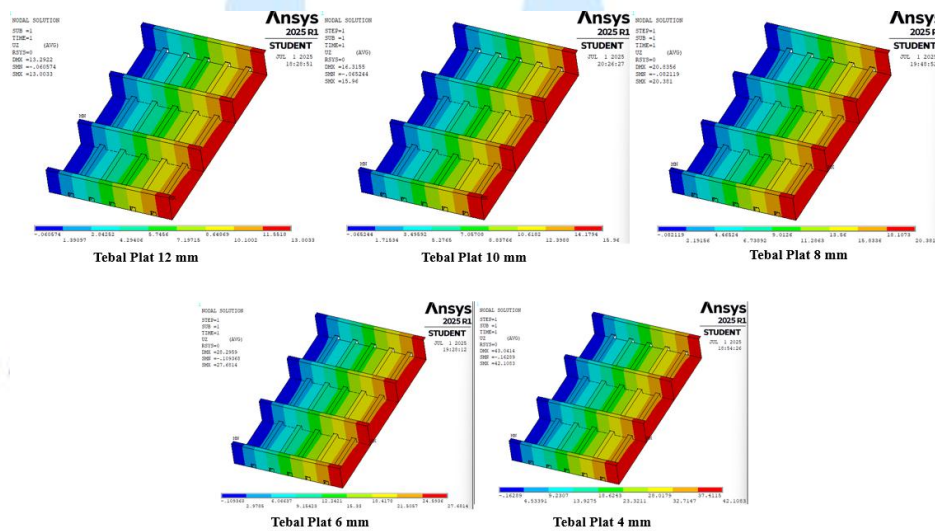


Gambar 4.35 Fenomena Tegangan Ekuivalen yang terjadi
(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Dari hasil analisis di atas dapat disimpulkan bahwa ketebalan plat memiliki pengaruh langsung terhadap besar kecilnya tegangan ekuivalen yang dialami oleh struktur, tegangan yang semakin rendah pada plat yang lebih tebal menunjukkan bahwa desain struktur dengan ketebalan yang memadai dapat mengurangi risiko keruntuhan akibat tegangan berlebih, serta meningkatkan faktor keamanan terhadap buckling dan deformasi permanen, oleh karena itu, pemilihan ketebalan plat perlu diperhitungkan secara cermat dalam proses perancangan struktur barge.

4.11.6 Deformasi 12mm

pada penurunan ketebalan plat merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi kekuatan struktural sebuah komponen, khususnya pada struktur plat alas barge, seiring waktu, plat dapat mengalami degradasi ketebalan akibat korosi, kelelahan material, atau kondisi operasional lainnya. Kondisi ini menyebabkan penurunan kapasitas plat dalam menahan beban tekan, sehingga meningkatkan risiko terjadinya fenomena buckling. Dalam pembahasan ini, dianalisis bagaimana variasi ketebalan plat memengaruhi distribusi tegangan, deformasi, dan batas kritis buckling melalui pendekatan simulasi numerik.



Gambar 4. 36 Perbandingan Deformasi Pada Plat
(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Gambar ini merupakan hasil simulasi buckling pada plat alas barge menggunakan perangkat lunak ansys, dengan variasi ketebalan plat mulai dari 4 mm hingga 12 mm, tujuan dari simulasi ini adalah untuk menganalisis pengaruh perubahan ketebalan plat terhadap pola deformasi dan kestabilan struktur ketika mengalami beban tekan. visualisasi deformasi menunjukkan bagaimana plat merespons beban yang diberikan seiring meningkatnya ketebalan, serta memberikan gambaran nyata mengenai titik-titik kritis terjadinya buckling, pada tabel dapat dilihat bagaimana deformasi yang signifikan terjadi ya itu

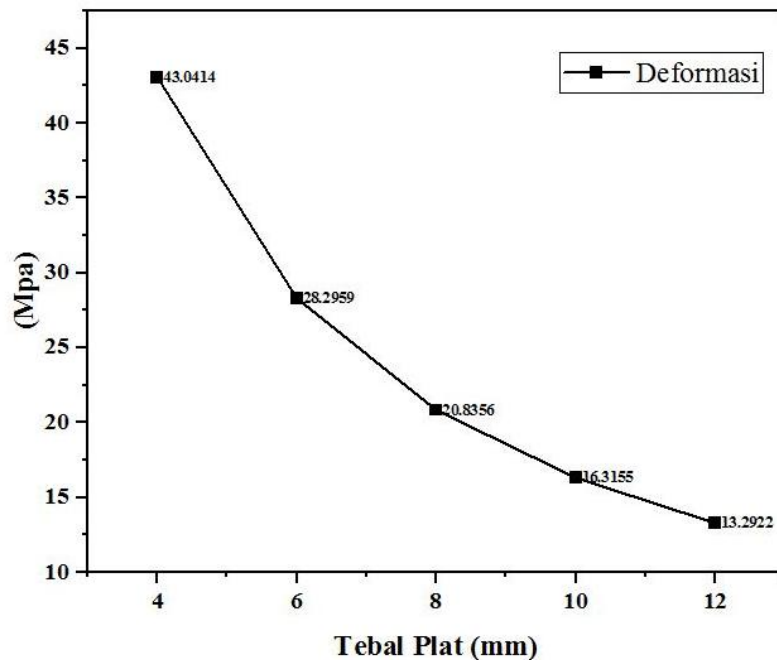
pada ketebalan 4 mm deformasi pada bagian tengah plat dan di area sekitar stiffener.

Table 4.15 Nilai Deformasi Maksimal.

Tebal Plat (mm)	Deformasi (mm)
4	43,0414
6	28,2959
8	20,8356
10	16,3155
12	13,2922

(Sumber:Hasil olahan,2025)

Gambar 4.24 Warna merah menunjukkan daerah konsentrasi tegangan tinggi, menandakan bahwa struktur dengan ketebalan ini sangat rentan terhadap buckling. Menunjukkan kestabilan struktural yang paling rendah dari semua variasi. Ketebalan 6 mm Deformasi mulai berkurang, tetapi masih terdapat indikasi buckling di tengah Plat.Struktur masih belum cukup kuat menahan gaya tekan tinggi. Distribusi tegangan sedikit lebih merata dibanding plat 4 mm. Ketebalan 8 mm Terjadi peningkatan kekakuan struktural.



Gambar 4.37 Perbandingan Deformasi.

(Sumber:Hasil olahan,2025)

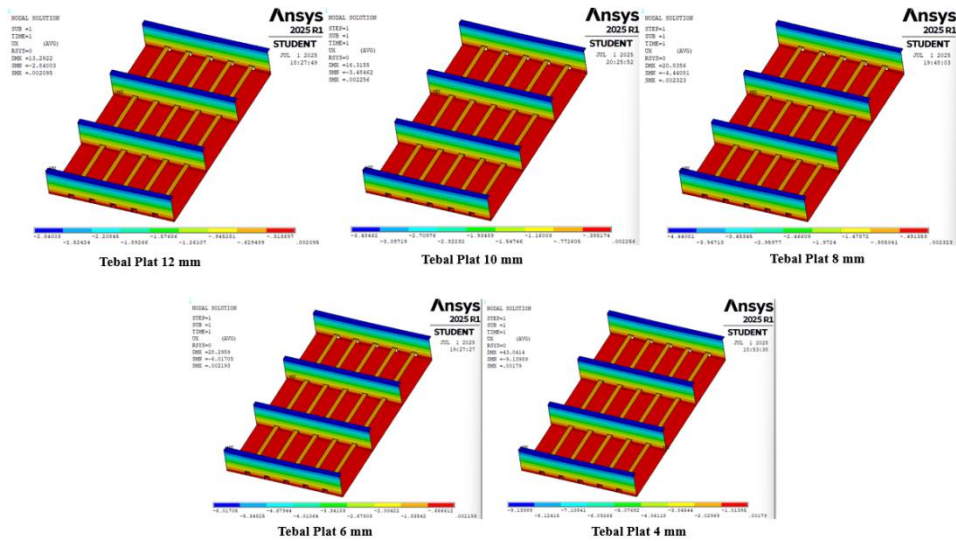
Dengan deformasi yang lebih terkontrol warna merah mulai berkurang intensitasnya, menandakan tegangan kritis mulai dapat dikendalikan, buckling masih terjadi namun dalam skala lebih kecil, ketebalan 10 mm plat menunjukkan deformasi minimal dengan pola tegangan yang lebih tersebar struktur lebih stabil mampu menghambat terjadinya buckling secara signifikan warna biru mendominasi, menunjukkan sebagian besar wilayah mengalami tegangan rendah, ketebalan 12 mm merupakan kondisi paling ideal dari segi ketahanan terhadap buckling hampir seluruh struktur berada dalam zona aman secara tegangan, deformasi sangat kecil bahkan mendekati tidak terdeteksi pada tampilan simulasi.

4.13 Analisis Hasil Simulasi Struktural

Analisis komponen perpindahan adalah pergeseran atau perubahan dalam simulasi menggunakan ansys, perpindahan ini dihitung dalam tiga arah utama, yaitu arah X, Y, dan Z.

4.13.1 Komponen Perpindahan

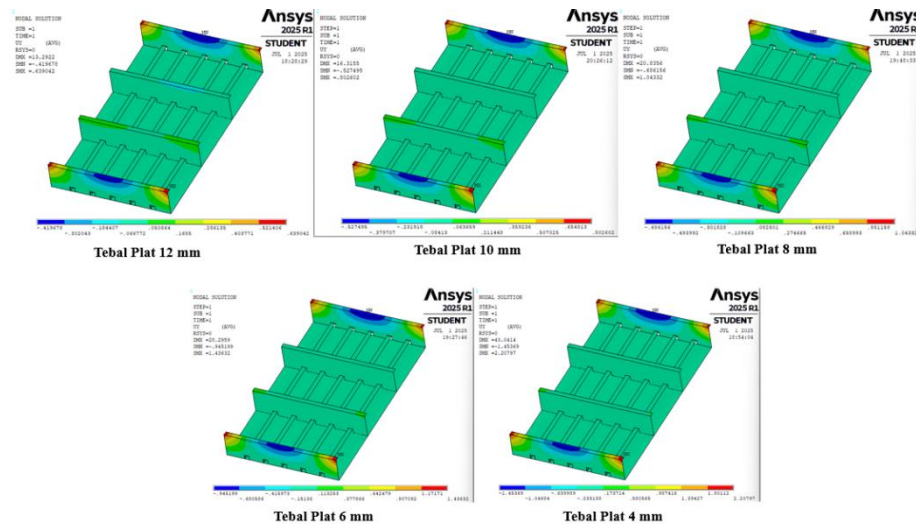
Untuk mengetahui pengaruh variasi ketebalan plat terhadap perilaku perpindahan struktur, dilakukan analisis terhadap komponen perpindahan dalam tiga arah utama, yaitu arah X, Y, dan Z. Nilai perpindahan ini diperoleh dari hasil simulasi menggunakan perangkat lunak ansys, grafik berikut menyajikan hubungan antara ketebalan plat dengan besar perpindahan pada masing-masing arah, yang bertujuan untuk melihat arah dominan perpindahan serta tren perubahan yang terjadi akibat variasi ketebalan plat..



Gambar 4.38 Arah X Pada Perpindahan.

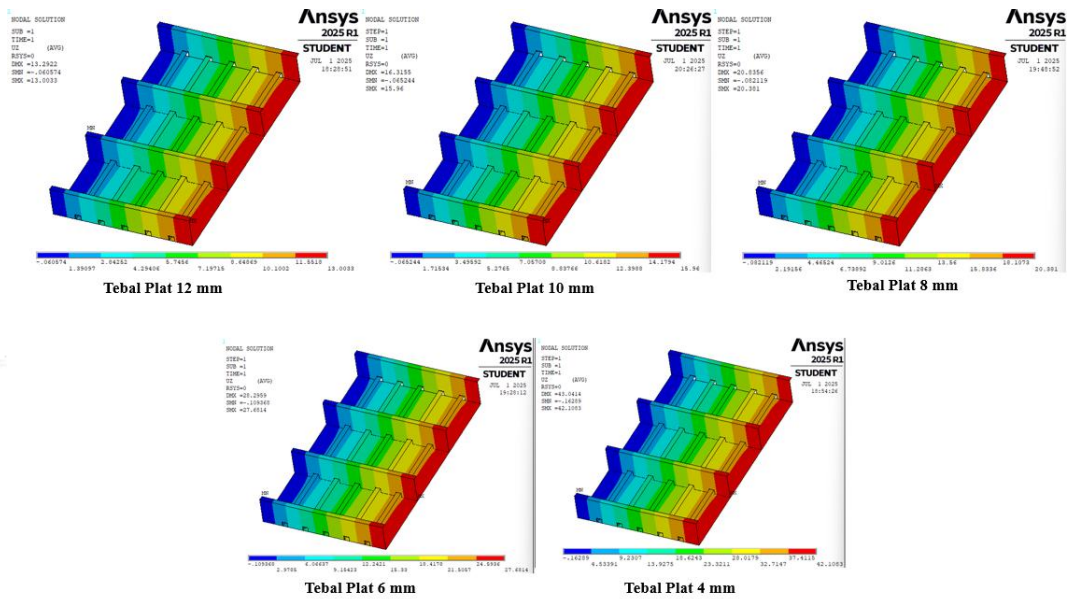
(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Gambar 4.32 Hasil simulasi menunjukkan bahwa perpindahan dalam arah X berada dalam rentang sangat kecil, dengan nilai maksimum hanya mencapai ± 0.002365 m, perubahan warna dalam kontur relatif seragam pada semua variasi ketebalan, menunjukkan bahwa arah X bukanlah arah dominan perpindahan, baik plat 12 mm maupun 4 mm menunjukkan pola distribusi yang hampir identik, mengindikasikan bahwa variasi ketebalan plat tidak terlalu memengaruhi perpindahan pada arah X, gambar di atas memperlihatkan hasil simulasi komponen perpindahan arah X (UX), Y (UY), dan Z (UZ) dari plat alas barge dengan lima variasi ketebalan, yaitu 12 mm, 10 mm, 8 mm, 6 mm, dan 4 mm. simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak ansys untuk menganalisis pengaruh ketebalan terhadap deformasi arah spesifik.



Gambar 4.39 Arah Y Pada Perpindahan
(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Gambar 4.33 perpindahan dalam arah Y sedikit lebih bervariasi dibandingkan arah X, terlihat bahwa nilai maksimum UY mencapai sekitar ± 0.00262 m, warna biru dan merah muncul di ujung-ujung plat, menandakan terjadinya rotasi atau lenturan kecil akibat pembebanan vertikal meskipun demikian, komponen ini juga masih tergolong kecil dan tidak menjadi arah perpindahan dominan.



Gambar 4. 40 Arah Z Pada Perpindahan
(Sumber:Hasil olahan,2025)

Gambar 3.40 Komponen perpindahan dalam arah Z merupakan yang paling dominan dari ketiganya. Pada Plat 4 mm, perpindahan maksimum mencapai 42.10 mm, sedangkan pada Plat 12 mm hanya sebesar 13 mm. Pola kontur menunjukkan warna merah yang merata di bagian tengah Plat dan biru di sisi, mencerminkan lenturan signifikan akibat beban. Ini menunjukkan bahwa arah Z menjadi arah utama deformasi struktur. Seiring penambahan ketebalan Plat, nilai perpindahan Z cenderung menurun secara drastis, menandakan peningkatan kekakuan struktural.

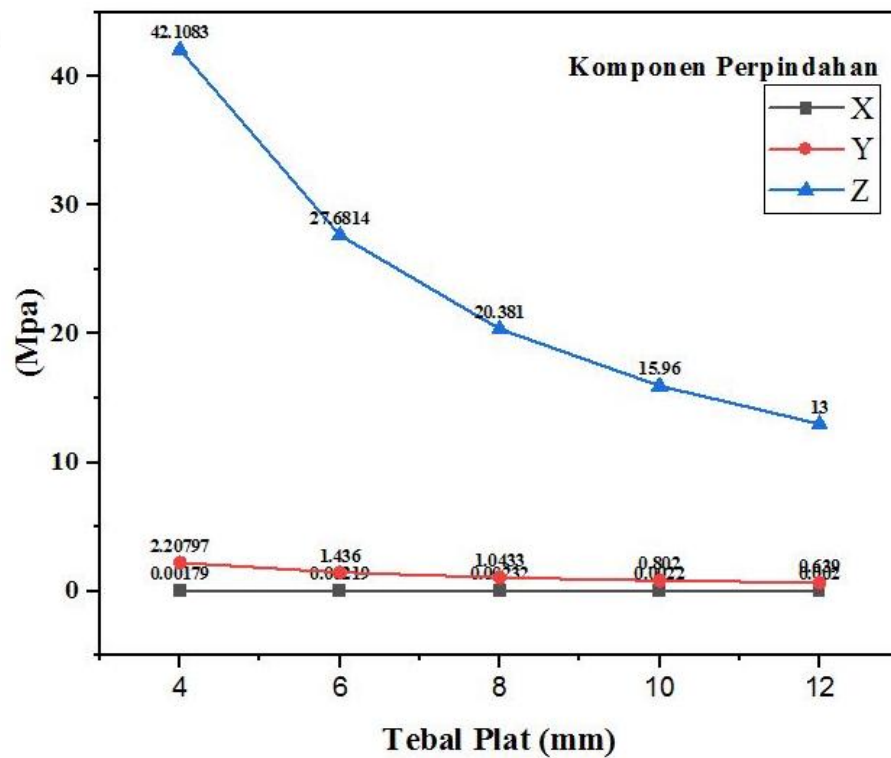
Table 4.16 Nilai Perpindahan.

Tebal Plat (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
4	0,0018	2,208	42,11
6	0,0022	1,436	27,68
8	0,0023	1,043	20,38
10	0,0022	0,802	15,96
12	0,0020	0,639	13,00

(Sumber:Hasil olahan,2025)

Untuk mengetahui pengaruh variasi ketebalan plat terhadap perilaku perpindahan struktur, dilakukan analisis terhadap komponen perpindahan dalam tiga arah utama, yaitu arah X, Y, dan Z, nilai perpindahan ini

diperoleh dari hasil simulasi menggunakan perangkat lunak ansys. Grafik berikut menyajikan hubungan antara ketebalan Plat dengan besar perpindahan pada masing-masing arah, yang bertujuan untuk melihat arah dominan perpindahan serta tren perubahan yang terjadi akibat variasi ketebalan plat.



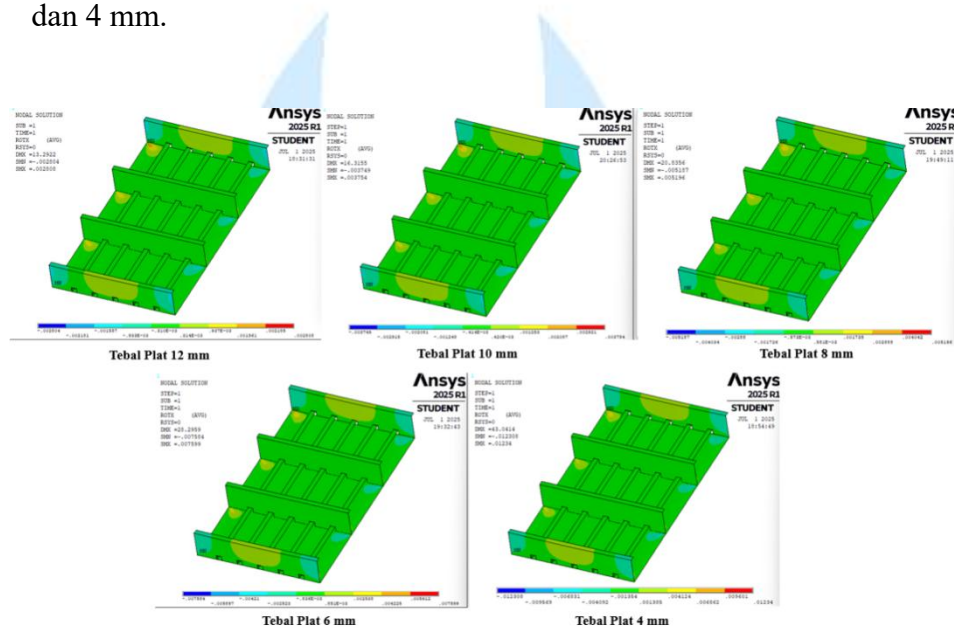
Gambar 4.41 Grafik Perpindahan.

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Dari grafik tersebut, terlihat bahwa perpindahan terbesar terjadi pada arah Z, sedangkan perpindahan dalam arah X dan Y relatif kecil dan stabil. Seiring bertambahnya ketebalan plat, nilai perpindahan pada semua arah mengalami penurunan, yang menandakan bahwa struktur menjadi lebih kaku dan tahan terhadap deformasi. dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa peningkatan ketebalan Plat secara signifikan meningkatkan kestabilan struktur, khususnya dalam mengurangi perpindahan pada arah dominan.

4.13.2 Komponen Rotasi

Untuk mengetahui respons deformasi rotasional dari plat alas barge akibat pembebanan, dilakukan analisis komponen rotasi dengan menggunakan simulasi elemen hingga pada perangkat lunak ansys. komponen rotasi ini menggambarkan seberapa besar struktur mengalami puntiran atau rotasi lokal akibat gaya yang bekerja, dan disimulasikan pada variasi ketebalan plat 12 mm, 10 mm, 8 mm, 6 mm, dan 4 mm.



Gambar 4.42 Arah X Rotasi.

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

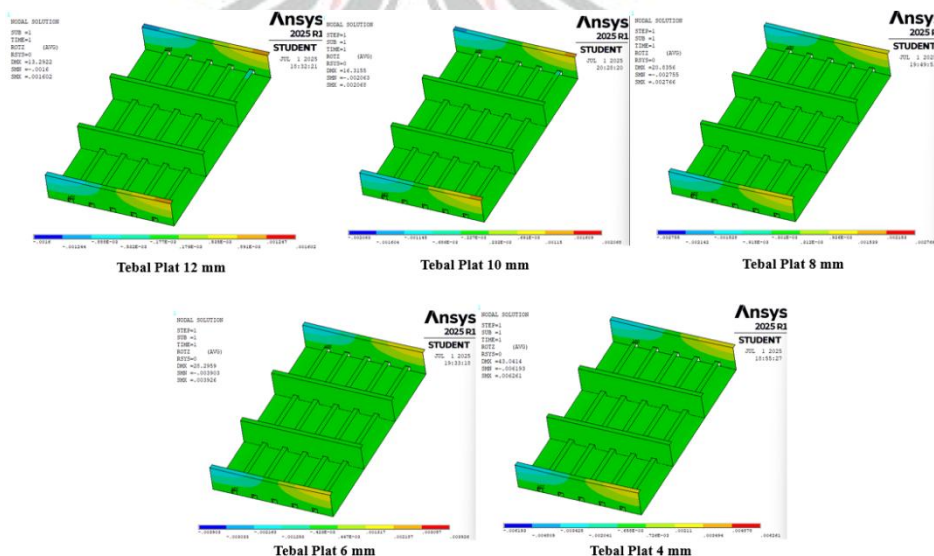
Gambar 4.42 hasil kontur menunjukkan bahwa komponen perpindahan dalam arah Z merupakan komponen dominan dari ketiga arah perpindahan (X, Y, Z), hal ini ditunjukkan dengan adanya pola lenturan (bending) yang sangat kentara di bagian tengah plat yang berwarna merah, sementara bagian tepi berwarna biru, menandakan nilai perpindahan yang rendah.

Berikut ini adalah ringkasan nilai perpindahan maksimum arah Z berdasarkan ketebalan plat 4 mm perpindahan maksimum mencapai 42.1083 mm tebal plat 5 mm perpindahan maksimum menurun menjadi sekitar 35.4 mm tebal plat 6 mm terlihat penurunan signifikan menjadi

30.2 mm tebal plat 8 mm perpindahan maksimum turun lagi menjadi 22.8 mm tebal plat 10 mm nilai perpindahan sekitar 17.5 mm tebal plat 12 mm perpindahan terkecil dicapai, yaitu hanya sebesar 13 mm

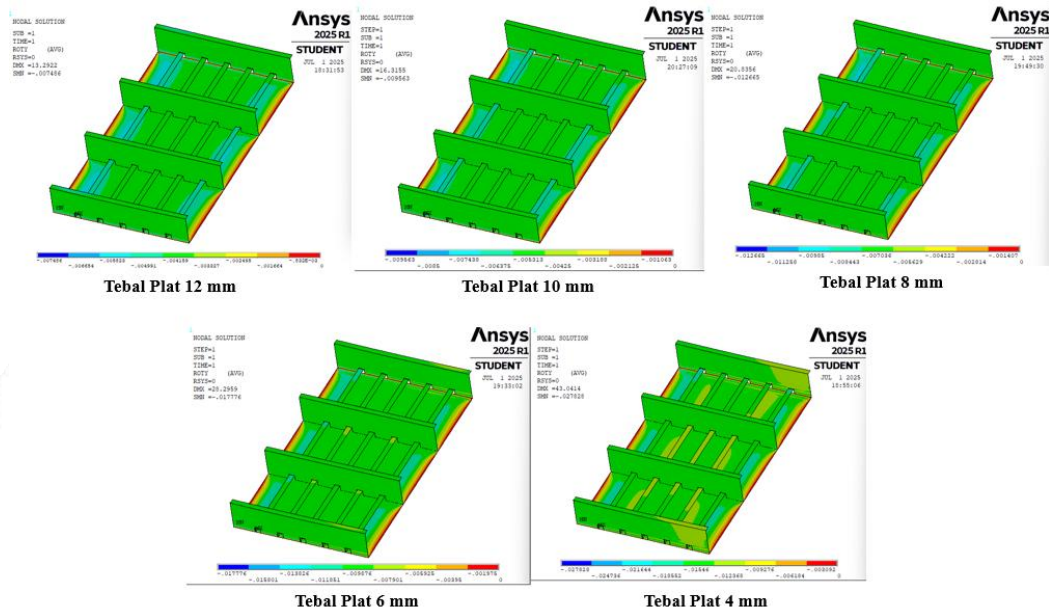
Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa semakin besar ketebalan plat, maka semakin rendah nilai perpindahan maksimum dalam arah Z. hal ini menunjukkan bahwa kekakuan struktur meningkat secara signifikan dengan bertambahnya ketebalan plat. ketebalan plat menjadi parameter penting dalam perancangan struktur yang harus mampu menahan beban lentur agar deformasi tetap berada dalam batas yang dapat diterima.

Secara visual, distribusi kontur warna dari merah ke biru menggambarkan fenomena lenturan yang dominan di bagian tengah Plat dan menurun menuju ke tepi, sesuai dengan karakteristik beban terpusat atau merata pada permukaan plat. oleh karena itu, arah Z dapat dinyatakan sebagai arah utama deformasi struktural akibat pembebanan tersebut.



Gambar 4.43 Arah Y Rotasi

(Sumber: Hasil olahan, 2025)



Gambar 4.44 Arah Z Pada Perpindahan.

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Gambar 4.38 menunjukkan kontur rotasi yang terjadi pada model Plat untuk setiap variasi ketebalan warna pada model menggambarkan besar kecilnya rotasi, di mana warna merah menandakan nilai rotasi maksimum dan biru menunjukkan nilai minimum. Pada plat dengan ketebalan 12 mm, nilai rotasi maksimum tercatat sebesar 0.00162 rad, menandakan deformasi rotasi yang sangat kecil dan struktur tetap kaku, ketika ketebalan dikurangi menjadi 10 mm, nilai rotasi maksimum naik menjadi 0.002086 rad, dan pada 8 mm mencapai 0.002756 rad, menunjukkan bahwa puntiran mulai meningkat seiring berkurangnya ketebalan plat.

Lebih lanjut plat dengan ketebalan 6 mm menunjukkan nilai rotasi maksimum sebesar 0.00396 rad, dan Plat 4 mm mencapai rotasi tertinggi sebesar 0.00621 rad. Ini menunjukkan bahwa struktur semakin mudah mengalami rotasi atau lenturan lokal saat ketebalan plat menurun, nilai ini sesuai dengan hasil pada komponen perpindahan sebelumnya, di mana Plat tipis memiliki kekakuan yang rendah dan lebih sensitif terhadap deformasi. Penelitian ini menganalisis perpindahan maksimum struktur Plat akibat beban yang disimulasikan menggunakan perangkat lunak ANSYS. data diperoleh dari variasi ketebalan Plat 4 mm, 6 mm, 8 mm, 10 mm, dan 12

mm, fokus utama adalah pada komponen perpindahan dalam arah X, Y, dan Z untuk mengevaluasi perilaku deformasi terhadap ketebalan plat.

Table 4.17 Nilai Rotasi.

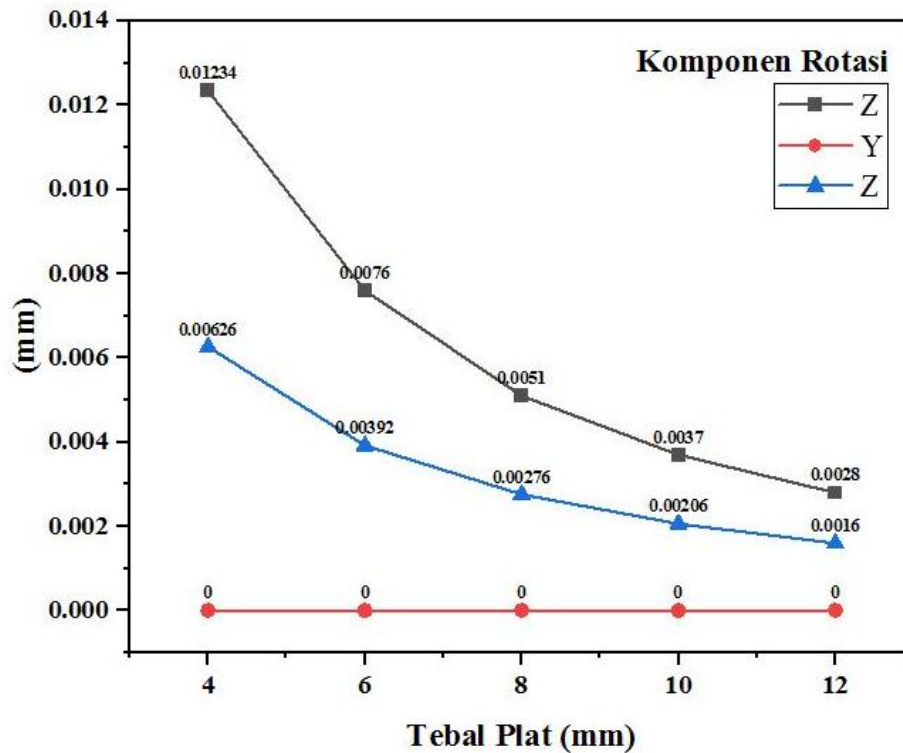
Tebal Plat (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
4	0,0123	0	0,006261
6	0,0076	0	0,00392
8	0,0051	0	0,00276
10	0,0037	0	0,00206
12	0,0028	0	0,00160

(Sumber:Hasil olahan,2025)

Berdasarkan tabel di atas, dapat diamati bahwa komponen perpindahan dalam arah Z merupakan komponen yang paling dominan dibandingkan dengan arah X dan Y. Komponen arah Y menunjukkan nilai nol, yang berarti tidak terdapat deformasi signifikan atau simulasi dilakukan dalam kondisi pembebanan simetris terhadap sumbu Y, sehingga perpindahan arah tersebut tereliminasi.

Komponen arah X menunjukkan nilai perpindahan yang lebih besar dibandingkan arah Z, namun secara teknis, arah Z tetap dianggap dominan dalam konteks deformasi lentur struktur plat karena arah Z umumnya mewakili deformasi tegak lurus permukaan plat *out-of-plane deformation*, yang menjadi indikator utama terjadinya lenturan.

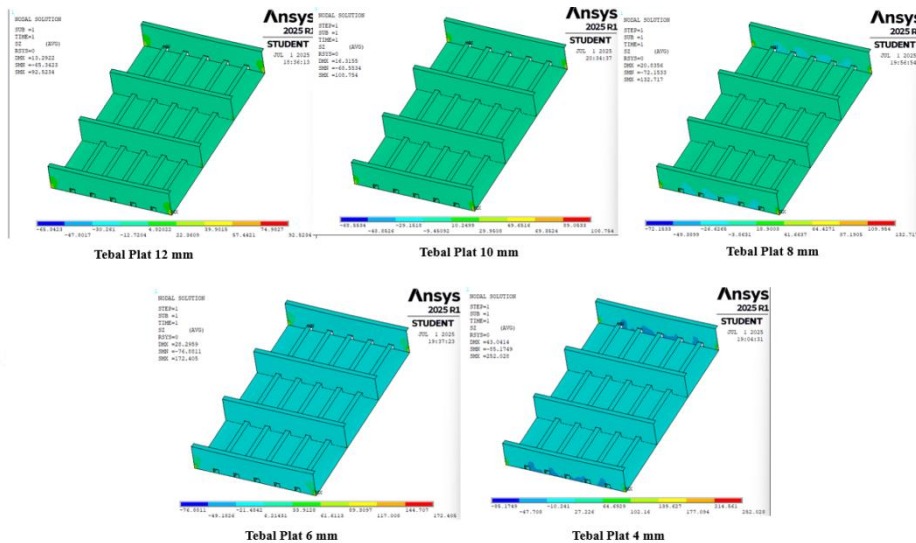
Secara umum, terlihat bahwa semakin besar ketebalan plat, semakin kecil nilai perpindahan maksimum. Penurunan perpindahan maksimum dari plat 4 mm ke 12 mm mencapai lebih dari 80%, yang menunjukkan bahwa kekakuan struktur meningkat signifikan seiring dengan bertambahnya ketebalan plat, arah Z menjadi arah utama deformasi, mencerminkan lenturan struktural akibat beban, penambahan ketebalan plat efektif mengurangi deformasi, meningkatkan kekakuan struktur, komponen perpindahan arah Y dapat diabaikan karena nilai 0, menandakan tidak adanya pergerakan signifikan pada sumbu tersebut.



Gambar 4.45 Fenomena Yang Terjadi
(Sumber: Hasil olahan, 2025)

4.13.3 Jumlah Vektor

Dalam dunia teknik struktur khususnya pada konstruksi kapal dan bangunan lepas pantai analisis deformasi sangat penting dilakukan guna memastikan integritas dan ketahanan struktur terhadap beban kerja, salah satu pendekatan umum dalam simulasi numerik adalah analisis deformasi arah tunggal, seperti deformasi pada sumbu Z (SZ) yang menggambarkan lendutan vertikal akibat beban normal. Gambar berikut menunjukkan hasil simulasi deformasi arah Z dari sebuah plat struktural dengan variasi ketebalan 12 mm, 10 mm, 8 mm, 6 mm, dan 4 mm, menggunakan software Ansys 2025 R1.



Gambar 4.46 Variasi Penebalan Pada Vektor

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Hasil simulasi memperlihatkan pengaruh signifikan dari variasi ketebalan plat terhadap besarnya deformasi vertikal. Tebal plat 12 mm memperlihatkan deformasi maksimum relatif kecil, dengan nilai SMX sekitar 52.5234. Warna dominan hijau menunjukkan bahwa lendutan berada dalam batas aman dan distribusi beban tersalurkan dengan baik. Tebal plat 10 mm deformasi mulai meningkat, mencapai 108.754, yang menunjukkan bahwa penurunan tebal plat berdampak langsung pada penurunan kekakuan vertikal. Kontur warna mulai berpindah ke spektrum kuning hingga oranye, menandakan area konsentrasi lendutan mulai berkembang.

Tebal plat 8 mm terjadi peningkatan deformasi lebih lanjut hingga 132.717, dan warna merah mulai muncul pada sisi plat, khususnya di area yang jauh dari penopang. Ini menandakan area rawan deformasi yang lebih kritis. Tebal plat 6 mm lendutan maksimum bertambah besar, dengan nilai sekitar 172.405, permukaan plat menunjukkan pola deformasi melengkung lebih besar, menandakan mulai terbentuknya kondisi lentur yang tidak stabil. Tebal plat 4 mm merupakan kondisi dengan deformasi terbesar, mencapai 253.028, warna merah mendominasi area luar struktur menunjukkan plat sangat tidak stabil dan rentan terhadap kegagalan akibat lendutan berlebihan.

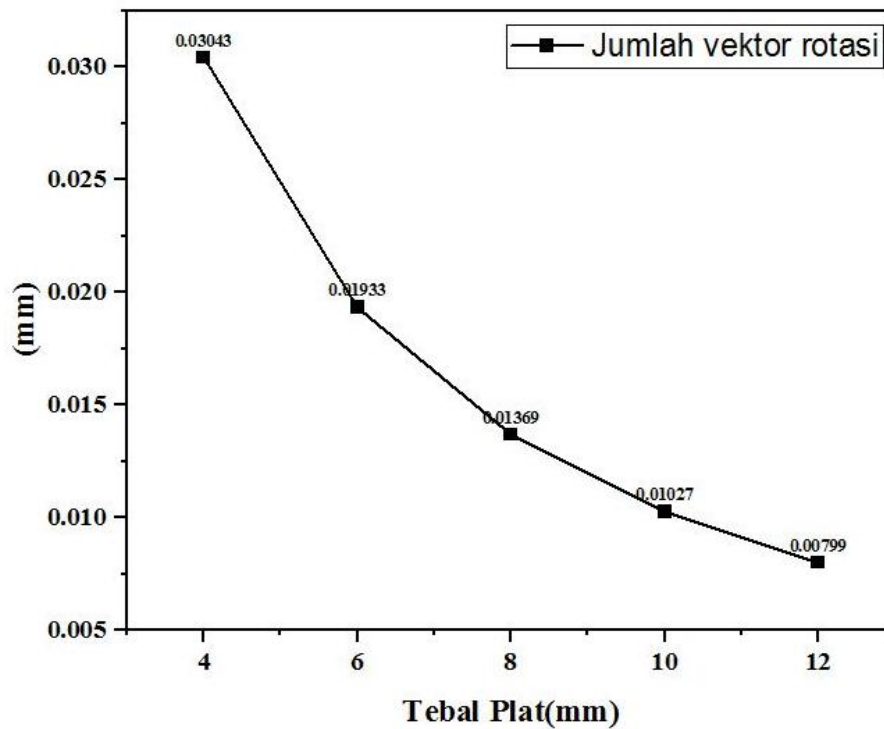
Table 4.18 Nilai Jumlah Vektor.

Tebal Plat (mm)	Tegangan (mm)
4	0,030429
6	0,019327
8	0,013686
10	0,010272
12	0,007994

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Tabel 4.18 menunjukkan hubungan antara ketebalan plat baja terhadap nilai tegangan yang terjadi akibat beban tertentu. Terlihat bahwa semakin tebal plat, nilai tegangan yang dihasilkan semakin kecil. Sebagai contoh, pada plat dengan ketebalan 4 mm, tegangan yang tercatat adalah 0,030429 mm, sedangkan pada plat dengan ketebalan 12 mm, tegangannya menurun signifikan menjadi hanya 0,007994 mm.

Fenomena ini sejalan dengan prinsip dasar mekanika struktur, di mana peningkatan ketebalan plat akan meningkatkan kekakuan struktur, sehingga mampu menahan beban lebih besar dengan deformasi atau tegangan yang lebih rendah, dengan kata lain, ketebalan plat berbanding terbalik dengan besar tegangan yang terjadi akibat pembebanan. Data ini sangat penting sebagai dasar pertimbangan dalam perancangan struktur barge, khususnya dalam menentukan ketebalan optimal plat alas agar mampu menahan beban tanpa mengalami kegagalan akibat buckling atau deformasi berlebih.



Gambar 4.47 Fenomena Jumlah Vektor Yang Terjadi.

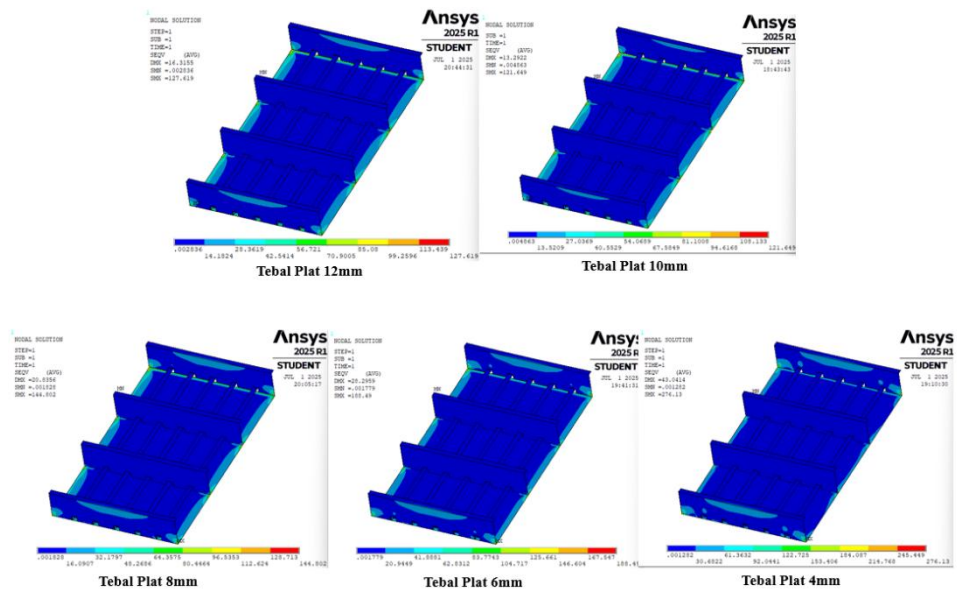
(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Gambar 4.47 menunjukkan hubungan antara tebal plat (dalam mm) terhadap jumlah vektor rotasi dalam mm yang terjadi pada struktur plat akibat beban, grafik ini merepresentasikan kecenderungan perubahan rotasi global yang dialami oleh struktur ketika ketebalan plat divariasikan dari 4 mm hingga 12 mm, analisis ini penting dilakukan untuk memahami bagaimana kekakuan plat memengaruhi kestabilan rotasional suatu sistem struktur, terutama dalam konteks perancangan struktur kapal atau bangunan teknik lainnya.

4.13.4 Intensitas Stres

Intensitas stres merupakan salah satu parameter penting dalam analisis kekuatan struktur, khususnya dalam menilai kemampuan plat terhadap beban yang bekerja. Intensitas stres menggambarkan besarnya gaya internal per satuan luas tegangan yang terjadi pada suatu titik akibat pembebanan luar, dalam konteks plat alas pada struktur barge, pemahaman terhadap distribusi intensitas stres menjadi krusial untuk

mengetahui sejauh mana material mampu menahan beban sebelum mengalami kegagalan seperti tekuk buckling.



Gambar 4.48 Intensitas Stres 4-12 mm

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Gambar 4.44 menunjukkan hasil simulasi fenomena buckling (tekuk) pada struktur plat alas barge yang dianalisis menggunakan metode elemen hingga *Finite Element Method* dengan perangkat lunak ANSYS 2025 R1. Simulasi ini dilakukan dengan memvariasikan ketebalan plat dari 12 mm, 10 mm, 8 mm, 6 mm, hingga 4 mm, dengan tujuan untuk mengevaluasi pengaruh ketebalan terhadap potensi terjadinya tekuk akibat beban kerja yang diterapkan.

Hasil visualisasi menunjukkan bahwa seluruh model mengalami deformasi akibat beban, namun tingkat keparahan dan pola deformasi berbeda pada masing-masing ketebalan, pada plat dengan ketebalan 12 mm dan 10 mm, struktur masih menunjukkan ketahanan yang baik terhadap fenomena buckling, ditandai dengan distribusi warna dominan biru yang menandakan deformasi kecil dan masih dalam batas elastis.

Namun, seiring dengan penurunan ketebalan menjadi 8 mm, 6 mm, dan 4 mm, terlihat adanya peningkatan intensitas deformasi yang

signifikan, terutama pada plat dengan ketebalan 6 mm dan 4 mm. Warna yang mendekati spektrum hijau dan merah mulai muncul di area tertentu, menandakan bahwa plat mulai kehilangan kekakuannya dan mendekati batas kritis buckling. Kondisi ini menunjukkan bahwa semakin tipis plat yang digunakan, semakin besar risiko terjadinya ketidakstabilan struktur akibat gaya tekan.

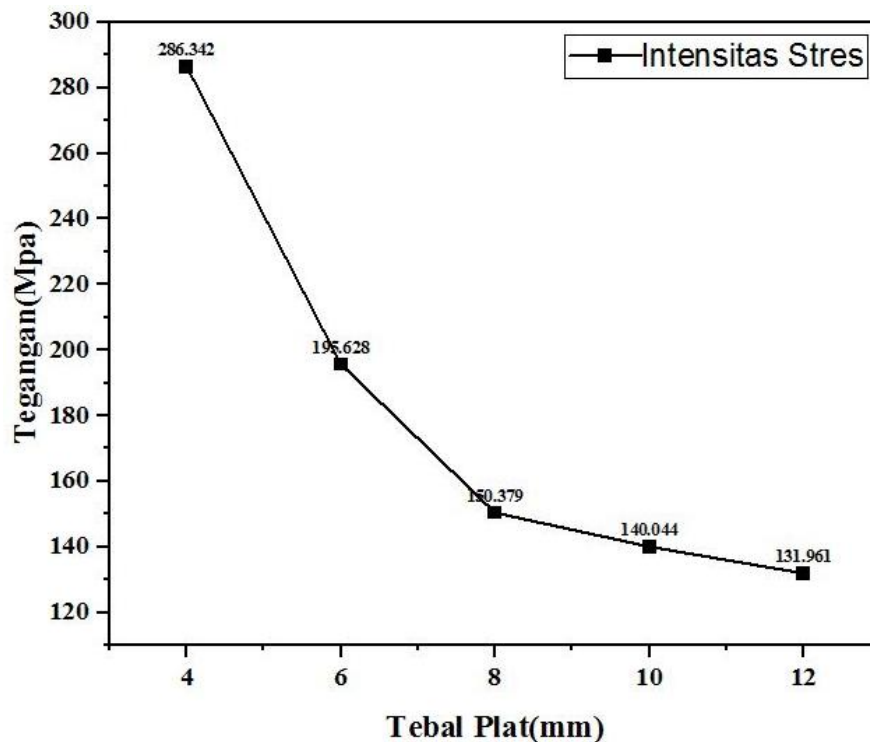
Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa ketebalan plat memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap kekuatan buckling plat alas barge. Untuk menjaga stabilitas struktur, direkomendasikan agar ketebalan plat minimal yang digunakan berada pada atau di atas 8 mm, sesuai dengan batas aman berdasarkan hasil simulasi.

Table 4.19 Tegangan Maksimal Yang Terjadi.

Tebal Plat (mm)	Tegangan Max (Mpa)	Tegangan izin (Mpa)	Kategori
4	286,342	141	Tidak Memenuhi
6	195,628	141	Tidak Memenuhi
8	150,379	141	Tidak Memenuhi
10	140,044	141	Memenuhi
12	131,961	141	Memenuhi

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Tabel 2.19 memperlihatkan perbandingan antara tegangan maksimum yang terjadi pada plat dengan berbagai ketebalan terhadap tegangan izin material baja sebesar 141 MPa. Dapat dilihat bahwa plat dengan ketebalan 4 mm hingga 8 mm menghasilkan tegangan melebihi batas tegangan izin, sehingga tidak memenuhi kriteria keamanan struktur. Sementara itu, mulai dari ketebalan 10 mm dan 12 mm, tegangan maksimum yang terjadi berada di bawah tegangan izin, sehingga masih dalam kategori aman dan memenuhi syarat desain.



Gambar 4.49 Intensitas Yang Terjadi

(Sumber: Hasil olahan, 2025)

Dalam studi kekuatan struktur tegangan ekuivalen merupakan salah satu parameter utama yang digunakan untuk mengevaluasi kemampuan buckling suatu komponen dalam menahan beban sebelum mengalami kegagalan. Tegangan ekuivalen, yang umumnya dihitung menggunakan kriteria von mises, menjadi acuan untuk menilai apakah suatu struktur masih berada dalam batas elastis atau telah memasuki fase plastis. Pada penelitian ini, analisis tegangan ekuivalen dilakukan terhadap plat alas barge dengan variasi ketebalan, menggunakan simulasi berbasis perangkat lunak ansys. Tujuannya adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh ketebalan plat terhadap distribusi tegangan maksimum yang terjadi saat beban diberikan

Grafik yang dihasilkan menunjukkan hubungan antara ketebalan plat (T plat) dan tegangan maksimum yang terjadi. Data ini menunjukkan hasil yang fluktuatif, dengan tegangan maksimum tidak selalu menurun secara linier seiring bertambahnya ketebalan. Pada ketebalan 4 mm, tegangan maksimum relatif rendah, namun cukup

merata di antara ketiga data (sekitar 96–12676 MPa). Pada 6 mm, nilai tegangan sedikit menurun, namun tetap menunjukkan fluktuasi sekitar 57–7449 MPa. Untuk ketebalan 8 mm, meskipun struktur terlihat lebih stabil, tegangan tetap muncul di kisaran 3908–4958 MPa. Ketebalan 10 mm

