

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dijelaskan mengenai teori-teori terkait yang bersumber dari buku, jurnal, artikel ilmiah yang berfungsi sebagai dasar dalam melakukan pengerjaan tugas akhir. Analisis buckling pada plat alas barge, penggunaan material baja konstruksi laut, serta penerapan metode *Finite Element Analysis* (FEA) dalam simulasi struktural, tujuannya agar dapat memahami konsep dan teori penyelesaian permasalahan yang ada.

2.1 Teori Dasar Buckling

Dalam analisis buckling Plat dasar pada struktur barge menggunakan ansys, teori dasar buckling sangat penting untuk memahami kestabilan struktur Plat baja. Buckling pada Plat umumnya terjadi akibat beban tekan kritis yang melebihi kapasitas stabilitas Plat tersebut. Dalam hal ini, Plat dapat mengalami deformasi besar, meskipun tidak terjadi keruntuhan total. Fenomena ini dikenal sebagai buckling elastis, yang terjadi sebelum Plat mencapai batas plastisitas materialnya

Untuk menganalisis buckling Plat baja, digunakan teori defleksi kecil *small deflection theory*, yang mengasumsikan bahwa defleksi Plat tetap kecil dibandingkan dengan ketebalannya, teori ini menghasilkan persamaan diferensial yang mengatur perilaku Plat dalam kondisi buckling, beberapa asumsi penting dalam teori ini adalah tidak ada regangan di bidang tengah Plat, deformasi geser transversal dapat diabaikan, dan material Plat bersifat homogen serta isotropik. aspek-aspek ini penting dalam menentukan beban kritis yang dapat dihitung menggunakan pendekatan kesetimbangan atau pendekatan energi.

Selain itu, dalam studi buckling Plat, parameter seperti rasio kelangsingan *slenderness ratio* dan rasio aspek *aspect ratio* memainkan peran penting. Rasio aspek yang lebih besar cenderung meningkatkan koefisien buckling, yang berarti Plat menjadi lebih stabil terhadap buckling, simulasi berbasis ansys sering digunakan untuk membandingkan hasil teoritis dengan hasil simulasi numerik,

yang membantu dalam memvalidasi model serta mengoptimalkan desain Plat. (Ahmed Hassan Ahmed Hassan dan Naci Kurgan ,2019)

2.1.1 Pengertian Buckling

Buckling adalah fenomena ketidakstabilan struktural yang terjadi ketika suatu elemen struktural mengalami deformasi mendadak akibat beban tekan yang melebihi batas kritisnya, meskipun elemen tersebut mungkin masih mampu menahan beban, deformasi ini menyebabkan elemen tersebut melengkung atau berubah bentuk secara signifikan tanpa adanya peningkatan beban tambahan. fenomena ini umumnya terjadi pada struktur tipis dan panjang seperti kolom, Plat, atau cangkang (shell 2015). Semua anggota struktur yang mengalami tekanan tekan dan/atau geser harus diperiksa ketahanannya terhadap tekuk sesuai dengan kriteria kekuatan tekuk dan kekuatan ultimit berikut. (IACS UR S35. Sec.1, 1.2.1)

Secara matematis buckling terjadi ketika sistem kehilangan keseimbangan stabil akibat interaksi antara kekakuan struktural dan beban tekan, Beban kritis di mana buckling mulai terjadi disebut beban buckling kritis atau beban euler dalam kasus kolom panjang. Formula klasik euler untuk kolom panjang mendefinisikan beban kritis

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad (1)$$

Dimana

P_{cr} : Beban kritis buckling, yaitu gaya aksial maksimum sebelum tekuk terjadi.

E : Modulus elastisitas material (kekuatan material terhadap deformasi elastis).

I : Momen inersia penampang, menunjukkan kemampuan penampang menahan pembengkokan.

L : Panjang efektif elemen struktural (panjang kolom).

K : Faktor panjang efektif, tergantung pada kondisi ujung kolom (misalnya, tumpu tetap atau bebas).

π^2 : Konstanta matematis terkait dengan stabilitas elastis.

Pada Plat, buckling bergantung pada rasio kelangsingan, ketebalan, kondisi tumpuan, serta beban yang diterapkan, buckling pada Plat bisa berbentuk

deformasi lokal atau global, tergantung pada dimensi dan beban yang diterima, untuk kasus kompleks seperti Plat yang diperkuat atau panel dengan pengaku, analisis numerik menggunakan perangkat lunak seperti ansys sangat berguna untuk mengevaluasi dan memprediksi perilaku buckling

Jika tidak ditangani dengan benar, buckling dapat menyebabkan kegagalan struktural, meskipun materialnya belum mencapai batas kekuatannya, sehingga penting dalam desain struktur teknik.

2.1.2 Teori Buckling Euler

Teori Buckling Euler menjelaskan fenomena ketidakstabilan yang terjadi pada kolom panjang akibat beban aksial tekan yang melebihi batas tertentu. Teori ini menyatakan bahwa ketika kolom menerima beban tekan hingga titik kritis, ia tidak lagi mampu mempertahankan bentuk lurusnya dan mengalami deformasi lateral atau lengkungan yang signifikan, deformasi ini tidak diakibatkan oleh kegagalan material, melainkan karena ketidakstabilan geometris akibat interaksi antara beban tekan dan kekakuan kolom.

Rumus euler menghitung beban kritis buckling $P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}$ menggunakan parameter elastisitas material dan geometri kolom, Rumusnya adalah $P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}$ di mana E adalah modulus elastisitas material, I adalah momen inersia penampang kolom, L adalah panjang efektif kolom, dan K adalah faktor panjang efektif yang bergantung pada kondisi tumpuan. Misalnya, untuk kolom dengan tumpuan di kedua ujung yang berbentuk engsel *hinged-hinged*, K bernilai 1. Nilai ini akan berubah tergantung pada apakah ujung kolom terjepit, bebas, atau kombinasi keduanya

Meskipun teori ini berguna untuk mendesain struktur kolom panjang, ada beberapa keterbatasan. Teori ini kurang akurat untuk kolom pendek atau kolom yang memiliki cacat geometris awal atau eksentrisitas beban. Dalam situasi seperti itu, kolom dapat mengalami deformasi plastis sebelum buckling terjadi, sehingga analisis elastis murni tidak lagi cukup, oleh karena itu, teori euler sering dilengkapi dengan metode numerik seperti analisis elemen hingga *Finite Element*

Analysis untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dalam aplikasi praktis, Tekuk adalah topik penting yang harus dipahami oleh setiap insinyur yang merancang struktur yang memikul beban tekan. (Smith and Steel, Tanker Design Principles, 2015).



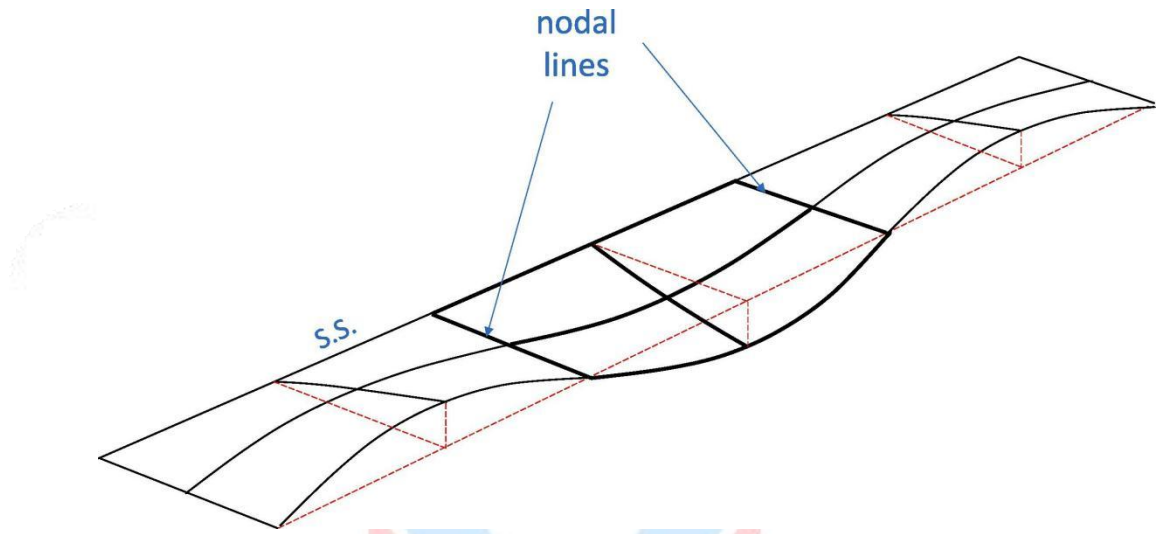
Gambar 2.1 buckling Failure
(Sumber : <https://efficientengineer.com>)

Ilustrasi teknis fenomena tekuk pada Plat baja akibat beban tekan. Gambar 2.1 menunjukkan Plat baja persegi panjang dengan satu sisi terpasang dan sisi lainnya bebas, mengalami deformasi yang terlihat gelombang atau riak di tengahnya, lingkungan mensimulasikan pengaturan laboratorium mekanis dengan anotasi yang menunjukkan titik tegangan, kondisi batas dan beban tekuk kritis, Plat digambarkan dalam warna abu-abu, dengan panah yang menunjukkan arah beban yang diterapkan. Ilustrasi ini memiliki gaya diagram teknik yang bersih dan profesional, cocok untuk presentasi akademis.

2.1.3 Mode Buckling

Mengacu pada pola deformasi atau perubahan bentuk yang terjadi pada suatu struktur saat mengalami buckling, mode buckling ini menggambarkan bagaimana suatu elemen struktural, seperti kolom atau Plat, akan mengalami perubahan bentuk setelah mencapai beban buckling kritis, mode ini sangat penting dalam desain karena berbagai jenis struktur dapat mengalami buckling dengan pola yang berbeda-beda, tergantung pada geometri, bahan, dan cara beban diterapkan, setiap mode buckling memiliki frekuensi kritis yang berbeda, yang menunjukkan bahwa

kolom atau Plat dapat melengkung atau membengkok dengan cara yang berbeda pada beban yang berbeda pula.



Gambar 2. 2 Buckling Pada Suatu Plat
(Sumber: <https://www.sciencedirect.com>)

Pada gambar 2.2 Dalam jurnal *International Journal of Solids and Structures* Volumes 254–255, 1 November 2022, 111925, mereka menjelaskan bahwa mode buckling dapat berbeda-beda berdasarkan bentuk dan dimensi elemen struktural yang diuji. Misalnya, pada kolom yang lebih panjang dan tipis, mode buckling yang terjadi sering kali berupa lengkungan lateral sederhana. Sebaliknya, pada elemen yang lebih pendek atau lebih tebal, buckling dapat terjadi secara lokal atau tidak stabil secara bersamaan di beberapa titik. Penelitian ini juga menunjukkan pentingnya analisis mode buckling untuk prediksi stabilitas struktural dan untuk memastikan desain yang aman (S. M. A. T. Zaman et al. (2021)

mode buckling sering digunakan untuk menganalisis Plat dan panel dalam berbagai struktur, mode ini menjelaskan bagaimana Plat akan mengalami deformasi saat menerima beban tekan, baik dalam bentuk buckling satu arah maupun multi arah, redy menekankan bahwa memahami mode buckling sangat penting dalam desain teknik perkapalan, sipil dan teknik mesin untuk memastikan bahwa struktur dapat menahan beban tanpa mengalami kegagalan, dengan menggunakan metode numerik seperti *Finite Element Analysis* (FEA), insinyur

dapat memprediksi dan menganalisis mode buckling yang lebih kompleks dengan lebih akurat. (J. M. Reddy *Theory and Analysis of Plates* 2019)

2.1.4 Buckling pada Struktur Kapal Barge

Buckling pada struktur kapal barge adalah fenomena ketidak stabilan struktural yang terjadi ketika elemen struktur seperti plat dasar atau Plat pada barge mengalami deformasi karena beban aksial tekan yang melebihi batas kritisnya. Barge sebagai jenis kapal yang sering digunakan untuk mengangkut barang dalam jumlah besar, menghadapi tantangan dari gaya-gaya eksternal, seperti beban dari muatan dan gaya dari pergerakan air, Jika elemen struktur tidak dirancang dengan benar atau materialnya tidak cukup kuat untuk menahan beban buckling bisa terjadi yang mengarah pada kegagalan struktural.

Dalam konteks kapal barge, buckling sering terjadi pada plat dasar atau struktur penguat lainnya yang menahan beban muatan yang besar, beban aksial yang diterima oleh Plat bisa menyebabkan elemen tersebut melengkung atau terdistorsi jika beban tersebut melebihi kapasitas elastisitasnya, misalnya, pada barge dengan panjang yang cukup besar, plat dasar bisa mengalami buckling akibat tekanan muatan yang tidak merata atau akibat kondisi lingkungan yang menyebabkan pergerakan air yang dinamis, hal ini penting untuk dianalisis dan dipertimbangkan dalam desain struktural untuk memastikan stabilitas dan keamanan kapal. (Wang, Y., Liu, H., & Zhang, T. 2022)

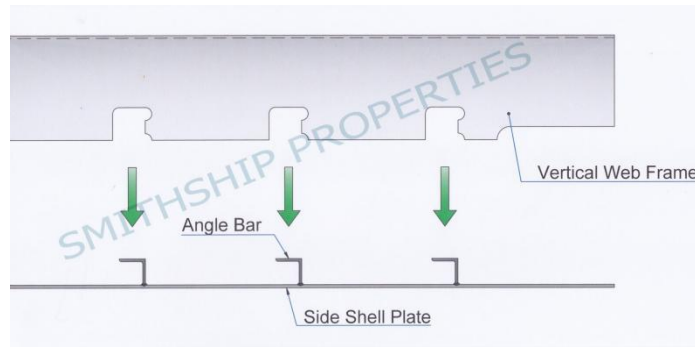
Studi tentang buckling pada struktur kapal barge sering melibatkan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak seperti ansys atau metode elemen hingga untuk mengevaluasi bagaimana elemen struktural akan berperilaku di bawah beban yang berbeda, dalam hal ini, analisis dilakukan untuk menentukan beban buckling kritis yang akan menyebabkan deformasi, oleh karena itu, pemahaman tentang teori buckling dan penerapannya dalam desain kapal barge sangat penting untuk memastikan bahwa struktur kapal mampu bertahan terhadap kondisi operasional yang keras tanpa mengalami kegagalan struktural. (S. M. A. T. Zaman et al. 2021)

2.1.5 Studi Kasus dan Penelitian Terkait

Studi kasus buckling pada struktur kapal barge, sebuah penelitian yang dipublikasikan dalam *Journal of Ship Research* mengkaji fenomena buckling pada struktur dasar kapal barge yang sering digunakan untuk mengangkut muatan berat. Penelitian ini menggunakan analisis elemen hingga (FEA) untuk mengevaluasi perilaku buckling pada Plat baja tipis dan struktur penguat pada barge yang menghadapi kondisi pembebanan dinamis dan statis. Hasil dari studi ini menunjukkan pentingnya desain yang memperhitungkan stabilitas buckling untuk menghindari kegagalan struktural dalam operasi barge. (Liang et al. 2019)

Pengaruh Beban pada Buckling pada Kolom dan Plat Tipis
jurnal *Engineering Structures* membahas analisis buckling pada struktur Plat tipis, yang mirip dengan Plat dasar pada kapal barge, Penelitian ini berfokus pada penggunaan FEA untuk menghitung beban buckling kritis pada struktur Plat dan kolom, dengan mempertimbangkan berbagai material dan geometri Plat yang digunakan. Penelitian ini membantu dalam merancang struktur yang tahan terhadap buckling dan memastikan keselamatan operasional kapal atau struktur lainnya. (S. M. A. T. Zaman et al. 2021)

Penggunaan stiffeners dalam pencegahan buckling pada struktur ringan
penggunaan stiffeners dalam mencegah buckling pada struktur ringan, yang juga relevan untuk desain kapal barge, nutakor mengkaji bagaimana stiffeners yang digunakan pada elemen struktural ringan dapat mengurangi kemungkinan buckling, namun pada panjang kritis tertentu, stiffeners tersebut menjadi tidak efektif. Penelitian ini juga menggunakan simulasi FEA untuk menganalisis ketahanan struktur terhadap beban tekan yang menyebabkan buckling Penelitian-penelitian ini memberikan wawasan tentang pentingnya analisis buckling pada desain struktural, terutama dalam aplikasi maritim seperti kapal barge, mereka juga menyoroti peran penting penggunaan metode numerik seperti FEA untuk mengevaluasi dan merancang elemen struktural yang tahan terhadap buckling. (Charles Nutakor (2023)



Gambar 2.3 Konstruksi Plat Alas Barge

(Sumber: <https://smithship.blogspot.com>)

2.1.6 Sifat Material Baja Konstruksi Laut

Sangat penting dalam desain dan pembangunan struktur laut seperti kapal, barge, dan platform minyak. Baja yang digunakan dalam aplikasi maritim harus memiliki ketahanan yang tinggi terhadap berbagai kondisi ekstrem, termasuk korosi, tekanan dinamis, dan beban struktural, beberapa sifat material baja konstruksi laut yang utama meliputi sebagai berikut.

1. Ketahanan terhadap Korosi.

Baja untuk konstruksi laut harus tahan terhadap korosi yang disebabkan oleh air laut yang asin, untuk meningkatkan ketahanan ini, baja sering dilapisi dengan lapisan pelindung atau dicampur dengan elemen paduan tertentu seperti kromium atau nikel. Baja tahan karat *stainless steel* sering digunakan karena kemampuannya menahan korosi.

2. Kekuatan Tarik dan Kekuatan Tekan.

Baja yang digunakan untuk struktur laut harus memiliki kombinasi kekuatan tarik yang tinggi untuk menahan beban eksternal serta ketahanan terhadap tekanan, seperti yang terjadi pada kapal atau platform di laut terbuka, Baja dengan kandungan karbon rendah dan paduan seperti mangan atau silikon sering dipilih untuk meningkatkan kekuatan tarik.

3. Ketangguhan pada Suhu Rendah.

Struktur yang dibangun untuk lingkungan laut sering kali beroperasi di suhu rendah, terutama di daerah kutub atau perairan dingin, baja konstruksi laut

harus memiliki ketangguhan yang baik pada suhu rendah untuk mencegah patah atau kegagalan material yang besar pada bagian bawah.

4. Sifat Fatigue dan Impact Resistance

Konstruksi laut menghadapi kondisi dinamis yang melibatkan beban siklik, seperti ombak dan angin, Oleh karena itu baja yang digunakan harus memiliki ketahanan terhadap fatigue (kelelahan material) dan dampak *impact resistance* untuk memastikan ketahanan jangka panjang terhadap kerusakan akibat beban berulang.

Pemahaman tentang sifat material ini sangat penting dalam mengembangkan desain yang lebih efisien dan aman.

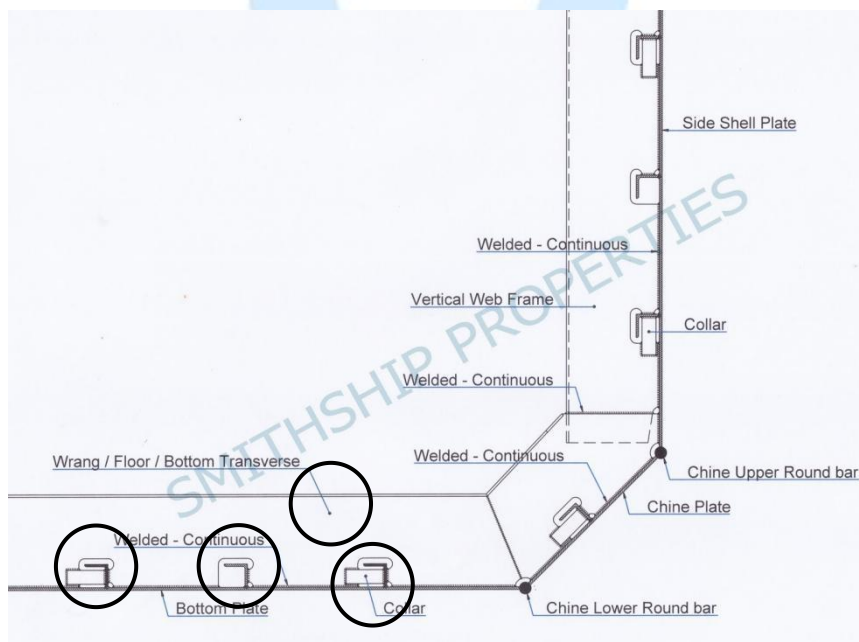
2.2 Analisis Buckling pada Struktur kapal

Analisis buckling pada struktur perkapalan sangat penting untuk memastikan keselamatan dan integritas struktur kapal, barge, dan platform maritim lainnya, buckling dapat terjadi pada Plat atau kolom baja yang tipis ketika mereka menerima beban tekan yang melebihi kapasitas kritis material tersebut, pada struktur kapal, Plat baja seringkali menjadi elemen yang rentan terhadap buckling, terutama saat terpapar pada tekanan internal atau eksternal yang besar, seperti beban dari muatan, ombak, dan tekanan angin. Korosi yang disebabkan oleh air laut juga dapat memperburuk kondisi ini, karena dapat melemahkan material dan menurunkan ketahanan terhadap buckling, oleh karena itu, penting untuk memilih material dengan ketahanan yang baik terhadap korosi dan memiliki kekuatan tarik yang cukup tinggi agar dapat menahan tekanan dan beban yang diterima.

Metode yang digunakan untuk menganalisis buckling pada struktur perkapalan termasuk analisis elemen hingga (FEA), yang memungkinkan pemodelan geometri dan pembebanan yang kompleks. Dengan FEA, insinyur dapat mengevaluasi kemungkinan buckling pada Plat atau kolom dengan lebih akurat dan menentukan kondisi pembebanan yang menyebabkan kegagalan struktural, sebagai contoh penelitian mengkaji pengaruh kombinasi beban statis dan dinamis pada struktur kapal dan barge, serta penggunaan stiffeners untuk mencegah buckling lokal, Stiffeners ini dapat memperkuat Plat baja dan meningkatkan stabilitas struktur, namun desain yang tidak tepat dapat mengurangi

efektivitasnya, selain itu, metode lain seperti model euler sering digunakan untuk analisis awal, terutama pada kolom yang terpapar beban tekan. (Liang et al. 2019)

Beberapa penelitian terkait telah menunjukkan pentingnya pemahaman tentang kondisi yang menyebabkan buckling pada struktur kapal, misalnya, menggunakan FEA untuk menganalisis ketahanan Plat baja terhadap buckling dalam aplikasi maritim, dan menyoroti pentingnya desain yang memperhitungkan berbagai kondisi beban. Analisis ini membantu dalam merancang struktur yang aman dan tahan lama di bawah pengaruh pembebanan yang beragam di laut, oleh karena itu, analisis buckling tidak hanya penting untuk memastikan daya tahan material, tetapi juga untuk mendesain struktur yang mampu bertahan terhadap tekanan dinamis yang terjadi di laut. (Zaman et al. 2021)



Gambar 2.4 Bottom plate

(Sumber: <https://smithship.blogspot.com>)

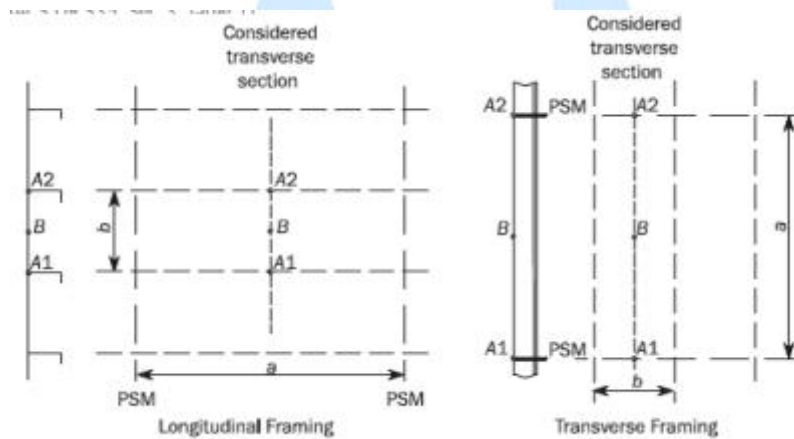
2.2.1 Kekuatan Tekuk

Kekuatan tekuk adalah teknik yang digunakan untuk menentukan beban tekuk atau beban kritis yang menyebabkan struktur menjadi tidak stabil dan tertekuk ke bentuk mode dan bentuk yang terkait dengan struktur adalah respons tekuk, dengan kata lain, setelah beban kritis tercapai, komponen ramping akan tertarik ke samping alih-alih menahan beban tambahan, kegagalan ini dapat dianalisis menggunakan teknik yang dikenal sebagai analisis tekuk. Tujuan dari

analisis ini adalah untuk menentukan faktor beban tekuk dan beban tekuk kritis. (Vidyasagar 2017)

Kapasitas tekuk mengacu pada kekuatan struktur di bawah tekanan bidang datar dan/atau beban geser dan lateral. Kekuatan tekuk dengan mempertimbangkan perilaku tekuk, memberikan perkiraan batas bawah kapasitas ultimit, atau beban maksimum yang dapat ditanggung anggota struktural tanpa mengalami set permanen yang besar.

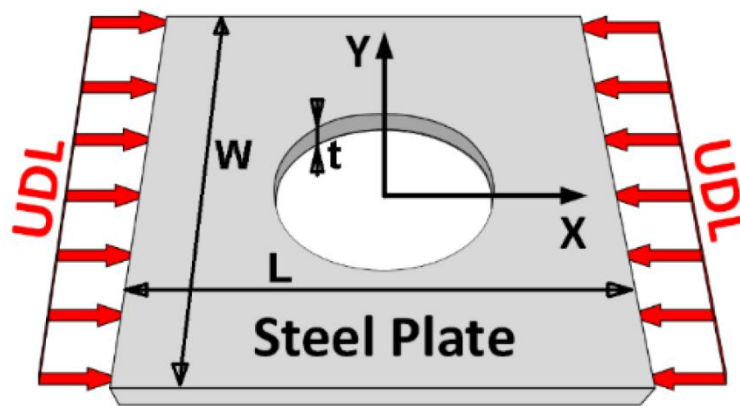
Untuk setiap anggota struktural, kekuatan tekuknya harus dianggap sesuai dengan mode tekuk yang paling tidak menguntungkan atau kritis. (IACS UR S35. Sec.1, 2.1.1).



Gambar 2.5 LCP for Plat Buckling Assessment
(Sumber :<https://www.researchgate.net>)

2.2.2 Faktor Pemanfaatan Tekuk

Faktor pemanfaatan (η), didefinisikan sebagai rasio antara beban yang diberikan dan kapasitas tekuk yang sesuai. Untuk beban gabungan faktor pemanfaatan, η_{act} didefinisikan sebagai rasio tegangan ekivalen yang diberikan dan kapasitas tekuk yang sesuai, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Merupakan contoh plat steel plate yang umum digunakan namun biasanya tidak memiliki celah atau bolongan di tengah nya, W_{act} = tegangan setara yang diterapkan. Tegangan aktual yang diterapkan diberikan dalam masing-masing untuk penilaian tekuk dengan analisis kekuatan preskriptif dan langsung.



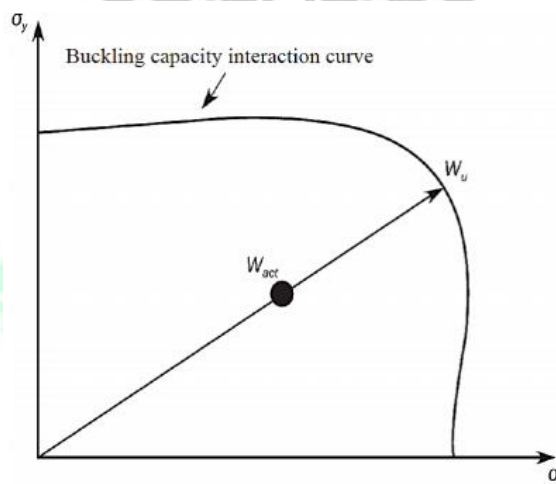
Gambar 2.6 Plat Baja Dengan Beban Uniaxial Dengan Bukaian Melingkar

(Sumber: <https://www.mdpi.com>)

WU = kapasitas tekuk setara. Untuk Plat dan pengaku, kapasitas tekuk atau ultimitnya masing-masing diberikan.

γ_c = faktor pengali tegangan pada saat kegagalan.

Untuk setiap mode kegagalan yang umum, kapasitas tekuk panel yang sesuai dihitung dengan menerapkan kombinasi tegangan aktual dan kemudian menambah atau mengurangi tegangan secara proporsional hingga terjadi keruntuhan. (IACS UR S35. Sec.1, 3.2.1).



Gambar 2.7 Ilustrasi Kapasitas Tekuk dan Faktor Pemanfaatan Tekuk

(Sumber: www.ocw.upj.ac.id)

2.3 Material Baja Konstruksi Laut

Material baja yang digunakan dalam konstruksi laut memiliki sifat-sifat yang sangat penting untuk menjamin ketahanan dan daya tahan struktur terhadap

kondisi lingkungan yang keras, seperti air laut yang korosif, beban dinamis dari ombak, dan tekanan eksternal yang tinggi, baja untuk aplikasi laut biasanya harus memenuhi beberapa persyaratan, antara lain ketahanan terhadap korosi, kekuatan tarik yang tinggi, ketangguhan pada suhu rendah, serta ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue*) akibat beban yang berulang.

Material baja yang digunakan dalam konstruksi laut dirancang untuk memenuhi berbagai tuntutan teknis dan lingkungan yang keras. Salah satu sifat utama yang harus dimiliki oleh baja tersebut adalah ketahanan terhadap korosi, mengingat struktur laut, seperti kapal dan platform, sering terpapar pada air laut yang mengandung garam, korosi yang terjadi pada baja dapat mengurangi ketahanan material, sehingga baja yang digunakan biasanya dilapisi dengan pelindung seperti cat atau galvanisasi, atau menggunakan baja tahan karat yang mengandung elemen paduan seperti kromium dan nikel untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi. Penggunaan baja tahan karat, seperti AISI 316 atau AISI 304, sangat umum di bagian-bagian yang terpapar langsung pada air laut. (Bryan, 2019).

Selain ketahanan terhadap korosi, baja konstruksi laut juga harus memiliki kekuatan tarik yang tinggi untuk menahan beban struktural yang besar, seperti pada Plat dan kolom yang digunakan dalam struktur kapal atau barge, kekuatan tarik yang cukup diperlukan agar material tidak mudah mengalami deformasi atau kegagalan. Material baja tersebut dipilih berdasarkan sifat mekanik seperti kekuatan luluh dan modulus elastisitas, selain itu, ketangguhan baja pada suhu rendah menjadi hal yang penting, terutama untuk kapal yang beroperasi di perairan dingin, di mana baja dapat menjadi lebih rapuh, baja yang digunakan di daerah perairan dingin harus tetap memiliki ketangguhan tinggi pada suhu rendah agar mencegah kerusakan atau patah yang bisa terjadi akibat tekanan eksternal. (Ali & Sattar, 2021).



Gambar 2.8 Baja Konstruksi

(Sumber: <https://www.intisumberbajasakti.com>)

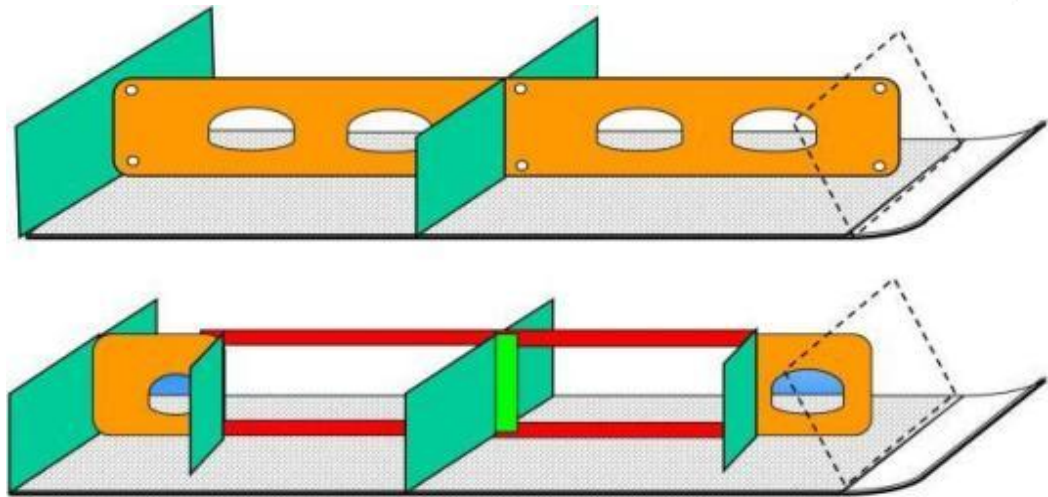
Baja konstruksi laut juga harus memiliki ketahanan terhadap fatigue atau kelelahan material akibat beban yang berulang, seperti gelombang dan tekanan air yang terjadi secara dinamis, baja yang digunakan dalam struktur laut harus mampu menahan retakan atau kerusakan akibat siklus pembebanan berulang tanpa mengalami kegagalan, baja karbon rendah sering dipilih untuk aplikasi ini karena memiliki ketahanan terhadap kelelahan yang baik, oleh karena itu, pemilihan material baja yang tepat sangat penting untuk memastikan bahwa struktur laut dapat bertahan dalam jangka panjang, meskipun terpapar pada kondisi ekstrem seperti air laut yang korosif, suhu rendah, dan beban dinamis berulang. (Ghosh & Choudhury, 2020).

2.3.1 Konstruksi alas barge

Elemen struktural utama yang berfungsi sebagai dasar dan penopang seluruh beban yang ada pada *barge* kapal tongkang. Bagian ini dirancang untuk menahan beban statis dari kargo dan beban dinamis akibat tekanan hidrodinamik serta gaya gelombang, komponen utama alas barge meliputi plat alas, lunas *keel*, girder memanjang, dan rangka melintang, yang semuanya bekerja bersama untuk memastikan kekuatan dan kekakuan struktur, material yang digunakan, seperti baja berkekuatan tinggi, dipilih untuk daya tahan terhadap tekanan, deformasi, dan korosi lingkungan laut, plat alas bertindak sebagai permukaan utama yang bersentuhan langsung dengan air, sementara lunas menjadi tulang punggung yang memberikan kekuatan longitudinal.

Penambahan girder dan rangka melintang membantu mendistribusikan beban secara merata, mencegah tekanan lokal yang dapat memicu deformasi atau

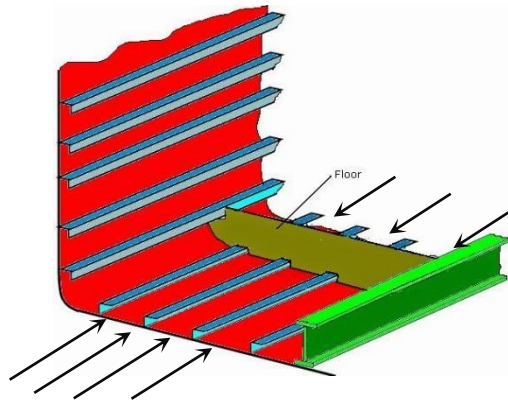
kegagalan struktural. Penopang *stiffeners* sering kali digunakan untuk meningkatkan kekakuan dan mencegah buckling pada plat alas, yang sangat penting untuk struktur besar seperti barge. Pada beberapa desain, alas juga dilengkapi dengan *double bottom* untuk menambah perlindungan dan keamanan terhadap kebocoran, namun pada beberapa kapal ada yang memiliki sistem wrang terbuka hal ini biasa nya lebih rentan terhadap buckling yang terjadi dan lebih mudah kemasukan air seperti pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Wrang Terbuka Pada Sistem Kerangka Melintang.

(Sumber: <https://www.maritimeworld.web.id>)

Peran alas barge sangat penting dalam menjamin stabilitas dan daya tahan kapal selama operasi, dengan desain yang tepat, alas mampu menjaga distribusi beban secara merata, meningkatkan efisiensi struktural, serta meminimalkan risiko kegagalan akibat buckling atau tekanan berlebih, oleh karena itu, analisis yang cermat terhadap desain alas, termasuk simulasi buckling sangat diperlukan untuk memastikan performa optimal barge di berbagai kondisi operasional.(Prabowo et al., 2022).



Gambar 2.10 Konstruksi Longitudinal Alas Barge

(Sumber: <https://joe-pencerahan.blogspot.com>)

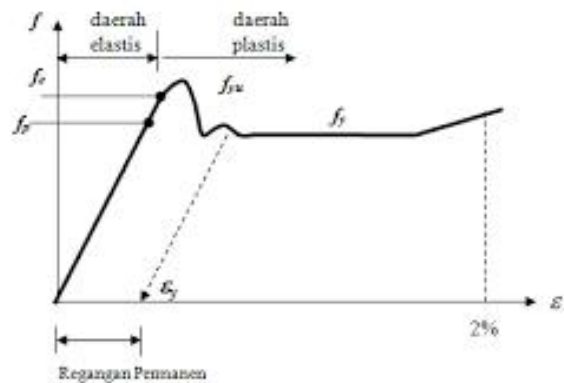
Pada gambar 2.10 di atas menjelaskan bahwa pembeban yang dilakukan melalui plat alas dengan ketebalan yang berbeda namun pada ketebalan dan variasi pembebanan jika diperlukan.

2.3.2 Tegangan

Tegangan pada alas barge adalah respons material terhadap gaya yang diterapkan, baik akibat beban kargo, tekanan air, maupun gaya-gaya dinamis selama operasi, tegangan ini dapat berupa tegangan normal, yang bekerja tegak lurus terhadap bidang material, atau tegangan geser, yang bekerja sejajar dengan bidang material. Tegangan pada alas barge perlu dianalisis secara cermat untuk memastikan struktur mampu menahan beban tanpa mengalami deformasi permanen atau kegagalan, terutama di area kritis seperti sambungan plat, stiffeners, dan rangka, dalam kondisi operasi, tegangan normal sering kali terjadi akibat beban vertikal dari kargo dan tekanan hidrostatis, sementara tegangan geser muncul dari gaya lateral seperti arus atau gelombang, kombinasi tegangan ini dapat memicu deformasi lokal buckling, atau bahkan retak jika melebihi kapasitas material.

Analisis tegangan, seperti von mises stress, digunakan untuk mengevaluasi kemampuan struktur dalam menahan kombinasi berbagai jenis tegangan, dengan mempertimbangkan faktor keamanan dan batas elastis material. Tegangan yang tidak terdistribusi merata dapat menjadi penyebab utama kegagalan struktural, seperti buckling pada plat alas. Oleh karena itu, desain alas barge harus

memastikan distribusi tegangan yang seragam melalui elemen-elemen penguat seperti girder, stiffeners, dan rangka melintang. Dengan pendekatan simulasi berbasis komputer, seperti menggunakan perangkat lunak ansys, analisis tegangan dapat dilakukan untuk memprediksi titik kritis dan mengoptimalkan desain alas agar lebih tahan terhadap tegangan berlebih. (Muhammad Adil et al., 2020)



Gambar 2.11 Curva Tegangan- Regangan.

(Sumber: <https://ocw.upj.ac.id>)

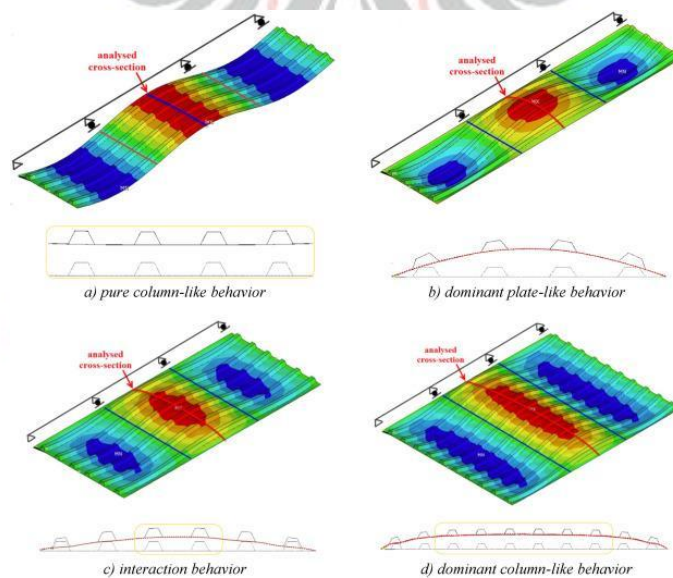
2.3.2 Regangan

Regangan pada alas barge adalah perubahan bentuk atau dimensi material akibat gaya yang bekerja pada struktur tersebut. Regangan ini terjadi ketika alas menerima beban operasional, baik berupa tekanan dari kargo, gaya hidrostatis air, maupun tekanan dinamis dari gelombang dan arus. Regangan dapat diukur sebagai perbandingan antara perubahan panjang terhadap panjang awal material, dan dinyatakan dalam bentuk tanpa dimensi atau persen, regangan dapat dibagi menjadi dua jenis utama regangan elastis dan regangan plastis. Regangan elastis terjadi ketika deformasi yang dialami material bersifat sementara dan material akan kembali ke bentuk awal setelah beban dilepaskan, sebaliknya, regangan plastis menyebabkan deformasi permanen, di mana material tidak kembali ke bentuk aslinya. Pada struktur alas barge, regangan elastis biasanya lebih diutamakan dalam desain untuk memastikan integritas struktural selama operasi normal, namun jika regangan plastis terjadi, hal ini menunjukkan adanya risiko deformasi permanen yang dapat mempengaruhi performa barge. Untuk menganalisis regangan, metode simulasi berbasis komputer seperti menggunakan ansys sering digunakan. Simulasi ini membantu mengidentifikasi distribusi

regangan pada seluruh elemen alas barge, termasuk di area kritis seperti sambungan plat atau stiffeners, dengan memahami pola regangan, perancang dapat mengoptimalkan desain untuk meminimalkan deformasi yang berlebihan, memastikan distribusi beban yang merata, dan meningkatkan umur struktur. Regangan yang terlalu besar atau tidak terkontrol dapat memicu fenomena seperti buckling atau bahkan kegagalan total pada alas barge. (M.A. Shama et al., 2015).

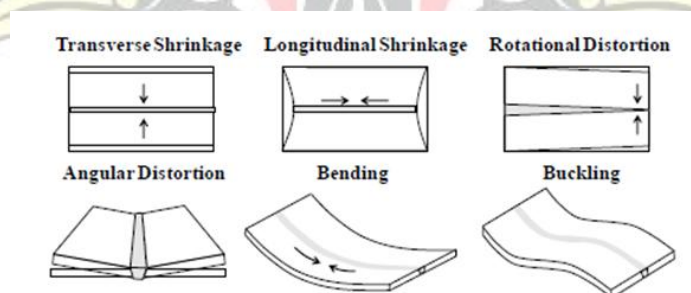
2.3.3 Deformasi

Deformasi pada alas barge adalah perubahan bentuk atau geometri struktur alas akibat gaya atau beban yang diterapkan, baik dari tekanan kargo, gaya hidrostatik, maupun gaya dinamis seperti gelombang dan arus. Deformasi bisa bersifat elastis, di mana material kembali ke bentuk semula setelah beban dilepas, atau plastis, yang menyebabkan perubahan bentuk permanen pada material. Besarnya deformasi dipengaruhi oleh sifat material, desain struktur, distribusi beban, dan jenis gaya yang bekerja pada alas barge. Seperti gambar 2.11 di bagian bawah merupakan contoh buckling yang terjadi pada plat baja.



Gambar 2.12 Buckling Resistance of Longitudinally
(Sumber [Http://www.sciencedirect.com/](http://www.sciencedirect.com/))

Pada alas barge, deformasi yang berlebihan dapat mengakibatkan risiko kegagalan struktural seperti buckling, retakan, atau bahkan keruntuhan total. Salah satu jenis deformasi yang sering menjadi perhatian adalah deformasi akibat buckling, di mana plat alas mengalami melengkung secara tiba-tiba akibat tekanan aksial melebihi batas kritis. Selain itu, deformasi lokal juga dapat terjadi di area dengan tegangan tinggi, seperti di sekitar sambungan atau elemen penguat stiffeners dan rangka melintang, oleh karena itu, desain alas barge harus mampu mengontrol deformasi dengan baik melalui penguatan struktural dan pemilihan material yang tepat. Untuk menganalisis deformasi simulasi berbasis perangkat lunak seperti ansys sangat membantu dalam memprediksi pola deformasi di seluruh struktur alas. Hasil simulasi memberikan gambaran distribusi deformasi pada berbagai kondisi beban, termasuk titik-titik kritis yang rentan, dengan data ini, desain struktur dapat dioptimalkan untuk meminimalkan deformasi, menjaga integritas struktural, dan meningkatkan keamanan operasional, deformasi yang terkendali sangat penting untuk memastikan kinerja barge tetap optimal selama masa operasinya. (Ramakrishnan et al., 2018).



Gambar 2.13 Deformasi Struktur.

(Sumber: *Engineering LibreTexts*)

2.4 Metode Finite Element Analysis (FEA)

Buckling adalah fenomena yang terjadi ketika sebuah struktur, seperti Plat atau kolom, mengalami deformasi besar akibat beban tekan yang melebihi kapasitas elastis material tersebut. Fenomena ini sangat relevan dalam perancangan struktur kapal, barge dan elemen struktural lainnya, yang sering terpapar pada beban dinamis dan eksternal, untuk menganalisis perilaku buckling

ini secara akurat Metode *Finite Element Analysis* (FEA) digunakan sebagai alat bantu yang sangat efektif.

FEA adalah metode numerik yang memungkinkan pemodelan dan analisis perilaku struktural yang kompleks, termasuk fenomena buckling. Dalam FEA, struktur dibagi menjadi elemen-elemen kecil *finite elements* yang dapat dianalisis secara individual, metode ini memungkinkan untuk menghitung distribusi tegangan, deformasi dan titik kritis buckling pada struktur yang kompleks, seperti Plat tipis pada kapal atau barge yang menerima beban tekan, dengan menggunakan FEA, para insinyur atau peneliti dapat mengevaluasi kemungkinan terjadinya buckling pada berbagai kondisi pembebanan, termasuk beban statis dan dinamis, serta menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan struktur, seperti geometri, material dan penguatan struktural (Liang et al., 2019; Zaman et al., 2021).

Kaitan antara buckling dan FEA sangat penting karena FEA memberikan gambaran yang lebih mendetail tentang bagaimana struktur akan bereaksi terhadap beban yang diterima, metode ini memungkinkan untuk menentukan nilai kritis beban yang menyebabkan buckling serta mengidentifikasi area yang rentan terhadap kegagalan struktural, dengan demikian FEA memungkinkan perancangan yang lebih aman dan efisien, serta memberikan insight yang lebih jelas dalam menghindari kegagalan akibat buckling, terutama pada struktur yang terpapar pada kondisi ekstrem seperti kapal yang beroperasi di laut. (Zaman et al., 2021). Dengan menggunakan FEA, perancangan dan optimasi struktur perkapalan dapat dilakukan secara lebih presisi dan lebih cepat.

2.4.1 Kurvatur

Kurvatur adalah konsep yang menggambarkan tingkat kelengkungan suatu objek, baik itu garis permukaan, atau bahkan struktur dalam rekayasa kurvatur dapat dihitung dengan rumus $\kappa=1/R$ di mana R adalah jari-jari kelengkungan.

Dalam geometri diferensial, kurvatur garis mengukur sejauh mana suatu kurva membelok pada titik tertentu, sedangkan kurvatur permukaan mengukur kelengkungan pada permukaan di ruang tiga dimensi. Pada struktur teknik,

kurvatur digunakan untuk menganalisis kelengkungan elemen struktural di bawah beban, yang sangat penting dalam studi stabilitas dan tekuk material, misalnya, pada analisis tekuk plat atau balok, perubahan dalam kurvatur dapat menunjukkan titik-titik kritis yang berisiko mengalami kerusakan atau deformasi, yang perlu diperhitungkan dalam desain struktural untuk memastikan keamanan dan efisiensi, analisis kurvatur sering dilakukan dengan bantuan perangkat lunak simulasi seperti ansys untuk mendapatkan gambaran yang lebih akurat tentang bagaimana struktur merespons beban yang diterima.

2.5 Pengaruh Dimensi dan Ketebalan Plat pada Buckling

Pengaruh dimensi dan ketebalan Plat terhadap fenomena buckling sangat signifikan dalam desain struktur perkapalan, seperti kapal, barge, dan platform, ketebalan Plat dan ukuran dimensi panjang dan lebar berperan langsung dalam menentukan kapasitas beban tekan yang dapat ditahan oleh struktur sebelum terjadi buckling. Secara umum, semakin tipis Plat, semakin besar kemungkinan terjadinya buckling di bawah beban yang diberikan.

Ketebalan Plat adalah salah satu faktor utama yang mempengaruhi ketahanan terhadap buckling. Pada Plat yang lebih tipis, tegangan dan deformasi elastis lebih mudah merambat, sehingga menyebabkan kegagalan struktural lebih cepat dibandingkan dengan Plat yang lebih tebal. Ketika Plat menjadi lebih tipis, kapasitas beban yang dapat ditahan oleh plat juga berkurang, yang pada gilirannya menurunkan kekuatan buckling-nya. Oleh karena itu, untuk Plat yang digunakan dalam struktur perkapalan, pemilihan ketebalan yang optimal sangat penting untuk menghindari buckling dan memastikan stabilitas struktur, terutama ketika Plat tersebut terpapar pada beban tekan yang tinggi. (Liang et al., 2019).

Selain ketebalan dimensi Plat, seperti panjang dan lebar juga mempengaruhi kemampuan Plat dalam menahan buckling, Plat yang lebih panjang dan lebar cenderung lebih rentan terhadap buckling karena distribusi beban lebih luas dan menghasilkan momen lentur yang lebih besar, semakin besar dimensi Plat, semakin besar pula potensi terjadinya deformasi akibat beban tekan, oleh karena itu, penguatan Plat dengan menggunakan stiffeners atau penopang tambahan di area tertentu dapat mengurangi risiko buckling pada Plat yang lebih besar.

Penelitian menunjukkan bahwa penambahan stiffeners secara strategis dapat mengurangi deformasi dan meningkatkan kekuatan Plat dalam menahan buckling, meskipun dimensi Plat lebih besar.

Interaksi antara ketebalan dan dimensi Plat sangat kompleks dan saling mempengaruhi. Misalnya, Plat dengan ketebalan lebih tipis yang memiliki dimensi panjang dan lebar yang besar cenderung memiliki titik kritis buckling yang lebih rendah. Ini berarti bahwa desain struktural harus mempertimbangkan kedua faktor tersebut secara bersamaan untuk mencapai keseimbangan antara kekuatan dan efisiensi material. Dengan menggunakan metode analisis seperti *Finite Element Analysis* (FEA), insinyur dapat lebih akurat menentukan titik kritis beban dan menganalisis distribusi tegangan dan deformasi pada Plat dengan berbagai dimensi dan ketebalan, untuk merancang struktur yang lebih aman dan stabil. (Zaman et al., 2021).



2.6 Studi Terkait dan Penelitian Sebelumnya

Rangkuman dari penelitian sebelumnya yang relevan dengan studi yang telah dilakukan.

Table 2.1 Daftar Penelitian Terdahulu.

No	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
1	Liang, H., et al. (2019)	Permasalahan: Penelitian ini mengkaji fenomena buckling pada Plat kapal dan struktur barge yang terpapar beban statis dan dinamis. Fokus utama adalah memahami interaksi antara beban yang diterima oleh Plat dan faktor-faktor lain yang mempengaruhi kegagalan struktural. Metode: Analisis numerik <i>menggunakan Finite Element Analysis (FEA)</i> untuk memodelkan geometri Plat dan pembebanan pada struktur kapal. Metode ini digunakan untuk menentukan titik kritis buckling dan distribusi tegangan pada Plat. Hasil: Penelitian ini menunjukkan bahwa pengaruh beban dinamis, seperti gelombang dan tekanan angin, dapat memperburuk kondisi buckling pada Plat kapal. Selain itu, penelitian ini menyarankan penggunaan stiffeners sebagai penguat untuk mengurangi risiko buckling pada Plat yang lebih tipis.

2	Zaman, S. M. A. T., et al. (2021)	"Finite Element Analysis of Buckling on Thin Plates in Marine Applications" Permasalahan: Penelitian ini berfokus pada analisis buckling pada Plat baja tipis yang digunakan dalam konstruksi kapal dan struktur laut lainnya, serta bagaimana variasi ketebalan dan dimensi Plat mempengaruhi kekuatan terhadap buckling. Metode: FEA digunakan untuk menganalisis Plat dengan berbagai ketebalan dan dimensi dalam kondisi beban tekan yang bervariasi. Analisis ini bertujuan untuk menentukan batas kritis beban yang menyebabkan Plat mengalami buckling. Hasil: Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Plat dengan ketebalan yang lebih kecil dan dimensi yang lebih besar lebih rentan terhadap buckling. Penggunaan stiffeners secara strategis dapat mengurangi deformasi dan meningkatkan ketahanan Plat terhadap buckling.
---	--------------------------------------	---

3	Ali, A. S., & Sattar, M. S. (2021)	"Materials for Marine Structures: Steel and its Properties" Permasalahan: Fokus penelitian ini adalah pada material baja yang digunakan dalam struktur perkapalan, dengan menilai bagaimana sifat material baja mempengaruhi kestabilan struktural dan potensi buckling pada elemen-elemen kapal. Metode: Metode eksperimen dan analisis numerik digunakan untuk menilai sifat mekanik baja, termasuk ketahanan terhadap korosi, kekuatan tarik, dan ketangguhan pada suhu rendah. Penelitian ini juga mengevaluasi material baja yang digunakan pada elemen struktural kapal. Hasil: Penelitian ini menemukan bahwa baja tahan karat memiliki ketahanan korosi yang lebih baik, tetapi untuk aplikasi yang lebih struktural, baja karbon rendah lebih unggul dalam hal ketahanan terhadap kelelahan dan buckling. Penggunaan material yang tepat dapat mengurangi potensi kegagalan struktural, termasuk buckling.
---	------------------------------------	---

Halaman ini dibiarkan kosong

