

# STUDI PENELAAHAN BEBERAPA METODE PADA ANALISIS KEKUATAN KAPAL

Indah Melati Suci, Andi Muhammad Alfian Arafat, Rian Sagita, Alfred Michael Padaunan dan Muhammad Zubair Muis Alie

Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Email: indahmelati27011@gmail.com

## Abstrak

Salah satu kriteria terpenting dalam desain kapal adalah kekuatan. Ketika kapal berada di bawah beban eksternal seperti gelombang, daya apung atau tekanan, reaksi internalnya harus menahan beban eksternal tersebut. Apabila tubrukan terjadi, lambung kapal tidak hanya menerima dampaknya tetapi juga geladaknya. Sifat statistik kekuatan sisa gelagar lambung ditentukan dengan simulasi Monte Carlo berdasarkan dimensi kerusakan dan bentuk modifikasi dari Metode Incremental Iterative untuk memperhitungkan rotasi sumbu netral dan kesetimbangan momen lentur horizontal. Analisis numerik membahas beberapa aspek yang berhubungan dengan respon struktur kapal yang mengalami beban tidak terduga, termasuk pentingnya menentukan model las, pengaruh kriteria kegagalan, hubungan material pada simulasi struktur kompleks, dan aplikasi penskalaan dalam menilai respon dari struktur skala penuh. Metode Beam Finite Element untuk menguji kekuatan sisa kapal dan sebuah model tiga ruang muat kapal dengan tipe Panamax berlambung tunggal pada kondisi hogging dan sagging. Analisis Elemen Hingga (FE) nonlinear mencakup static implisit analisis dan analisis dinamis eksplisit yang keduanya dapat mempertimbangkan defleksi besar dan nonlinear selama proses kerutuhan progresif. Pendekatan melibatkan evaluasi pengaruh opsi pengendalian resiko pada kegagalan gelagar laambung. Probabilitas ditentukan dengan menggunkan analisis keandalan struktur dan penentuan biaya yang diperoleh pada kegagalan lambung girder diantaranya kerusakan property kapal, pencemaran akibat tumpahan minyak dan hilangnya nyawa awak kapal seperti yang diusulkan oleh International Maritime Organization (IMO).

**Kata kunci:** *Residual Strength, Hull Girder, Ultimate Strength, Beam Finite Element, Hogging-Sagging*

## PENDAHULUAN

Muis Alie (2016), dalam keadaan normal untuk menghindari rusaknya lambung kapal lembaga klasifikasi menetapkan aturan tegangan maksimum, namun untuk menilai kelangsungan hidup kapal dalam situasi yang tidak disengaja misalnya tabrakan penerapannya menjadi tidak pasti. Untuk itu digunakan ultimate strength karena dapat menentukan keadaan batas yang sebenarnya. Metode mempertimbangkan panjang kerusakan dan perubahan beban luar pada lambung kapal adalah dengan Beam Finite Elements dengan pendekatan Smith untuk setiap elemen. Champanile et al (2018), pemeriksaan kekuatan sisa lambung kapal menurut aturan Narios. Disini juga dijelaskan tentang studi hull girder yang memaparkan tentang kerusakan lambung kapal akibat tubrukan. International Maritime Organization (IMO) memberikan standar internasional pertama untuk evaluasi dan persetujuan metode alternatif desain dan kontruksi kapal tanker minyak. Beberapa upaya telah dilakukan untuk menyelaraskan peraturan stabilitas kerusakan antara kapal yang berbeda tipologi dan menyelidiki dampak probalistik.

Ming Zhang et al (2018), meskipun sistem penghindar tabrakan kapal dan alat navigasi telah meningkat pesat beberapa tahun terakhir, tabrakan kapal masih tetap sering terjadi disebabkan peningkatan tonase dan jalur lintas yang lebih padat, dimana dapat meyebabkan pencemaran lingkungan yang mengancam organisme laut dan manusia. Akibatnya Marine Pollution (MARPOL) dan International Maritime Organization (IMO) mensyaratkan kapal tanker yang dilengkapi dengan lambung ganda pada usia tertentu. Oleh karena itu, penyelidikan respon struktur lambung ganda yang terkena tabrakan sangat penting untuk penilaian kelayakan struktur kapal pada saat Pre-Design. Guia et al (2018), metode keandalan struktur yang telah diterapkan secara konsisten dalam beberapa dekade terakhir untuk menilai keamanan struktur kapal dan komponen structural.

Muis Alie et al (2019), tentang tiga jenis kekuatan yang akan dianalisis diantaranya : Longitufinal, Transversal dan



Local. Kekuatan longitudinal adalah yang paling signifikan dari ini dan parameternya yang selalu dipertimbangkan untuk menetapkan kapasitas momen lentur kapal terhadap eksternal saat memuat di laut. Muis Alie et al (2018), kerusakan akibat tabrakan dapat terjadi pada kapal dan mengancam keselamatan kapal dan lingkungan, banyak penelitian telah menjelaskan tentang kekuatan penumpu lambung kapal. Ketika kerusakan kandas terjadi pada lambung kapal, bagian bawah akan kehilangan kekakuan karena degradasi beberapa elemen. Oleh karena itu, sangat mendesak untuk menilai penumpu lambung kapal setelah terjadi kecelakaan seperti itu.

Muis Alie et al (2020), Sekat longitudinal sebuah kapal terletak di pusat penampang. Penampang dibentuk seperti sebuah kotak, yaitu tidak memiliki radius lambung kapal. Multipoint pendekatan kendala diterapkan ke kedua sisi salib bagian, dan properti material diatur menjadi konstan. Kerusakan akibat tabrakan diwakili oleh hilangnya kekakuan elemen dan menunjukkan persentase kapal kedalaman. Untuk tingkat kerusakan transversal,  $B / 16$  diatur menjadi konstan. Tabrakan minimum dan maksimum kerusakan diambil 10% dan 60% dari kedalaman kapal, masing-masing. Muis Alie (2018), kemampuan untuk memprediksi secara akurat kekuatan ultimate gelagar lambung kapal saat mengalami pembengkokan longitudinal adalah salah satu aspek terpenting dari desain struktur kapal. Dalam hal ini, untuk meningkatkan keselamatan struktur kapal dan meminimalkan risiko, Organisasi Maritim Internasional (IMO, 2009) telah mensyaratkan dalam Standar Berbasis Tujuan untuk Konstruksi Kapal Baru (GBS) untuk mempertimbangkan kekuatan sisa gelagar lambung dalam kerusakan tertentu. kondisi sebagai salah satu persyaratan fungsional untuk aturan struktural untuk kapal curah dan kapal tanker.

Ming Cai Xu (2017), struktur kapal mungkin rusak dalam kondisi ekstrim yang terkadang beban, seperti angin, gelombang, dan arus. Kekuatan longitudinal gelagar lambung adalah aspek fundamental dasar untuk memastikan keamanan kapal dan struktur lepas pantai, kehidupan manusia, dan properti. Sangat penting untuk menilai kekuatan pamungkas gelagar lambung kapal. Penulis juga menerangkan berbagai metode penilaian kapasitas tekuk vertikal hull girder. Vu Van (2018), banyaknya kapal yang mengalami kecelakaan (seperti tenggelam, menahan banjir, pecah menjadi dua, hancur, haluan tertekuk turun, kegagalan gelagar lambung kapal lokal, dll.) selama periode tujuh tahun sejak 1968 sampai 1974. Kekuatan sisa dari kapal curah tua mengalami perbedaan tingkat ketidaksempurnaan awal dan pemborosan korosi itu tidak dipertimbangkan sepenuhnya. Kombinasi parameter ini dibatasi rata-rata atau tingkat korosi yang parah dengan tingkat ketidaksempurnaan awal rata-rata.

## TUJUAN

Champanile et al (2018), Pendekatan scanting dalam menganalisis kekuatan sisa gelagar lambung yang dianalisis menggunakan simulasi Monte Carlo. Artikel ini juga menyelidiki insiden korosi pada static kekuatan sisa propertical dan keandalan hull girder dimana sebuah tabrakan diselidiki dengan berfokus pada toga lambung pada kondisi korosi girder yaitu, bruto scantling, scantling hull girder net dan jaringan local scantling. Ming Zhang et al (2018), pendekatan eksperimental dan melakukan simulasi elemen secara kuasi-statis oleh indenters kerucut dan ujung pisau. Artikel ini juga melakukan simulasi numerik yang dilakukan untuk skenario yang sesuai oleh pemecah elemen hingga LSDNYA eksplisit. Analisis numerik membahas beberapa aspek yang berkaitan dengan respons struktur kapal yang mengalami beban tidak disengaja, termasuk pentingnya menentukan model las, pengaruh kriteria kegagalan, hubungan material pada simulasi struktur kompleks, dan penerapan hukum penskalaan dalam menilai dampak respon struktur skala penuh. Guia et al (2018), aplikasi lain yang sama pentingnya dari metode keandalan structural adalah dalam kalibrasi kode keandalan. Masalah kalibrasi kode dapat dirumuskan sebagai masalah kepusatan, menjadi factor keamanan parsial secara langsung dievaluasi dengan menggunakan analisis biaya. Muis Alie et al (2019), pendekatan yang teoritis dimana metode analisis yang digunakan untuk analisis elemen local dan keruntuhan progresifnya menggunakan Metode Elemen Hingga (FEM) digunakan untuk mengevaluasi kekuatan ultimate, termasuk perilaku kapal RO-RO pada kondisi hogging/sagging dan metode smith. Muis Alie (2016), menganalisis ultimate strength dari kekuatan penumpu lambung kapal yang rusak secara asimetris pada saat tekukan longitudinal menggunakan metode elemen hingga dengan pendekatan smith untuk setiap elemen. Muis Alie et al (2018), menginvestigasi kekuatan lambung kapal dari kerusakan yang disebabkan oleh kandas dalam pengaruh lentur memanjang. Muis Alie et al (2020), untuk menganalisis kekuatan kapal FPSO yang disebabkan oleh kerusakan tabrakan pada kondisi hogging dan sagging dalam arah membujur. Penampang kapal FPSO dimodelkan dengan memiliki elemen yang terdiri dari pelat dan pelat berpenegar. Panjang kapal diasumsikan dengan satu jarak gading. Kekuatan kapal FPSO yang disebabkan oleh tabrakan dianalisis dengan menggunakan analisis numerik pada kondisi hogging dan sagging. MPC di tempatkan pada kedua sisi penampang kapal dan properti material dibuat konstan. Muis Alie (2018), untuk menyelidiki kekuatan gelagar lambung akhir dari kapal yang rusak secara asimetris dalam kondisi kendur. Untuk menyelidiki kekuatan gelagar lambung kapal, pendekatan yang disederhanakan



digunakan. Ming Cai Xu (2017), untuk menemukan pemodelan FE yang andal dan sesuai dalam metode dinamis eksplisit, yang dapat menjaga keseimbangan hasil akurat yang dapat diterima dan sumber daya komputasi. Beberapa faktor yang berpengaruh pada perilaku keruntuhan hull girder dibahas termasuk kondisi batas, rentang geometrik model elemen hingga, jenis elemen, metode pembebanan dan waktu pemuatan. Vu Van (2018), untuk menilai pengaruh yang berbeda-beda tingkat korosi dan atau tingkat ketidaksempurnaan awal yang berbeda pada momen lentur akhir dari dua ukuran dan jenis pengangkut curah yang berbeda. Untuk melakukan tugas ini, metode yang disederhanakan digunakan dan dimodifikasi menjadi ketidaksempurnaan awal dan pemborosan korosi. Selain itu, pertimbangan desain dan konstruksi kapal curah juga dibahas.

## PEMBAHASAN

Muis Alie (2016), Kapal curah b1 dan b2 dijadikan subjek dengan kerusakan terletak pada posisi asimetris disisi kulit lambung kapal. Tingkat kerusakan vertical diambil untuk investigasi. Ultimate strength adalah 70% dari ship dept dan tingkat kerusakan horizontal diambil B/16. Dan itu kontan untuk seluruh kasus kerusakan. Momen lentur vertical dan hubungan kelengkungan vertical di peroleh hullst dan beam hullst dengan model satu ruang untuk masing masing kapal seperti yang di tunjukan gambar 6 hasilnya hamper identik, perbedaan kekuatan sisa penumpu lambung kapal b1 dan b4 disebabkan rasio lebar B dan depth (D) Gambar 7 membandingkan hasil yang di peroleh oleh model satu ruang dengan model 5 ruang. Kelengkungan rata rata dihitung dengan membagi sudut rotasi relatif antara penampang kedua ujung dengan panjang keseluruhan ditemukan bahwa model 5 ruang memberikan ultimate strength sedikit lebih besar daripada model 1 ruang. Hal ini dikarenakan pengaruh perputaran sumbu netral pada bagian yang rusak teralihkan karena adanya bagian yang utuh. Pengurangan rotasi sumbu netral ternyata lebih kecil dari yang di tentukan IACS. Ditemukan juga kapasitas momen lentur di luar ultimate strength model 5 ruang menurun lebih cepat dari pada 1 ruang karena lokalisasi deformasi plastis pada penampang rusak dan pembongkaran secara simultan di bagian model lainnya. Runtuhnya kapal terjadi secara tiba tiba dari yang diperkirakan oleh hubungan momen lentur-kelengkungan penampang seperti yang di peroleh hullst. Champanile et al (2018), Model kerusakan tabrakan terbagi menjadi dua, yaitu model kerusakan tabrakan IACS untuk kapal tanker minyak dan kapal curah dimana kekuatan sisa gelagar lambung didasarkan pada dimensi kerusakan. Selanjutnya yaitu model kerusakan tabrakan GOALDS/IMO yang memberikan dalam bentuk grafik. Pada batas formulasi bagian, dijelaskan fungsi batas untuk gelagar lambung yang digambarkan pada sebuah persamaan. Sifat satatik kekuatan sisa gelagar lambung terutama tergantung pada model kerusakan tabrakan yang diterapkan secara langsung ditentukan oleh simulasi Monte Carlo. Pada kekuatan sisa gelagar lambung kapal, menurut model keandalan untuk kapal tanker minyak dan kapal curah, kekuatan sisa gelagar lambung mengikuti distribusi lognormal. Pada momen lentur gelombang vertical, menurut model keandalan IACS, jangka Panjang momen lentur gelombang vertical dalam kondisi kerusakan sedang ditentukan berdasarkan Distribusi Weibull. Kapal tanker minyak lambung ganda dan kapal curah sisi tunggal diukur untuk pertama kalinya oleh ISSC(2000). Dalam hal ini disimpulkan bahwa kekuatan sisa gelagar lambung ditentukan oleh Incremental-Iterative yang dimodifikasi metode untuk memperhitungkan rotasi sumbu bagian asimetri setelah peristiwa tabrakan. Analisis komparatif antara model IACS dan Monte Carlo untuk menyelidiki insiden rata-rata kekuatan luluh material nilai sifat static kekuatan sisa gelagat lambung. Berdasarkan hasil saat ini, kekuatan sisa kendur mengikuti distribusi lognormal, dengan nilai rata-rata dan standar deviasi jika model kerusakan tabrakan IACS adalah terapan. Mengenai static database GOALDS, bimodality sangat jelas parameter kekuatan sisa gelagat lambung sagging/hogging. Kemungkinan kegagalan kapal tanker minyak dan kapal curah ISSC, berdasarkan hasil saat ini kerusakan akibat tabrakan IACS dan IMO model mengarah ke nilai yang sebanding dari probabilitas kegagalan sagging. Ming Zhang et al (2018), Dalam model numerik sekarang, sambungan las diperhitungkan dengan menambahkan ketebalan pelat ke persimpangan pengaku pelat. Bagaimana ketebalan yang ditambahkan mempengaruhi hasil simulasi dievaluasi di bagian ini. Dalam simulasi spesimen, kurangnya definisi untuk elemen las menghasilkan banyak perbedaan dalam gaya resistansi selama proses indentasi. Perbedaan ini terutama terjadi karena pemodelan lapisan las dapat memberikan kendala rotasi dalam proses deformasi. Sangat penting untuk menentukan kriteria kegagalan untuk memprediksi pecahnya struktur kapal dalam simulasi numerik tabrakan dan landasan. Kriteria kegagalan yang umum digunakan untuk memprediksi pecahnya struktur laut dalam kecelakaan tabrakan adalah kriteria EPS, kriteria GL, kriteria RTCL dan kriteria BWH, sebagaimana ditinjau dalam studi Benchmark 'terbaru'. Pelat baja yang digunakan dalam konstruksi kapal dapat mengalami necking lokal, yang membuat simulasi numerik menjadi sulit. Sejumlah hubungan material plastis dapat diterapkan dalam simulasi deformasi besar terhadap rekahan struktur pada kecelakaan tabrakan, seperti yang

tercantum dalam pendahuluan. Perbedaan hubungan tegangan-regangan pada regangan besar dapat menyebabkan perbedaan yang luas untuk hasil perhitungan. Kurva respon yang diskalakan dari model skala kecil sesuai dengan yang disimulasikan dengan model skala penuh. Ini menggambarkan bahwa hasil model skala kecil dapat diekstrapolasi menjadi prototipe skala penuh sesuai dengan hukum penskalaan dasar. Namun, kurva yang sesuai menunjukkan bahwa prediksi numerik tahanan perambatan retak juga sesuai dengan hukum penskalaan, yang telah terbukti tidak benar. Selain itu, telah dinyatakan bahwa hambatan dalam proses robekan tidak diprediksi dengan baik pada simulasi numerik saat ini. Oleh karena itu perilaku robekan di luar bidang pada pelat samping kapal termasuk teknik simulasi yang tepat dan hukum penskalaan harus dipelajari lebih lanjut. Guia et al (2018), Tingkat keamanan target gelagar lambung kapal yang optimal dinilai dengan melakukan analisis biaya (CBA). Tujuannya adalah untuk menetapkan tingkat keamanan struktural yang optimal untuk kapal tanket Suezmax dengan mempertimbangkan RCO perubahan jumlah deck. Formulasi keandalan hull girder dimana probabilitas kegagalan gelagar lambung dihitung menggunakan Metode Keandalan Orde Pertama. Evaluasi keakuan struktur kapal dilakukan dengan menggunakan analisis metode keruntuhan incremental-iterative yang diusulkan oleh IACS Common Structural Rules (CSR). Model stochastic digunakan untuk menggambarkan beban air yang masih diinduksi. Biaya yang diharapkan dari kegagalan kapal dievaluasi dengan mempertimbangkan biaya yang terkait dengan material, manusia, dan lingkungan akibat kerusakan kegagalan gelagar lambung. Indikator dan kriteria untuk menilai efektivitas biaya RCO telah dikembangkan dan secara resmi diterima oleh FSA IMO. Indikator CAF (Cost of Advertising a Fatality), yaitu CAF Bruto (GCAF) dan CAF Bersih (NCAF), digunakan untuk menggambarkan efektivitas biaya RCO. NCAF dihitung berdasarkan PDB per kapita dan harapan hidup. Analisis regresi data biaya tumpahan minyak yang disediakan oleh IOPCF dan mengusulkan fungsi non-linear dari total biaya tumpahan per volume tumpahan. Rumus yang ditetapkan oleh IMO diperoleh dari analisis regresi titik data dari database berisi laporan dari tiga sumber. Muis Alie et al (2019), Pada pokok pembahasan penulis memaparkan analisis elemen local dan kekuatan gelagar lambung Ro-Ro telah dianalisis menggunakan metode elemen hingga (FEM), Bersama dengan perilaku elemen local seperti bentuk deformasi, distribusi tegangan dan hubungan momen-kelengkungan dalam kondisi kendur. Dalam penelitian ini, respon elemen local dianalisis pada bagian bawah, di dalam area mobil, penumpang dan dek atas. Muis Alie et al (2018), Dalam studi ini hanya distribusi tegangan dari kerusakan besar yang digunakan untuk kapal curah dan kapal tanker untuk menyelidiki perilaku struktural akibat kerusakan landasan dalam kondisi hogging dan sagging, untuk kapal cargo tekuk terjadi di bagian bawah terlebih dahulu dan menyebar ke sisi yang tidak rusak. Kemudian, pelepasan terjadi di geladak sisi yang tidak rusak, dan momen tekuk akhir tercapai. Untuk kapal tanker elemen yang awalnya runtuh terjadi baik di area dasar maupun dek. Tekuk terjadi di sekitar area yang rusak dan menyebar ke bagian yang tidak rusak. Pada saat yang sama, tegangan muncul di area geladak, dan momen tekukan akhir tercapai. Pada kondisi sagging, bucking terjadi di area geladak terlebih dahulu dan menyebar ke sisi yang tidak rusak akibat berkurangnya daya dukung beban geladak, dan tercapai momen tekuk ultimit. Kekakuan lentur untuk kapal cargo dan tanker berkurang karena hilangnya kekakuan elemen di bagian bawah. Diobservasi juga bahwa kerusakan terletak di tengah bagian bawah, pengaruhnya tidak signifikan dibandingkan kerusakan asimetris kecil dan besar. Diketahui lagi bahwa kekuatan penumpang lambung berkurang secara signifikan karena luas kerusakan horizontal baik untuk kapal cargo maupun kapal tanker, terutama di bawah kondisi hogging. Muis Alie et al (2020), Kekuatan batas diperoleh dengan metode numerik disajikan dalam bentuk distribusi stres dan hubungan momen-kelengkungan di bawah utuh dan kondisi kerusakan yang ditandai dengan *hogging* dan *sagging*. *Under Hogging*, dek mengalami ketegangan, dan bagian bawah dikompresi, sebagaimana masing-masing ditandai dengan warna merah dan biru. *Under Sagging*, tegangan terjadi di bagian bawah, dan kompresi di bagian geladak. Untuk kasus utuh, distribusi tegangan seragam didistribusikan di sepanjang geladak dan bagian bawah. Terjadi benturan antara kapal FPSO dan kapal lain mungkin, dan konsekuensi dari tabrakan tersebut bisa jadi berat. Kelayakan struktur samping FPSO harus diperhatikan pada tahap awal structural rancangan. Metode analitis diusulkan dengan cepat memprediksi respons struktur samping FPSO terhadap tabrakan dengan kapal dengan busur bulat kaku. Itu Metode ini cocok untuk digunakan pada tahap awal desain struktural karena didasarkan pada serangkaian rumus bentuk dekat yang diturunkan menggunakan analitik yang disederhanakan metode. Apalagi metode analisis seperti itu hanya membutuhkan beberapa parameter untuk perhitungan. Muis Alie (2018), Pada pokok pembahasan penulis menerangkan bahwa Dalam kondisi sagging, diketahui dengan baik bahwa kekuatan gelagar lambung pamungkas hampir tercapai ketika anggota geladak utama dalam kompresi longitudinal mencapai kekuatan pamungkasnya. Karena kerusakan terjadi pada posisi asimetris, yaitu kerusakan akibat tumbukan di tempatkan pada shell samping hingga ke bagian geladak (B/16) dan tidak ada kerusakan yang terletak di bagian bawah, maka penting untuk menyelidiki bagian kritis dalam kondisi sagging. Hasil yang diperoleh dengan analisis keruntuhan progresif dalam kondisi kendur untuk kerusakan 20% dan 70%. Kasus 1 menganggap rotasi sumbu netral dan Kasus 2 tidak. Hasil momen lentur versus kelengkungan diplot. Kasus 2 umumnya memberikan kekuatan ultimit yang lebih tinggi

daripada Kasus 1 karena kelengkungan horizontal dibatasi. Kekuatan ultimate hull girder dicapai bahkan ketika kelengkungan horizontal dibatasi karena momen lentur horizontal yang disebabkan oleh persamaan inkremental untuk momen tekuk horizontal dan vertikal, menyebabkan kekuatan Ultimate Hull Girder meningkat. Penulis menerangkan pada paragraf terakhir dalam kasus kapal tanker lambung ganda, lokasi L1 memberikan perkiraan kekuatan sisa yang lebih baik daripada L2. Hal ini juga konsisten dengan perilaku kegagalan T2 di mana kekuatan ultimate diperoleh ketika bagian dek hampir gagal seluruhnya. Ming Cai Xu (2017), Dalam analisis dinamis eksplisit, paket perangkat lunak FE LS-DYNA diadopsi untuk mengevaluasi kekuatan akhir gelagar lambung untuk kapal tanker minyak Suezmax dan Reckling No. 23 di bawah beban sagging, yang mewakili model skala penuh dan kecil untuk pertimbangkan efek ukuran model yang berbeda. Dalam analisis dinamis eksplisit, beberapa konfigurasi dirancang untuk menyelidiki pengaruh berbagai aspek pada perilaku runtuhnya gelagar lambung, termasuk metode pemuatan, waktu pemuatan, rentang geometris, kondisi batas dan jenis elemen model FE. Selama proses pembebanan, momen lentur vertikal hull girder bertambah secara bertahap hingga momen tekuk mencapai nilai ultimit, kemudian berkurang secara bertahap. Sebagai perbandingan, dua metode tambahan termasuk analisis statik implisit dan Metode Iteratif-Inkremental (Metode Smith) juga diadopsi untuk menghitung kekuatan ultimat dari dua gelagar lambung. Model tiga bentang dengan hanya elemen shell diadopsi dalam analisis statik dinamis dan implisit eksplisit. Vu Van (2018), Ketika tegangan leleh dan tegangan ultimat diperoleh, tegangan elastis akan dihitung melalui distribusi tegangan. Bersamaan dengan itu, jarak dari garis dasar kapal ke garis horizontal posisi sumbu netral penampang pada keadaan batas akhir (gu). Batas Kekuatan elemen pelat di bawah kompresi biaksial ( $\sigma_x U$ ) diperoleh dengan rumus empiris yang bergantung pada rasio panjang pelat (a) dan lebar pelat (b). Ekspresi ini digunakan untuk plat dengan tingkat ketidaksempurnaan awal rata-rata. Kekuatan batas tekan ( $\sigma_x U$ ) elemen kombinasi plat penegar kombinasi dihitung dengan rumus Perry-Robertson. Ketidaksempurnaan awal pada struktur baja dikategorikan menjadi enam berbagai jenis yang merupakan konsekuensi pengelasan dan tidak terpengaruh tindakan fabrikasi. Beberapa model korosi dibuat untuk memprediksi korosi keausan dan proses korosi, dan mereka dapat diklasifikasikan menjadi dua utama kategori. Kategori pertama mencakup semua model yang tidak termasuk waktu pelapisan kehidupan dalam asumsi mereka. Ini berarti korosi muncul segera setelah kapal mulai beroperasi. Kategori kedua termasuk semua model lainnya. Satu ide utama diasumsikan oleh ini model korosi adalah bahwa semua sistem perlindungan lapisan tetap efektif selama waktu hidup pelapisan. Oleh karena itu, tidak ada korosi yang dapat terjadi periode ini. Setelah itu, korosi pada permukaan baja bisa saja muncul segera atau ikuti waktu transisi sebelum muncul.

## METODOLOGI

Muis Alie (2016), analisa keruntuhan progresif penumpu lambung kapal dilakukan menggunakan elemen hingga dengan metode smith diterapkan untuk perhitungan hubungan tegangan-regangan aksial aksial. Prosedur yang dilakukan sebagai berikut a). Penampang penumpu lambung kapal diidealkan oleh elemen balok; b). Mengikuti metode Smith, penampang setiap elemen balok dibagi menjadi pelat dan pelat kaku c). Matriks kekakuan elastis dari elemen balok dihitung menggunakan Persamaan stiffness equation d). Analisis keruntuhan progresif dilakukan dengan menerapkan gaya atau kelengkungan yang ditentukan pada simpul balok Champanile et al (2018), analisis kekuatan sisa gelagar lambung yang dianalisis menggunakan simulasi Monte Carlo. Artikel ini juga menyelidiki insiden korosi pada static kekuatan sisa propertical dan keandalan Hull Girder dimana sebuah tabrakan diselidiki dengan berfokus pada toga lambung pada kondisi korosi girder yaitu, bruto scantling, scantling hull girder net dan jaringan local scantling. Ming Zhang et al (2018), Studi eksperimental dan simulasi elemen hingga pada struktur sisi lambung ganda skala quasi-statis yang dilubangi pada bentang tengah oleh indenters kerucut dan ujung pisau untuk memeriksa perilaku fraktur dan mekanisme disipasi energi. Guia et al (2018), Metode keandalan struktur yang telah diterapkan secara konsisten dalam beberapa decade terakhir untuk menilai keamanan struktur kapal dan komponen structural. Muis Alie et al (2019), Metode analisis yang digunakan untuk analisis elemen local dan keruntuhan progresifnya menggunakan Metode Elemen Hingga (FEM) digunakan untuk mengevaluasi kekuatan ultimate, termasuk perilaku kapal RO-RO pada kondisi hogging/sagging dan Metode Smith. Muis Alie et al (2018), Analisis keruntuhan progresif penumpu lambung dengan kerusakan grounding dilakukan menggunakan Metode Smith. Sebuah kapal cargo dan kapal tanker digunakan sebagai objek analisis. Muis Alie et al (2020), Kekuatan akhir kapal FPSO dianalisis menggunakan solusi numerik. Metode FE nonlinier adalah diterapkan pada kalkulasi, yang mencakup perilaku kapal FPSO dalam kondisi hogging dan kendur. Karenanya, dimensi FPSO dihadirkan. Panjangnya, lebar, dan kedalaman kapal adalah 256,5, 70,2, dan 20,7 m, masing-masing. Analisis kekuatan



pamungkas dilakukan dengan pertimbangan tiga syarat: kondisi utuh, 10% kerusakan tabrakan, dan 60% kerusakan tabrakan. Muis Alie (2018), Metode yang digunakan adalah analisis dengan menggunakan pendekatan elemen hingga. Dalam penelitian ini menggunakan metode studi kasus, metode teori dasar, dan metode historis. Sehingga dalam penelitian ini dapat dicapai tujuan dari penelitian itu sendiri. Ming Cai Xu (2017), Metode yang digunakan adalah Analisis elemen hingga nonlinier (FE) meliputi analisis statis implisit dan analisis dinamis eksplisit. Dalam penelitian ini menggunakan metode studi kasus, metode teori dasar, dan metode historis. Sehingga dalam penelitian ini dapat dicapai tujuan dari penelitian itu sendiri. Vu Van (2018). Untuk melakukan tugas ini, metode yang disederhanakan digunakan dan dimodifikasi menjadi ketidaksempurnaan awal dan pemborosan korosi. Selain itu, pertimbangan desain dan konstruksi kapal curah juga dibahas.

## KESIMPULAN

Muis Alie (2016), Perilaku runtuh progresif yang diperoleh oleh Beam-HULLST menggunakan satu elemen balok hampir sama dengan hasil HULLST untuk penampang melintang Pengaruh putaran sumbu netral pada penampang rusak asimetris berkurang dengan adanya bagian utuh yang berdekatan. Tingkat pengurangan kekuatan penumpu lambung sisa harus lebih kecil dari yang ditemukan dalam analisis untuk penampang melintang. Lokalisasi deformasi plastis pada bagian yang rusak dan pembongkaran secara simultan pada bagian sisa penumpu lambung memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perilaku pasca ultimate strength. Beam-HULLST yang dapat menangani efek ini efektif untuk penilaian resiko gelagar lambung yang rusak dalam kondisi rusak. Champanile et al (2018), Pada kesimpulan penelitian penulis, Analisis komparatif antara deterministik dan stokastik model kerusakan tabrakan telah dilakukan oleh Monte Carlo simulasi, untuk menyelidiki kejadian keacakan karena kedalaman dan ketinggian penetrasi tabrakan pada Hull Girder sifat statistik kekuatan sisa gings / hogging dan keandalan kemampuan. Dalam hal ini, model tumbukan deterministik disediakan dalam "Aturan Struktural Umum yang Diselaraskan untuk Kapal Tanker Minyak dan Pengangkut Curah " diterapkan dan dibandingkan dengan dua model probabilistik. Yang pertama adalah diperoleh dari statistik database GOALDS yang baru-baru ini dikembangkan untuk peristiwa tabrakan dan landasan yang terakhir adalah sebenarnya diwujudkan oleh MEPC 110 (49) Resolusi , memberikan pedoman untuk desain alternatif kapal tanker minyak, berdasarkan analisis komparatif arus keluar kapal perfor- mances dengan nilai yang relevan dari referensi kapal lambung ganda, mematuhi Peraturan 13 (F) dari Marpol 73/78. Hull Girder kekuatan sisa telah diperkirakan dengan penambahan yang dimodifikasi metode iteratif, untuk memperhitungkan rotasi sumbu netral, karena asimetri penampang setelah peristiwa tabrakan. Statistik sifat kekuatan sisa gelagar lambung telah dinilai atas dasar pendekatan scantling bersih menghitung keacakan kekuatan luluh dari semua struktur. Ming Zhang et al (2018), Berdasarkan hukum penskalaan dasar, simulasi numerik dari pengujian spesimen berskala dapat memberikan referensi yang baik tentang perilaku runtuh untuk struktur skala penuh. Dan hasil model skala kecil dapat diekstrapolasi menjadi prototipe skala penuh, kecuali hambatan dalam proses perambatan retak, yang harus diteliti lebih lanjut tentang hukum penskalaannya. Guia et al (2018), Kerangka terintegrasi ini telah diusulkan sebelumnya dan dapat memberikan dasar untuk mendukung berbasis risiko dan keandalan di masa depan desain konsep struktur kapal baru dan pendekatan rasional untuk memperoleh dan membenarkan target tingkat keandalan struktural kalibrasi kode berbasis keandalan. Makalah ini telah memberikan kontribusi dengan analisis rinci dari beberapa parameter model biaya-manfaat, dengan menghitungnya ketidakpastian dan dengan analisis ketidakpastian dan sensitivitas yang memberikan informasi tentang bagaimana ketidakpastian menyebar melalui model dan parameter model yang paling berkontribusi terhadap ketidakpastian total pada tingkat keselamatan gelagar lambung target optimal di Kapal tanker Suezmax dalam skenario operasional yang berbeda. Secara khusus, ketidakpastian biaya yang terkait dengan hilangnya nyawa manusia dan tumpahan minyak yang tidak disengaja dicirikan dan dijadikan model yang secara eksplisit memperhitungkan biaya tenaga kerja dan material saat mengevaluasi biaya pengubahan ukuran kapal untuk mencapai tingkat keselamatan gelagar lambung target tertentu diusulkan. Muis Alie et al (2019), Analisis elemen lokal dan kekuatan pamungkas kapal Ro-Ro, termasuk mereka keruntuhan progresif, telah dibuat menggunakan metode Smith yang diimplementasikan ke dalam perusahaan program, dan hasilnya dibandingkan dengan solusi numerik untuk tujuan perbandingan. Itu Penyelidikan terhadap unsur lokal dianggap utuh dalam kondisi memonopoli dan kendur. Di Singkatnya, kesimpulannya adalah bahwa deformasi elemen lokal di geladak dan bawah bagian menunjukkan bahwa konsentrasi tegangan muncul di wilayah itu. Perbandingan momen- Hubungan kelengkungan untuk penampang kapal Ro-Ro identik dengan numerik solusi diperoleh dengan analisis elemen hingga nonlinier. Deformasi tidak signifikan pada penumpang atau dek mobil, karena kapal Ro-Ro memiliki beberapa dek pada penampang. Muis Alie et al (2018), Analisis kekuatan penumpu lambung kapal cargo dan kapal



tanker dengan kerusakan grounding dilakukan dengan menggunakan program in-house berdasarkan Metode Smith. Untuk kasus kerusakan grounding yang terletak di tengah bagian bawah, kekuatan penumpu lambung tidak significant, terutama jika dibandingkan dengan kerusakan kecil asimetris dalam kondisi sagging dan hogging. Muis Alie et al (2020), Kekuatan batas kapal FPSO dalam kondisi utuh, kerusakan tabrakan 10%, dan tabrakan 60% kerusakan mengingat kondisi hogging dan sagging itu ditentukan menggunakan solusi numerik yang diusulkan. Kesimpulan berikut bisa ditarik. Penyebaran tegangan menyebar dari bagian yang rusak hingga bagian utuh. Efek kerusakan tabrakan pada kekuatan batas kapal FPSO signifikan karena hilangnya kekakuan elemen di area yang rusak. Muis Alie (2018), Analisis keruntuhan progresif dilakukan pada dua kapal curah lambung tunggal dan kapal tanker minyak lambung ganda dengan penampang rusak asimetris. Perbandingan dengan hasil yang diperoleh dari analisis keruntuhan progresif bahwa kekuatan gelagar lambung sisa kapal yang rusak secara asimetris di bawah momen lentur kendur dapat diprediksi dengan rumus yang diusulkan dengan akurasi yang wajar. Kekuatan ultimate yang diperoleh dengan kelengkungan horizontal dibatasi lebih besar dari pada tanpa kendala. Efek dari rotasi sumbu netral adalah yang terbesar untuk kapal curah lambung tunggal dan hampir dapat diabaikan untuk kapal tanker minyak lambung ganda. Perbedaan karakteristik untuk dua kapal curah lambung tunggal mungkin terkait dengan rasio kedalaman-ke-luas, scantling anggota, dan lain-lain. Berdasarkan hasil analisis keruntuhan progresif kapal tanker minyak lambung ganda, pengaruh perputaran sumbu netral terhadap kekuatan tekuk longitudinal ultimate adalah kecil jika hanya kulit luar yang rusak. Ming Cai Xu (2017), Metode momen yang diterapkan pada ujung gelagar lambung mungkin melebih-lebihkan kekuatan longitudinal akhir. Mungkin lebih tepat untuk menggunakan metode sudut rotasi yang dipaksakan untuk memodelkan beban eksternal yang disebabkan oleh air diam dan momen lentur gelombang, yang memberikan tingkat sudut rotasi konstan dan lebih mirip dengan proses pembebanan aktual dari keruntuhan progresif kapal yang berlayar di bawah kondisi laut yang parah. Karena ketika waktu pembebanan dinilai oleh periode gelombang yang sebenarnya digunakan dalam analisis dinamis eksplisit, waktu penyelesaian mungkin sangat lama, dan waktu pemuatan yang terlalu singkat dapat menyebabkan hasil perkiraan yang terlalu tinggi karena efek inersia. Oleh karena itu, waktu pemuatan yang tepat dengan mempertimbangkan keseimbangan antara akurasi dan waktu penyelesaian yang dapat diterima harus dipilih dalam analisis dinamis eksplisit, yang disarankan sebagai 0,25 detik untuk gelagar lambung skala penuh sesuai dengan simulasi yang dipertimbangkan. Vu Van (2018), Pada kesimpulan penelitian penulis, Ketidaktepatan awal termasuk distorsi awal dan sisa tekanan, diperhitungkan untuk menentukan UBM. Tabel 4 dan Gambar 8 menunjukkan perubahan UBM untuk kondisi hogging dan sagging di bawah tiga tingkat ketidaktepatan awal yang berbeda yaitu sedikit, sedang, dan parah. Pengaruh ketidaktepatan awal dengan pemborosan korosi pada lambung kapal kekuatan gelagar dari kapal curah terpilih dilakukan.

## REFERENSI

- Champanile et al. 2018. Comparative analysis among deterministic and stochastic collision damage models for oil tanker and bulk carrier reliability. Elsevier.
- Guia et al. 2018. Probabilistic Modelling of the Hull Girder Target Safety Level of Tankers. Elsevier.
- Ming Zhang et al. 2018. Experimental and numerical investigation of the responses of scaled tanker side double-hull structures laterally punched by conical and knife edge indenters. Elsevier.
- Ming Cai Xu et al. 2017. Study on influence of nonlinear finite element method models on ultimate bending moment for hull girder. Elsevier.
- Muis Alie et al. 2019. Progressive Collapse Analysis Of The Local Elements and Ultimate Strength OF a Ro-Ro Ship. International Jurnal of Technology.
- Muis Alie. 2016. Residual Strength Analysis of Asymmetrically Damaged Ship Hull Girder using Beam Finite Element Method. Makara J. Technology.
- Muis Alie et al. 2018. Investigation of Ship Hull Girder Strength with Grounding Damage. Makara J. Technology.
- Muis Alie et al. 2020. Effects of Collision Damage on the Ultimate Strength of FPSO Vessels. Makara J. Technology.
- Muis Alie 2018. Simplified Approach on the Ultimate Hull Girder Strength of Asymmetrically Damaged Ships. International Journal of Offshore and Polar Engineering.
- Vu Van et al. 2018. Effect of uncertain factors on the hull girder ultimate vertical bending moment of bulk carriers. Elsevier.

