



REVIEW ANALISIS PENGUATAN STRUKTURAL PELABUHAN DAN INTERAKSI SHIPHULL MENURUT FLUID DRAG FORCES (MENGUNAKAN METODE CFD) SELAMA MASA PAKAI PELABUHAN YANG DIHARAPKAN

* Muhammad Rakin Firas, Mohammed Hussein Ba Naga, dan Fuad Mahfud Assidiq
Departemen Teknik Kelautan Universitas Hasanuddin
*abual.njmhb3@gmail.com

Abstrak

Kompleksitas dinamika pelabuhan sesuai dengan struktur mekanis membuat pemahaman tentang penguatan struktur pelabuhan sangat bervariasi. Bahkan, dalam makalah analisis ini, kami akan berharap dapat memberikan tinjauan ringkas tentang pengamatan, teori, dan hasil model pada beberapa beban signifikan akibat gaya seret fluida baik gaya hidro dan aerodinamika yang disebabkan oleh lambung kapal ke dalam struktur pelabuhan (*quay wall*). Beban ini adalah varian dan dapat diklasifikasikan dalam makalah kami sebagai hambatan yang disebabkan oleh beban angin selama tambatan kapal, rotasi kapal di area belok serta hambatan yang disebabkan oleh kapal yang lewat di kapal yang ditambatkan. Dengan kata lain, Tambatan kapal sangat penting untuk pelabuhan dan terminal, yang bekerja dengan kapal besar dan kapal dengan area permukaan angin besar yang akibatnya menciptakan gaya hidrodinamik dan aerodinamis yang tinggi pada sistem tambatan dinding kapal dan dermaga. Selanjutnya, kami menerapkan alat CFD. Tujuan penggunaan CFD dalam penelitian ini adalah untuk menentukan hambatan fluida dan memvalidasi akurasi dengan membandingkan hasil dengan data eksperimen. CFD menawarkan keunggulan seperti fleksibilitas dalam desain dan visualisasi hasil yang komprehensif. Ini juga hemat biaya dan efisien dibandingkan dengan metode eksperimental tradisional.

Kata Kunci dinding dermaga, gaya angin, CFD, interaksi kapal hidrodinamik

Abstract

The complexity of the port's dynamics according to mechanical structure makes understanding the strengthening of port structure widely variable. In fact, in this analysis paper, we will look forward to providing a concise review of observations, theory, and model results on some significant loads due to fluid drag forces whether hydro and aerodynamics forces that are caused by ship hulls into the harbor structure (quay wall). These loads are variant and can be classified in our paper as the drag caused by wind loads during ship mooring, ship rotation in the turning area as well as the drag caused by passing vessels on moored vessels. In other words, Ship mooring is very important for ports and terminals, which work with mega ships and ships with big wind surface areas which as a result create high hydrodynamic and aerodynamic forces on ship and quay wall mooring systems. Furthermore, we applied the CFD tool. The purpose of using CFD in this study is to determine fluid resistance and validate its accuracy by comparing results with experimental data. CFD offers advantages such as flexibility in design and comprehensive visualization of results. It is also cost-effective and efficient compared to traditional experimental methods.

Keyword: quay wall, wind force, CFD, hydrodynamic ship interaction.

1. PENDAHULUAN



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Meskipun sebagian besar waktu semua kapal laut beroperasi dalam kondisi isolasi hidrodinamik yaitu di perairan yang relatif dalam dan pada jarak yang cukup jauh dari objek lain, situasi nyaman ini tidak dapat disimpan secara permanen: Ketika sebuah kapal mendekati dan memasuki pelabuhan dan terutama selama prosedur berlabuh/tidak berlabuh, kekuatan dan momen tambahan yang disebabkan oleh interaksi hidrodinamik mungkin menjadi sangat signifikan dan dapat mempengaruhi gerakan kapal dan responnya terhadap kontrol tindakan serta *strengthening* struktural pelabuhan.

Dengan pesatnya perkembangan industri perkapalan, banyak kapal besar seperti kapal tanker minyak besar, pengangkut bijih yang sangat besar, kapal kontainer, dan lain-lain telah dibangun saat ini. Selain. Operasi manuver kapal- kapal besar ini di jalur air terbatas seperti pelabuhan cenderung lebih sulit, dan masalah navigasi dan strukturnya menjadi semakin penting dan krusial. Sebagai hasil dari gaya interaksi hidrodinamik dan beban yang bekerja pada struktur pelabuhan (dinding dermaga) bisa agak rumit, karena ukuran interval simulasi beban lebih luas dibandingkan dengan area cekungan, Gaya interaksi ini di satu sisi dapat mempengaruhi penentuan konfigurasi beban total di sepanjang struktur pelabuhan.

Dalam beberapa tahun terakhir, terdapat peningkatan dalam studi numerik tentang interaksi hidrodinamika kapal, bukan hanya karena perkembangan teknologi perangkat keras yang memudahkan penggunaan simulasi komputer, tetapi juga karena implementasi tes yang sebenarnya sangat mahal dan memakan waktu, serta metode numerik dapat memberikan wawasan pada skenario yang tidak dapat disimulasikan secara eksperimental. Selain itu, model interaksi yang dapat disebut teoretis semuanya didasarkan pada model fluida sempurna dan menggunakan metode yang lebih efisien daripada metode lapangan. Ini dapat menjadi metode potensial murni yang didasarkan pada hipotesis bahwa beban interaksi terutama *inersial*.

Namun, meskipun telah terjadi kemajuan pesat dalam pemahaman penguatan struktural pelabuhan, banyak penelitian masih didasarkan pada eksperimen karena biasanya menghasilkan hasil yang dapat diandalkan dan realistis. Selain itu, efek interaksi antara struktur ini harus diestimasi dengan wajar untuk operasi penyelesaian yang efisien dan aman. Oleh karena itu, kami berharap untuk menyediakan ulasan model ringkas dari beberapa makalah terbaru yang menunjukkan potensi untuk banyak beban seperti angin musiman dan non-musiman di sekitar kolam pelabuhan dan beban yang menyebabkan hambatan karena massa tambahan air akibat gerakan kapal menggunakan metode yang sudah dikenal dalam simulasi interaksi hidrodinamika yang disebut dinamika fluida komputasi (CFD). Selain itu, aplikasi CFD semakin luas digunakan dalam beberapa bidang, termasuk memahami efek beban pada struktur laut. Analisis CFD memiliki banyak keuntungan dibandingkan dengan hasil analisis, keuntungan ini dapat dirangkum sebagai fleksibilitas dalam desain model, durasi analisis, dan visualisasi hasil yang komprehensif hanya beberapa keuntungan dari CFD. Namun, hasil metode ini sangat tergantung pada *mesh* yang diadopsi dan penggunaan *input* yang tepat ke dalam perangkat lunak seperti kondisi batas, model turbulensi, dan langkah waktu.

2. ANALISIS KASUS DAN SKENARIO

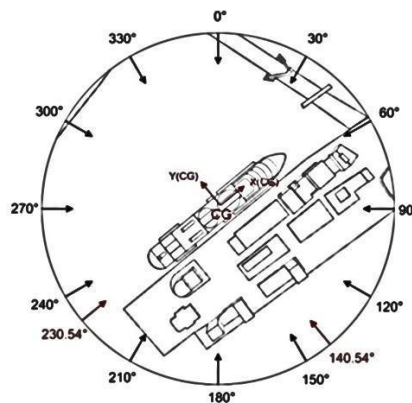
Tambatan kapal yang aman ke dinding tempat berlabuh dalam semua situasi praktis dijamin oleh sistem tempat berlabuh dan dinding tempat berlabuh, yang tunduk pada peraturan untuk menjaga keamanan struktur pelabuhan. Namun, terkadang peralatan tambatan dinding dermaga mungkin tidak cukup kuat karena berbagai faktor internal dan eksternal, termasuk faktor hidrometeorologi. Dengan demikian, kami telah mengklasifikasikan ulasan analitis kami menjadi dua kategori berdasarkan jenis beban yang mempengaruhi kasus penelitian:

- Kasus 1 - Hambatan yang Disebabkan oleh Beban Angin Saat Berlabuh

Sebagian besar pelabuhan maritim terletak di lingkungan yang kompleks secara aerodinamis dengan perubahan spasial yang signifikan dalam panjang kekasaran aerodinamis. Pemuatan angin pada kapal merupakan faktor penting dalam kemampuan manuvernya, dan beberapa metode telah digunakan untuk mempelajarinya sejak lama. Angin dapat bervariasi secara tidak menentu baik dalam kecepatan maupun arah, mengganggu kemampuan manuver kapal, terutama pada kecepatan rendah, seperti saat mendekati dermaga. Dalam studi ini, kami mengkaji hambatan yang disebabkan oleh beban angin, dengan mempertimbangkan arah angin referensi (φ), pusat gravitasi kapal (CG), dan posisi tambat - seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 (A. Ricci, 2020). Selain itu, beberapa alat, termasuk terowongan angin (WT) dan dinamika fluida komputasi (CFD), dapat digunakan untuk menentukan total gaya konfigurasi akibat angin di atas dinding dermaga. Koordinat tertambat yang digunakan



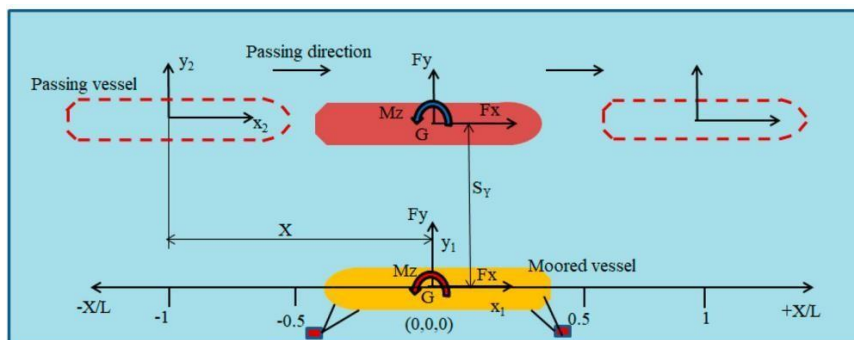
dalam analisis ini berbeda dari sistem koordinat terowongan angin (domain CFD yang digunakan), seperti yang akan dijelaskan nanti.



Gambar 1. Indikasi arah angin referensi (φ) dan pusat gravitasi (CG) kapal. (A. Ricci, 2020)

- Kasus 2 - Hambatan Yang Disebabkan Oleh Kapal Yang Lewat Di Kapal Yang Ditambatkan

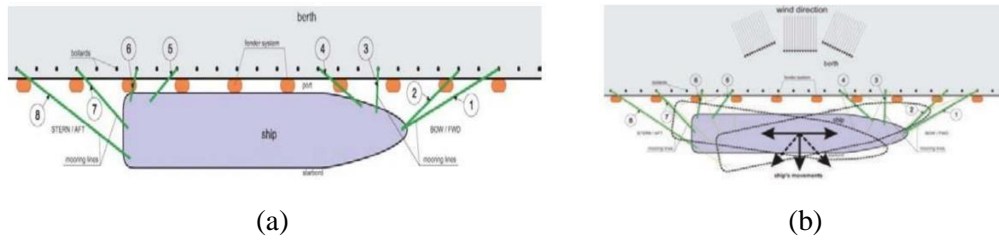
Aliran air di sekitar kapal yang lewat di dekat kapal yang ditambatkan dapat menyebabkan gradien tekanan, menghasilkan gaya dan momen yang signifikan pada kapal yang ditambatkan - seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Gaya-gaya ini dapat menyebabkan kapal yang ditambatkan bergerak secara longitudinal, lateral, dan secara rotasi dengan memaksakan gaya pada *mooring line*. Besarnya gaya ini bisa sangat tinggi, apalagi jika kapal yang melintas berukuran besar. Kegagalan sistem tambat karena pengaruh kapal yang lewat dapat menjadi signifikan, berpotensi menyebabkan kerusakan pada lengan muat jika kapal yang ditambatkan tiba-tiba dilepaskan. Masalah ini harus ditanggapi dengan serius di seluruh dunia karena kemacetan di pelabuhan. Oleh karena itu, sangat penting untuk mempertimbangkan efek dari kapal yang lewat saat merancang tali tambat, karena kerusakan harta benda dan nyawa manusia meningkat secara signifikan tergantung pada jenis muatan dan ukuran kapal yang lewat.



Gambar 2. Simulasi sederhana dari kasus studi dan definisi istilah untuk kapal yang lewat dan kapal yang ditambatkan.

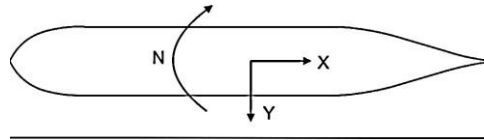
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagai konsekuensi dari pengaruh eksternal: hembusan angin, dampak angin miring, inersia, arus, beban gelombang, kapal akan melonjak, bergoyang, *heave*, *pitch*, *roll* dan *yaw*. Pembatasan garis tambat, bollard dan sistem *fender* akan menciptakan penambahan beban konstan (beban aerodinamis, hidrodinamik, dan inersia berkala), Gambar 3. Selain itu, keselamatan kapal yang ditambatkan ke dinding dermaga pelabuhan dan kondisi yang disebutkan di atas harus dievaluasi menggunakan metodologi teoritis dan eksperimental serta simulator yang dikalibrasi.



Gambar 3. a) Skema tambatan khas. ,b) Beban eksternal menciptakan gerakan kapal yang ditambatkan (misalnya beban aerodinamis).

Kekuatan yang ditinjau dalam makalah ini ditujukan pada Gambar 4 , yaitu Gaya longitudinal X atau $F_x(N)$, Gaya lateral Y atau $F_y(N)$ dan Momen tentang sumbu z N (Nm).



Gambar 4. Definisi gaya X dan Y, dan momen N

Gaya longitudinal X, gaya lateral Y, dan momen di sekitar sumbu z N dibuat non-dimensi sebagai berikut:

$$C_x = \frac{F_x}{\frac{1}{2}\rho A_F V^2} \quad (1)$$

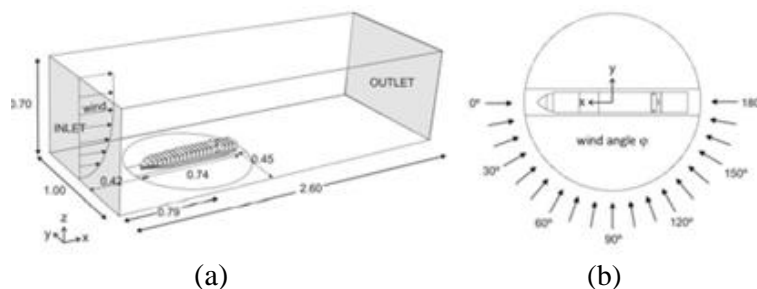
$$C_y = \frac{F_y}{\frac{1}{2}\rho A_L V^2} \quad (2)$$

$$C_N = \frac{N}{\frac{1}{2}\rho A_L L_{OA} V^2} \quad (3)$$

Dimana ρ adalah kepadatan udara ($=1,225 \text{ kg/m}^3$ pada $15 \text{ }^\circ\text{C}$), U adalah kecepatan aliran angin yang dialami kapal (m/s), A_f adalah area depan kapal yang diproyeksikan (m^2), A_L adalah area sisi kapal yang diproyeksikan (m^2) dan L_{OA} adalah panjang di atas semua kapal.

3.1. Kasus 1 - Hambatan Yang Disebabkan Oleh Beban Angin Selama Tambatan Kapal

Karena meningkatnya area angin kapal, Namun, beban angin memainkan peran yang lebih penting dalam menavigasi kapal di laut lepas dan terutama melalui area pelabuhan yang akan memanifestasikan pemahaman kita dalam penguatan struktur pelabuhan. Gaya angin pada kapal pada kondisi laut terbuka umumnya ditentukan oleh tes terowongan angin (wind tunnel WT) pada model skala rendah atau dengan simulasi dinamika fluida komputasi (CFD). Selain itu, menganalisis koefisien beban angin untuk berbagai konfigurasi kapal yang dihasilkan dari berbagai tingkat penyederhanaan geometris, dari prisma persegi panjang yang disederhanakan ke geometri aktual .



Gambar 5. a) Domain komputasi yang menunjukkan saluran masuk dan keluar. b) sudut angin ϕ untuk



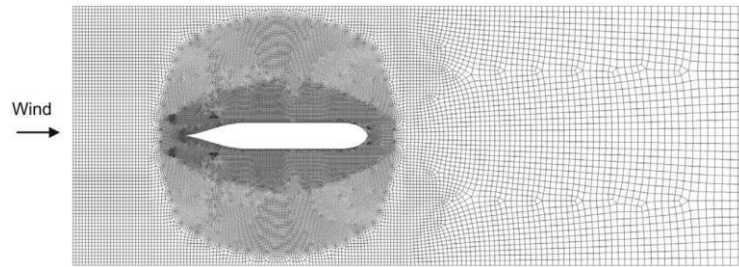
copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

pengukuran dan simulasi [4].

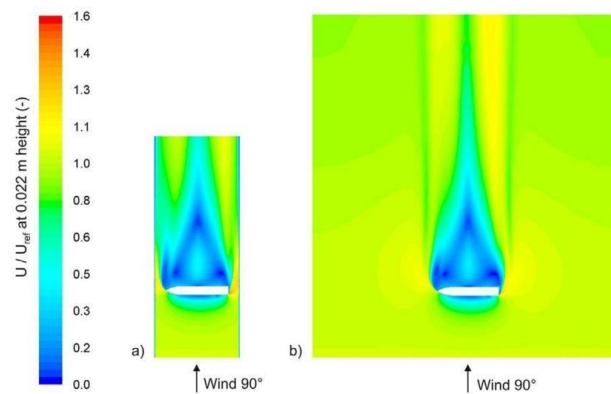
3.1.1 Pemodelan CFD dan Hasil Eksperimen

Pemodelan CFD

Penggunaan CFD menyebar lebih luas di banyak domain, termasuk efek angin pada konstruksi pantai. Analisis CFD memiliki keunggulan yang signifikan. Beberapa manfaat CFD adalah fleksibilitas dalam konstruksi model, panjang analisis, dan visualisasi hasil yang menyeluruh. Hasil dari metode ini, bagaimanapun, sangat tergantung pada mesh (apakah konfigurasi geometri konvergensi kapal yang akurat dan tidak) yang dipilih dan input pengguna yang tepat dibuat untuk perangkat lunak, seperti kondisi batas, model turbulensi, dan langkah waktu.



Gambar 6. Tampilan mesh simulasi untuk kasus studi.



Gambar 7. kecepatan angin di (a) domain terowongan angin dan (b) domain yang lebih besar.

Profil kecepatan angin rata-rata untuk metode CFD adalah varian. Akibatnya, geometri kapal dapat menghasilkan simulasi beban angin yang sangat berbeda pada kapal, meskipun area kapal yang diproyeksikan tegak lurus terhadap arah angin serupa. Dalam kasus direction angin tegak lurus $\varphi = 90$ seperti yang ditunjukkan pada gambar [4].

Pemodelan CFD dan perbandingan hasil eksperimen

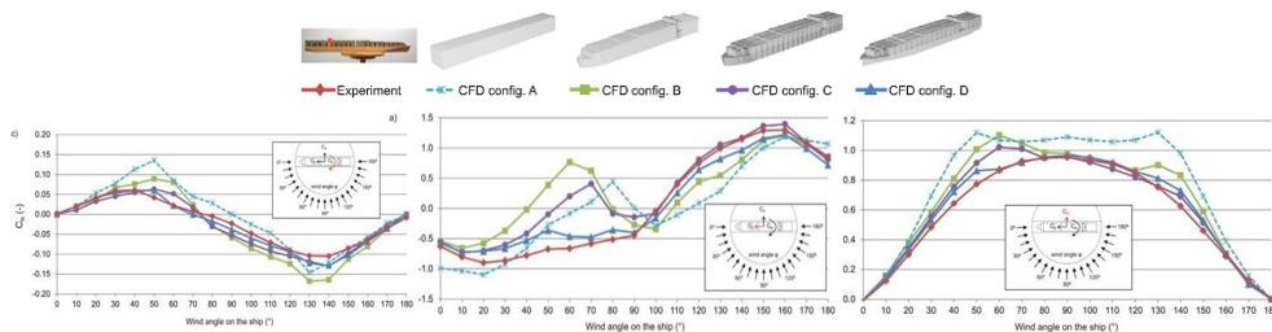
Pentingnya pembuatan mesh yang akurat dalam pemodelan CFD, yang melibatkan pembagian kapal dan sekitarnya menjadi sel komputasi kecil yang cukup halus untuk menangkap detail-detail penting geometri kapal dan lingkungannya, sementara tetap cukup kasar untuk menjaga biaya komputasi agar terkendali. Teks juga menekankan pentingnya memilih kondisi batas yang sesuai, termasuk kondisi angin dan air yang masuk, serta memilih model turbulensi yang tepat.

Pada Gambar 8. Menunjukkan hasil simulasi kemudian dibandingkan dengan data eksperimental untuk koefisien gaya CX, CY, dan koefisien momen CN sebagai fungsi sudut angin. Perbandingan menunjukkan bahwa konfigurasi yang lebih detail dari geometri kapal menghasilkan kesepakatan yang lebih baik dengan data eksperimental, dengan konfigurasi paling detail (Konfigurasi D) menunjukkan kemiripan yang paling dekat dengan data ruang angin. Namun, deviasi besar ditemukan untuk sudut angin $50-70^\circ$ untuk CX dan CY



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

untuk Konfigurasi C. Konfigurasi paling tidak detail, yaitu bentuk kotak A dan Konfigurasi B, menunjukkan deviasi terbesar secara keseluruhan dengan data eksperimental.



Gambar 8. Perbandingan koefisien numerik dan eksperimental sebagai fungsi sudut angin pada kapal untuk C_x, b) C_y, dan c) C_N .

Perbandingan juga menunjukkan bahwa pemodelan geometri haluan kapal dengan benar sangat penting untuk hasil yang akurat. Memodelkan bagian belakang kapal dengan lebih detail tidak meningkatkan hasil. Untuk C_N, nilai yang diukur pada umumnya lebih rendah dari hasil simulasi, dan Konfigurasi D adalah yang paling dekat dengan pengukuran.

Meskipun adanya perbaikan, semua konfigurasi kapal simulasi mengestimasi beban angin pada kapal melebihi tes ruang angin. Rata-rata estimasi kelebihan beban angin berkisar dari 5,9% untuk Konfigurasi D hingga 37,9% untuk konfigurasi kotak A, dengan semua konfigurasi simulasi rata-rata mengestimasi kelebihan beban angin sebesar 5,9% hingga 17,1%.

3.2. Kasus 2 - Hambatan Yang Disebabkan Oleh Kapal Yang Lewat Di Kapal Yang Ditambatkan

Di pelabuhan, yang memiliki saluran navigasi dekat dengan dinding dermaga dengan kapal yang ditambatkan, kapal yang lewat membuat dampak besar pada kapal yang ditambatkan dan kapal yang ditambatkan berdampak pada struktur dinding dermaga, tonggak dan spatbor. Gaya dinamis, yang diciptakan oleh kapal yang lewat, bergantung pada massa kapal yang lewat, jarak antara kapal yang ditambatkan dan yang lewat dan kecepatan kapal yang lewat membuat dampak besar pada sistem tambatan dinding dermaga. Di banyak pelabuhan dan tempat-tempat serupa lainnya di mana kapal yang ditambatkan dekat dengan saluran navigasi ada batasan kecepatan untuk kapal yang lewat, tetapi kadang-kadang kecepatan lewat harus cukup untuk kemudi kapal yang baik . Kondisi yang disebutkan di atas sangat penting untuk dinding dermaga pelabuhan dan keselamatan kapal yang ditambatkan ke dinding dermaga, dan harus dipelajari berdasarkan metode teoritis dan eksperimental juga dengan simulator yang dikalibrasi dan termasuk dalam desain dinding dermaga dan persiapan skema tambatan kapal untuk mengambil tindakan pencegahan untuk keselamatan kapal yang lewat di dekat dinding dermaga atau ditambatkan ke dinding dermaga.

Gaya yang signifikan pada kapal yang ditambatkan karena efek kapal yang lewat adalah gaya longitudinal, lateral dan momen . Studi analitis dan empiris yang ada menunjukkan bahwa gaya-gaya ini meningkat seiring waktu ketika kapal yang lewat mencapai kapal yang ditambatkan dan berkurang setelah penyeberangan. Gaya-gaya ini mencapai nilai puncak pada waktu dan lokasi tertentu dari kapal yang lewat sehubungan dengan kapal yang ditambatkan. Oleh karena itu untuk desain sistem tambatan, nilai-nilai puncak gaya dan momen ini diperlukan. Dari tinjauan pustaka, dapat disimpulkan bahwa studi yang lebih parametrik dapat memberikan informasi yang cukup untuk tujuan desain.\

Ini adalah praktik umum untuk mengurangi kecepatan kapal yang lewat di dalam lokasi pelabuhan terutama ketika melewati dekat dengan tempat berlabuh yang ada untuk menghindari kecelakaan yang tidak beralasan. Kecepatan kapal yang diadopsi untuk tinjauan studi ini berada di kisaran 2,5 knot hingga 7 knot. Nomor Froude berdasarkan kedalaman air diberikan sebagai berikut:

$$Fr_D = \frac{V}{\sqrt{gD}} \quad (4)$$

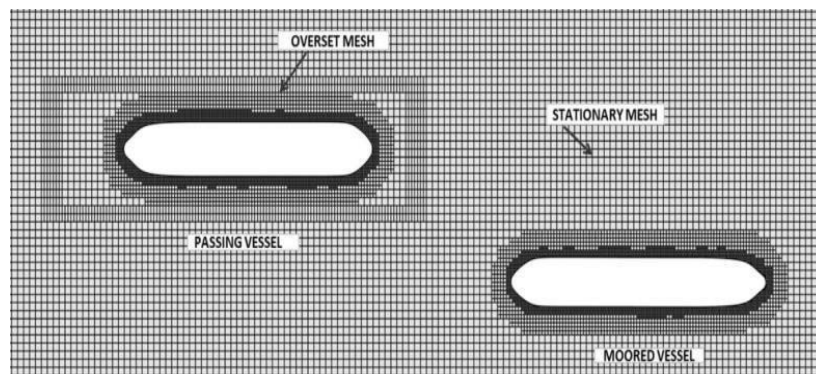


di mana V adalah kecepatan kapal, g adalah percepatan karena gravitasi dan D adalah kedalaman air. Angka Froude yang sesuai yang dihitung menggunakan ekspresi di atas berada dalam kisaran 0,1-0,27. Kedalaman air (D) kurang dari dua kali draft kapal yang ditambatkan telah diadopsi untuk penelitian yang dianggap sebagai kedalaman air dangkal. Posisi kapal yang lewat dan kapal yang ditambatkan yang digunakan dalam simulasi ditunjukkan pada Gambar 2. Kapal yang ditambatkan ditandai dengan sistem koordinasi yang dipasang di tubuh (x_1, y_1, z_1). Kapal yang lewat dilambangkan dengan sistem koordinasi yang bergerak (x_2, y_2, z_2). Asal usul sistem koordinasi X ditetapkan di tengah kapal yang ditambatkan di sepanjang jalur kapal yang lewat. Tiga posisi kapal yang lewat sehubungan dengan kapal yang ditambatkan ditunjukkan untuk menunjukkan perubahan X dari negatif menjadi positif. Dan parameter non-dimensi X/L digunakan untuk posisi kapal yang lewat dalam kaitannya dengan kapal yang ditambatkan.

3.2.1 Pemodelan CFD Dan Hasil Eksperimen

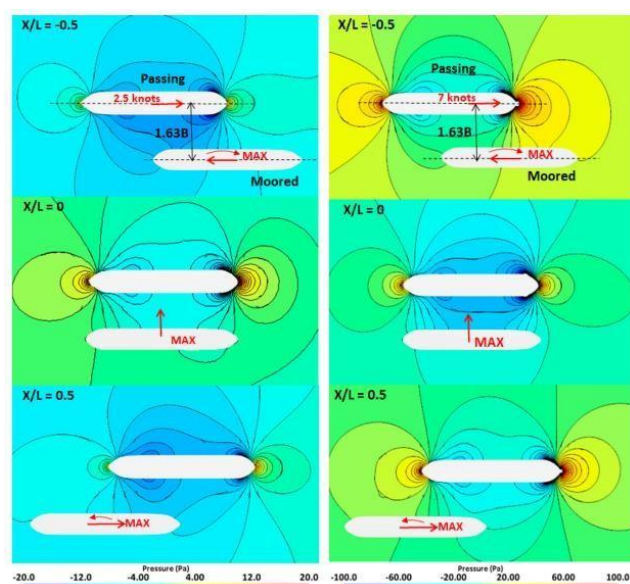
Pemodelan CFD

Berikut Gambar 9. menunjukkan simulasi jaringan untuk studi kasus terkait gaya dan momen yang dihasilkan oleh kapal yang melintas pada kapal yang berlabuh dan struktur dinding pelabuhan. Jaringan tersebut membagi geometri kompleks menjadi bentuk geometri yang lebih kecil dan sederhana sehingga lebih mudah untuk mensimulasikan dan menganalisis perilaku sistem. Simulasi tersebut membantu untuk lebih memahami gaya dan momen yang tercipta ketika kapal melintas dekat dengan kapal yang berlabuh atau struktur dinding pelabuhan. Jenis simulasi ini berguna dalam mengidentifikasi potensi masalah keamanan dan risiko, memungkinkan perancang untuk mengambil tindakan pencegahan guna menjamin keselamatan kapal yang melintas dekat dinding pelabuhan atau berlabuh pada dinding pelabuhan tersebut.



Gambar 9. Tampilan mesh simulasi untuk kasus studi.

Hasil yang diperoleh dari simulasi numerik saat ini telah dibandingkan dengan eksperimen Remery (1974) Dari simulasi penelitian, Diamati bahwa besarnya tekanan di sekitar kapal yang lewat menurun dengan faktor 5 ketika Fr_D meningkat dari 0,1 menjadi 0,27. Ini menunjukkan bahwa tekanan negatif yang tinggi secara langsung menyebabkan peningkatan gaya dan momen kapal yang lewat. Peningkatan kecepatan kapal, lebih dekat ke tempat berlabuh dapat menyebabkan kekuatan kapal besar yang lewat dan harus dikurangi atau dihindari. Pembatasan kecepatan kapal yang lewat di dermaga diperlukan untuk menghindari kecelakaan pada kapal yang ditambatkan dan garis tambatan – seperti yang ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. Kontur tekanan di sekitar lintasan dan kapal yang ditambatkan untuk angka Depth-Froude (FrD) yang berbeda [2].

Untuk validasi percobaan dilakukan pada skala model 1/60 dan melewati kapal perpindahan dari 30.000 DWT menjadi 160.000 DWT dengan kapal yang ditambatkan 100.000 DWT – tabel 3 . Percobaan dilakukan dalam kondisi perairan dangkal dengan kedalaman air sama dengan 1,15 kali draft kapal yang ditambatkan. Berbagai parameter yang mempengaruhi pasukan kapal yang lewat diselidiki seperti kecepatan kapal yang lewat, perpindahan dan jarak pemisahan .

Percobaan dilakukan untuk kondisi lebar air yang tidak terbatas dan kondisi serupa disimulasikan. Untuk parameter kapal yang ditunjukkan pada tabel 1 , sejarah waktu gaya dan momen dari percobaan diperoleh, dari mana gaya puncak dihitung dan dibandingkan dengan hasil simulasi. Karena bentuk lambung yang tepat yang digunakan dalam percobaan tidak tersedia, bentuk lambung serupa dengan dimensi dan perpindahan lambung utama yang sama digunakan.

Tabel 1. Parameter kapal digunakan untuk validasi model numerik [2]

| | Symbol | Unit | CFD | | | Experiment |
|-------------------------------|----------|---------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | Moored vessel | Passing vessel | Mooring vessel | Passing Vessel |
| Deadweight tonnage | DWT | 1000 tom | 100 | 110 | 100 | 110 |
| Length between perpendiculars | LPP | m | 257.00 | 250.00 | 257.00 | 250.00 |
| Beam | B | m | 36.80 | 40.40 | 36.80 | 40.40 |
| Draught | d | m | 15.2 | 15.10 | 15.70 | 15.10 |
| Displacement | ∇ | 1000 m ³ | 122.53 | 133.64 | 118.8 | 129.60 |
| LCG from mid ship | | m | 6.1 | 6.71 | 6.3 | 7.0 |



Tabel 2. Perbandingan kekuatan dan momen dari CFD dan eksperimen [2].

| | CFD | Experiment | Difference % |
|--------------|---------|------------|-----------------|
| F_x tonnes | 23.55 | 24.33 | 3.21 |
| F_y tonnes | 116.28 | 108.78 | 6.89 |
| M_z tonnes | 4077.23 | 3937.21 | 3.56 |

Tabel 3. Kontur tekanan di sekitar lintasan dan kapal yang ditambatkan untuk nomor Depth-Froude yang berbeda [2].

| No | Moored Vessel Displacement DWT | Passing Vessel Displacement DWT | Depth-Froude Number (Fr_D) | Separation distance to breadth ratio (SR) | Displacement ratio (DR) | Water depth to draft ratio (Δd) |
|----|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|-------------------------|---|
| 1 | 100,000 | 30,000 | 0.16 | 1.63 | 0.3 | 1.15 |
| 2 | 100,000 | 70,000 | 0.16 | 1.63 | 0.7 | 1.15 |
| 3 | 100,000 | 100,000 | 0.16 | 1.63 | 1.0 | 1.15 |
| 4 | 100,000 | 110,000 | 0.16 | 1.63 | 1.1 | 1.15 |
| 5 | 100,000 | 160,000 | 0.16 | 1.63 | 1.6 | 1.15 |
| 6 | 100,000 | 110,000 | 0.1 | 1.63 | 1.1 | 1.15 |
| 7 | 100,000 | 110,000 | 0.21 | 1.63 | 1.1 | 1.15 |
| 8 | 100,000 | 110,000 | 0.27 | 1.63 | 1.1 | 1.15 |
| 9 | 100,000 | 110,000 | 0.27 | 0.82 | 1.1 | 1.15 |
| 10 | 100,000 | 110,000 | 0.27 | 3.26 | 1.1 | 1.15 |
| 11 | 100,000 | 110,000 | 0.27 | 5.43 | 1.1 | 1.15 |
| 12 | 100,000 | 110,000 | 0.27 | 7.07 | 1.1 | 1.15 |
| 13 | 100,000 | 110,000 | 0.27 | 8.7 | 1.1 | 1.15 |
| 14 | 100,000 | 110,000 | 0.27 | 1.63 | 1.1 | 1.3 |
| 15 | 100,000 | 110,000 | 0.27 | 1.63 | 1.1 | 1.45 |
| 16 | 100,000 | 110,000 | 0.27 | 1.63 | 1.1 | 1.9 |
| 17 | 100,000 | 110,000 | 0.27 | 1.63 | 1.1 | 2.2 |
| 18 | 100,000 | 110,000 | 0.27 | 1.63 | 1.1 | 2.5 |

4. KESIMPULAN

Singkatnya, Saat ini, interaksi kapal semakin disimulasikan dengan metode numerik yang memprediksi kerusakan struktural dan dengan mempertimbangkan gerakan kapal. Namun, simulasi semacam itu membutuhkan model elemen hingga yang memakan waktu. Oleh karena itu, untuk penggunaan praktis dalam model probabilistik, atau untuk mengevaluasi desain struktural kapal awal. Selain itu, Meningkatnya ukuran kapal telah meningkatkan kebutuhan akan metode yang lebih tepat tentang beban pada struktur pelabuhan serta pengetahuan diperlukan untuk menyempurnakan kebijakan penerimaan pelabuhan. Tambatan kapal dan tinggal aman di dekat dinding dermaga sangat penting di semua pelabuhan dan dalam segala kondisi. Dalam kondisi badai, beban inersia merupakan faktor penting. Sistem tambatan dan spatbor kapal dan tempat berlabuh harus dirancang untuk menerima beban inersia dalam semua kasus.

Kekuatan yang dihasilkan oleh kapal yang lewat di dekat kapal yang ditambatkan ke dinding dermaga, serta angin, arus dan gelombang serta energi tambatan kapal secara signifikan mempengaruhi dinding dermaga, dan dapat berdampak pada keselamatan dan stabilitas dinding dermaga selama periode jangka panjang.

Angin yang bekerja di kapal memiliki dua komponen: konstan dan berkala, yang harus dihitung dan dievaluasi dengan benar untuk memastikan keamanan tambatan kapal. Komponen gaya konstan angin dapat dihitung berdasarkan metode aerodinamis yang khas, hanya area permukaan angin nyata dari sebuah kapal yang harus dipertimbangkan. Komponen gaya berkala angin dapat dihitung berdasarkan harmonik yang diciptakan oleh percepatan dan gaya, yang mencoba menggerakkan kapal di sepanjang dinding dermaga dan dapat menciptakan gaya yang jauh lebih besar daripada komponen konstan. Metode perhitungan dan evaluasi yang disajikan diuji di sejumlah pelabuhan dan dapat diterapkan di daerah pelabuhan, terutama di daerah yang



terbuka untuk kapal yang lewat, gelombang, aksi arus dan angin karena dampaknya yang sangat besar dibandingkan dengan cekungan tertutup.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Ricci, W. J. (2020). Cfd Simulation Of Wind Forces On Ships In Ports: Case Study For The Rotterdam Cruise Terminal. *Journal Of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, 205.
- [2] Nallayarasu, V. N. (Apr 2019.). Cfd Simulation Of The Passing Vessel Effects On Moored Vessel. *Ships And Offshore Structures*, Article Views: 48 , 1-17.
- [3] Paulauskas, V. (2016). Ship And Quay Wall Mooring System Capability Evaluation. *6th Transport Research Arena* (Pp. 18-21). Lithuania: Elsevier B.V.
- [4] W.D. Janssen, B. B. (2017). Cfd Simulations Of Wind Loads On A Container Ship: Validation And Impact Of Geometrical Simplifications. *Journal Of Wind Engineering And Industrial Aerodynamics*, 106-116.
- [5] Buddhika Jayarathne, Dev Ranmuthugala, Shuhong Chai, Jiangang Fei. (Nov. 10-14, 2014, Kobe, Japan). Estimation Of Drag Force On Tug Hulls At Different Drift Angles. *3rd International Symposium Of Maritime Sciences*.
- [6] Buddhika Jayarathne, Dev Ranmuthugala, Shuhong Chai, Jiangang Fei. (Nov. 10-14, 2014, Kobe, Japan). Estimation Of Drag Force On Tug Hulls At Different Drift Angles. *3rd International Symposium Of Maritime Sciences*.
- [7] Lu Zou, Zao-Jian Zou & Yi Liu. (21 Mar 2019.). Cfd-Based Predictions Of Hydrodynamic Forces In Ship-Tug Boat Interactions. *Ships And Offshore Structures*, Doi: <https://doi.org/10.1080/17445302.2019.1589963>.
- [8] Serge Sutulo, C. Guedes Soares. (July 1-6, 2012). Hydrodynamic Interaction Forces On Ship Hulls Equipped With Propulsors. *Proceedings Of The Asme 2012 31st International Conference On Ocean, Offshore And Arctic Engineering*, Omae2012-84181.
- [9] Ashury Dan Jessica Indah Pricilla, "Analisis Waktu Bongkar Muat Petikemas Pada Alat Ship To Shore (Sts) Crane Di Terminal Teluk Lamong," *Zona Laut - Jurnal Inovasi Sains Dan Teknologi Kelautan*, Vol. First, P. 7, 3rd Nov 2020.

