

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan rangkaian penelitian menggunakan metode *Virtual Captive Model Test* (VCMT) berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk menganalisis pengaruh variasi kedalaman perairan terhadap gaya lateral (*sway force*) dan momen yaw (*yaw moment*) pada kapal kontainer model KCS, maka diperoleh beberapa kesimpulan :

1. Kedalaman Perairan Terhadap Gaya Lateral Dan Momen *Yaw* Sangat Signifikan

Pada perairan dangkal ($h/T = 1.25$), aliran di bawah lambung menjadi terkompresi sehingga tekanan rendah meningkat dan memperkuat efek *squat*. Kondisi ini menambah besar gaya lateral dan momen *yaw*, terutama ketika kapal bergerak dengan sudut *drift* yang lebih besar. Sebaliknya, pada perairan dalam ($h/T = 2.5$), aliran lebih bebas sehingga nilai *sway* dan *yaw* lebih moderat, stabil, dan mendekati kondisi ideal. Metode VCMT terbukti mampu memprediksi turunan hidrodinamika secara akurat. Hasil simulasi menunjukkan kesesuaian pola dengan data eksperimen (EFD), terutama pada distribusi aliran, bentuk vorteks, dan tren peningkatan gaya serta momen pada berbagai variasi kecepatan dan sudut. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan VCMT berbasis CFD layak digunakan sebagai metode alternatif pengganti uji fisik dalam memperoleh hydrodynamic derivatives kapal kontainer.

2. Efek *Squat* Pada Kondisi *Even Keel* Tetap Berpengaruh Tetapi Lebih Terkendali

Walaupun trim dibuat *even keel*, tekanan rendah di bagian bawah lambung tetap terlihat, terutama pada perairan dangkal. Namun, karena tidak ada perbedaan distribusi berat longitudinal, pola aliran menjadi lebih stabil dibandingkan kondisi kapal *trim by bow* atau *trim by stern*, sehingga

hasil analisis benar-benar merepresentasikan pengaruh kedalaman dan bukan efek *trim*.

3. Variasi Sudut *Drift* dan Kecepatan Memperkuat Dampak Kedangkalan Perairan.

Sudut *drift* 6° – 10° dan kecepatan tinggi (1.647–1.922 m/s) menghasilkan nilai *sway* dan *yaw* tertinggi, terutama pada h/T rendah. Simulasi menunjukkan munculnya vorteks kuat dan asimetri aliran yang tajam. Kombinasi kondisi ekstrem ini meningkatkan risiko ketidakstabilan manuver kapal, yang harus diperhatikan dalam operasi pelayaran di kanal, sungai, dan pelabuhan.

4. Integrasi CFD, VCMT, dan Regresi Matematis (*Least Squares*) Menghasilkan Model Hidrodinamika yang Valid.

Nilai-nilai *sway* dan *yaw* hasil regresi menunjukkan konsistensi dengan data simulasi. Hal ini memperkuat bahwa turunan hidrodinamika yang diperoleh dapat digunakan sebagai input model manuver kapal dan menunjukkan kemampuan metode ini dalam memetakan hubungan nonlinier antara kecepatan, sudut drift, dan kedalaman air.

Penelitian ini menunjukkan bahwa respons hidrodinamika kapal kontainer sangat dipengaruhi oleh perubahan kedalaman, mendukung temuan sebelumnya oleh Septiani et al. (2023). Metode VCMT berbasis CFD memberikan hasil yang konsisten dengan regresi polinomial dan sesuai dengan teori dasar hidrodinamika drift (Liu et al., 2018). Efek *squat* terbukti memperbesar gaya lateral dan momen *yaw*, sejalan dengan kajian aliran dangkal oleh Sutherland (2017).

5.2 Saran

Dari analisis, saran yang bisa penulis berikan untuk penelitian berikutnya adalah :

1. Penelitian selanjutnya disarankan menambah variasi kondisi *trim* kapal. Studi literatur menunjukkan bahwa *trim by bow* dan *trim by stern* dapat

memperkuat atau melemahkan efek *squat* secara signifikan. Analisis *trim* akan memberikan gambaran lebih lengkap mengenai perilaku manuver di berbagai skenario operasi nyata.

2. Model simulasi dapat dikembangkan dengan memasukkan efek gelombang, arus, dan sistem propulsi. Penelitian ini dilakukan tanpa mempertimbangkan faktor lingkungan dan penggerak kapal. Penambahan kondisi tersebut akan meningkatkan realisme simulasi dan memberikan hasil prediktif yang lebih aplikatif.
3. Disarankan menambahkan pengujian *turning circle* dan zig-zag berbasis simulasi.

Dengan memanfaatkan turunan hidrodinamika yang sudah diperoleh, uji manuver standar IMO dapat dilakukan untuk melihat dampak kedalaman air terhadap performa manuver keseluruhan kapal.

4. Penggunaan *mesh* adaptif atau *mesh refinement* lokal pada area buritan dapat meningkatkan keakuratan prediksi vorteks dan distribusi tekanan, terutama ketika sudut *drift* besar.
5. Perlu dilakukan perbandingan lebih luas dengan data eksperimen dari fasilitas lain (*towing tank*) atau publikasi internasional. Hal ini bertujuan memperkuat validitas hasil VCMT serta memastikan bahwa pendekatan CFD yang digunakan benar-benar dapat menggantikan pengujian fisik dengan tingkat akurasi tinggi.
6. Pengembangan perangkat lunak otomasi untuk pengolahan data dan regresi (misalnya Python) akan sangat membantu dalam mempercepat proses identifikasi *hydrodynamic derivatives* di penelitian selanjutnya