

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara kepulauan terbesar di dunia dengan total 17.504 pulau. Wilayah lautnya jauh lebih luas dibandingkan dengan daratan, menjadikan Indonesia sebagai negara dengan potensi maritim yang sangat besar (World Atlas, 2020). Kondisi geografis ini menjadikan keamanan laut sebagai prioritas strategis dalam menjaga kedaulatan wilayah serta melindungi jalur perdagangan internasional. Untuk itu, diperlukan alat utama sistem persenjataan (alutsista) yang mampu mendukung Tentara Nasional Indonesia (TNI) Angkatan Laut dalam mengamankan perairan nusantara. Beberapa alutsista strategis yang biasa digunakan di laut antara lain frigate, kapal selam, kapal cepat rudal, dan *landing platform dock* (Gityarko, 2021).

Kapal selam sebagai salah satu alutsista strategis, memiliki kemampuan untuk menjalankan misi-misi krusial seperti pengintaian, patroli, dan operasi bawah laut dengan tingkat kerahasiaan yang tinggi. Namun, berdasarkan data dari TNI AL, Indonesia saat ini hanya memiliki empat kapal selam aktif, yang seluruhnya merupakan produk impor. Jumlah ini masih jauh dari kebutuhan ideal sebanyak 12 unit yang direkomendasikan untuk menjaga kedaulatan wilayah laut, sebagaimana disampaikan oleh Kepala Staf TNI Angkatan Laut, Laksamana TNI Dr. Muhammad Ali (Rusdi, S., 2024). Tingginya biaya pengadaan dan operasional kapal selam menjadi tantangan utama dalam memperkuat armada bawah laut Indonesia.

Sebagai solusi alternatif, teknologi *Unmanned Underwater Vehicles* (UUV) atau wahana bawah air tanpa awak muncul sebagai pilihan yang lebih ekonomis dan fleksibel. UUV kini menjadi fokus pengembangan sebagai alutsista modern yang mampu menjalankan berbagai misi bawah laut dengan efisiensi tinggi dan biaya operasional yang lebih rendah (Wibisono et al., 2023). Salah satu aplikasi dari UUV dalam misi militer

adalah penghancuran target strategis, seperti kapal perang, dengan membawa bahan peledak (Sałaciński, 2019; T. Gajewski, 2024). Dalam skenario ini, UUV memberikan kemampuan untuk menghancurkan target tanpa membahayakan personel militer dan dengan biaya yang lebih rendah dibandingkan kapal selam berawak.

Unmanned Underwater Vehicles (UUV) adalah wahana bawah laut tanpa awak yang beroperasi secara otonom ataupun semi-otonom. UUV telah berkembang menjadi bagian penting pada berbagai sektor, seperti penelitian bawah laut dan pertahanan. Dalam beberapa dekade terakhir, UUV telah menjadi tren tersendiri di bidang militer. Hal ini dapat terjadi karena keberadaan UUV menawarkan kemampuan dalam melaksanakan berbagai misi, seperti misi patroli dan pengintaian (Wibisono et al, 2023; Lundquist, 2021; Button et al, 2009). Selain hal tersebut, UUV juga memungkinkan dilakukannya misi pada wilayah kritis dengan lebih efisien dan aman dibandingkan dengan kapal selam berawak, sehingga mengurangi risiko bagi personel militer, dalam hal ini TNI laut, dan menekan biaya operasional (Woods et al, 2012; Hemler, 2024).

UUV bisa dianggap seperti kapal selam berawak dengan ukuran yang lebih kecil. UUV terdiri dari gabungan beberapa bagian penting, antara lain bagian *outer*, propulsi, kendali dan navigasi, sensor dan *payload*, komunikasi, energi, dan kendali (Watson et al, 2020). Salah satu bagian penting dalam pembuatan UUV adalah sistem *ballast*, yang merupakan bagian dari kendali.

Sistem tangki *ballast* adalah salah satu komponen kunci yang memastikan stabilitas dan kendali UUV di bawah air (Lundquist, 2021). Sistem ini bekerja dengan mengatur daya apung melalui pengisian atau pengosongan air dari tangki, memungkinkan wahana untuk mengubah kedalaman dan menjaga keseimbangan selama operasi. Kendali yang tepat atas sistem *ballast* sangat penting untuk manuver yang presisi, terutama ketika UUV menjalankan misi di lingkungan laut yang dinamis dan tidak terprediksi. Selain itu, perubahan posisi beban dan distribusi

berat kendaraan selama misi dapat mempengaruhi stabilitas, sehingga diperlukan sistem *ballast* yang mampu beradaptasi dengan cepat dan efektif (Woods et al, 2012).

UUV membutuhkan sistem tangki *ballast* yang akurat, namun eksperimen langsung di laut akan memerlukan biaya yang besar dan memakan waktu lama (Hemler, 2024). Oleh karena itu, simulasi menjadi solusi penting untuk menguji dan memvalidasi performa sistem tanpa harus melakukan uji coba fisik di lapangan. Dilakukannya simulasi memungkinkan perancangan untuk memprediksi dan mengoptimalkan perilaku sistem *ballast* (Woods et al, 2012).

Untuk mendukung simulasi sistem *ballast* dalam UUV digunakan OpenModelica sebagai solusi ideal karena kemampuannya dalam pemodelan sistem dinamis dengan pendekatan non-linear dan multi-domain. OpenModelica menawarkan fleksibilitas dalam membangun dan mengoptimalkan model matematika, memungkinkan simulasi berbagai kondisi operasional sebelum implementasi nyata. Selain itu, OpenModelica dapat mempercepat pengujian sambil mengurangi biaya dan risiko eksperimen langsung, menjadikannya alat yang andal untuk penelitian berbasis desain kontrol dan simulasi teknik (Fritzson et al, 2020).

Dalam penelitian ini, beberapa parameter utama menjadi fokus perhatian, antara lain daya apung yang berfungsi menjaga stabilitas, dan berat beban yang mempengaruhi stabilitas, serta posisi pusat gravitasi yang berperan dalam meningkatkan kemampuan manuver. Selain itu, kondisi hidrodinamika seperti densitas air dianalisis secara mendalam karena faktor-faktor tersebut dapat mempengaruhi pergerakan UUV serta kinerja keseluruhan sistem *ballast* (Woods et al, 2012). Berdasarkan latar belakang tersebut, peneliti memilih topik Pemodelan Sistem *ballast* pada Kapal Selam *Autonomous* menggunakan OpenModelica. Dengan pendekatan ini, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan sistem *ballast* yang lebih andal dan

efisien untuk UUV, sehingga mendukung keberhasilan misi di berbagai sektor, khususnya di bidang pertahanan.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini berfokus pada pengembangan model sistem tangki *ballast* UUV menggunakan OpenModelica. Beberapa rumusan masalah yang akan diatasi meliputi:

- a. Bagaimana pengaruh penambahan massa beban pada UUV terhadap kapasitas tangki *ballast* untuk mencapai keadaan setimbang?
- b. Bagaimana simulasi berbasis OpenModelica dapat digunakan untuk menganalisis daya apung, stabilitas, dan kinerja sistem tangki *ballast* UUV dalam variasi beban?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian menunjukkan sasaran yang harus dicapai sesuai dengan rumusan masalah yang ditetapkan. Tujuan penelitian yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui pengaruh penambahan massa beban terhadap kapasitas tangki *ballast* yang diperlukan agar *Unmanned Underwater Vehicle* (UUV) dapat mencapai kondisi netral (*netral buoyancy*).
- b. Melakukan simulasi sistem tangki *ballast* menggunakan OpenModelica untuk menganalisis daya apung, stabilitas, dan kinerja sistem dalam variasi beban.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Teoritis

Secara teoritis, penelitian ini diharapkan dapat memperluas wawasan dalam bidang rekayasa sistem tangki *ballast* pada *unmanned underwater vehicle* (UUV), khususnya melalui simulasi berbasis OpenModelica. Hasil penelitian ini akan berkontribusi pada pengembangan teori terkait daya apung dan stabilitas sistem statis

dengan pendekatan model berbasis fisika. Selain itu, penelitian ini menyediakan model yang dapat menjadi referensi bagi peneliti lain dalam pengembangan teknologi UUV, serta memvalidasi pendekatan simulasi sebagai metode yang efektif untuk analisis kinerja sistem dalam berbagai skenario operasi.

1.4.2 Manfaat Praktis

Secara praktis, penelitian ini memberikan evaluasi sistem tangki *ballast* tanpa perlu pembuatan prototipe fisik, sehingga mengurangi biaya dan waktu pengembangan. Model dan hasil simulasi dapat digunakan sebagai panduan untuk mengoptimalkan desain sistem tangki *ballast*, sehingga meningkatkan efisiensi daya apung dan stabilitas UUV. Selain itu, penelitian ini juga memberikan manfaat langsung bagi industri, seperti dalam pengembangan kapal selam mini, drone bawah laut, dan wahana eksplorasi laut dalam, yang membutuhkan sistem tangki *ballast* yang handal dan efisien. Dengan demikian, penelitian ini mendukung peningkatan keamanan dan efektivitas operasional UUV untuk berbagai misi, termasuk eksplorasi bawah laut, pemetaan, dan pengawasan.