

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem propulsi kapal merupakan komponen kritis yang berfungsi mentransmisikan daya dari mesin utama ke baling-baling serta berperan penting dalam menjamin keandalan dan keselamatan pelayaran. Salah satu sistem propulsi yang banyak digunakan pada kapal niaga dan kapal kerja modern adalah CPP, yang memungkinkan pengaturan sudut daun propeler secara kontinu sesuai dengan kebutuhan operasi. Selama pengoperasian, sistem CPP mengalami beban dinamis yang kompleks akibat variasi kondisi laut, perubahan torsi mesin, manuver kapal, serta fluktuasi beban hidrodinamik pada daun propeler. Kondisi tersebut dapat menimbulkan respons dinamis pada mekanisme pitch, hub propeler, sistem hidrolik, dan poros penggerak, sehingga berpotensi menyebabkan degradasi kinerja, peningkatan getaran, serta kegagalan komponen apabila sistem tidak dikelola dengan baik (Zambon & Moro, 2022). Permasalahan keandalan CPP menjadi semakin krusial karena kegagalan sistem ini dapat berdampak langsung terhadap hilangnya kemampuan manuver, meningkatnya risiko navigasi, tingginya biaya perbaikan, serta menurunnya kesiapan operasional kapal (Hidayatullah & Suwasono, 2025). Dalam konteks analisis kegagalan, BN menyediakan kerangka probabilistik yang efektif untuk memodelkan ketergantungan antar komponen sistem CPP serta ketidakpastian kondisi operasional, yang sulit dianalisis menggunakan metode deterministik atau pendekatan keandalan konvensional, seperti *fault tree analysis* dan model Markov sederhana (Bai et al., 2023).

Data hasil penelitian menunjukkan bahwa degradasi dan variasi kondisi operasi pada salah satu subsistem CPP dapat memicu kegagalan berantai yang berdampak pada keseluruhan sistem propulsi (Vizentin et al., 2020). Permasalahan utama dalam analisis keandalan sistem CPP terletak pada kompleksitas interaksi antar subsistem, yang meliputi mekanisme pengaturan sudut daun, sistem hidrolik, *hub* propeler, dan poros penggerak, serta adanya ketidakpastian akibat variasi beban operasi dan kondisi lingkungan. Selama operasi, perubahan sudut *pitch* yang terjadi secara berulang menyebabkan fluktuasi beban dinamis yang signifikan, sehingga menuntut pemahaman yang menyeluruh terhadap hubungan sebab-akibat antar komponen dalam sistem CPP (Lee et al., 2025). Tantangan utama dalam analisis keandalan meliputi keterbatasan data kegagalan, ketergantungan pada kualitas data pemantauan, serta kesulitan dalam memodelkan hubungan probabilistik antar komponen secara komprehensif. Studi terkini pada sistem perkapalan menunjukkan bahwa penerapan *Bayesian Network* mampu meningkatkan pemahaman terhadap struktur ketergantungan kegagalan dan mendukung analisis keandalan berbasis risiko secara lebih sistematis dibandingkan dengan pendekatan statis konvensional (Basnet et al., 2023).

Berbagai penelitian telah mengkaji kinerja dan keandalan sistem CPP, khususnya dalam menganalisis respons dinamis sistem akibat variasi sudut pitch, beban hidrodinamik, serta karakteristik sistem hidrolik yang memengaruhi stabilitas operasi propeler (Yurtseven & Aktay, 2023). Penelitian lain mengkaji pengaruh kopling antara vibrasi torsional poros dan fluktuasi beban propeler pada sistem CPP yang berpotensi mempercepat keausan komponen mekanis serta menurunkan umur pakai sistem (Dong & Li, 2023). Metode analisis keandalan probabilistik berbasis Bayesian Network semakin banyak diterapkan pada sistem teknik yang kompleks untuk memodelkan hubungan kausal antar komponen dan mengevaluasi risiko kegagalan secara menyeluruh (Soleimani et al., 2024). Sebagian besar penelitian terkait CPP masih berfokus pada analisis kinerja atau kegagalan komponen secara individual, sedangkan penerapan *Bayesian Network* untuk memodelkan keandalan sistem CPP secara terintegrasi masih

relatif terbatas (Xiang et al., 2023). Selain itu, studi eksperimental dan numerik mengenai karakteristik hidrodinamik serta mekanisme pitch CPP telah banyak dilakukan, tetapi umumnya belum dikaitkan secara langsung dengan kerangka analisis keandalan probabilistik berbasis Bayesian Network (Guo et al., 2021).

Berdasarkan hasil tinjauan, penelitian terdahulu masih memperlihatkan kesenjangan yang signifikan antara analisis teknis kinerja CPP dan pendekatan keandalan berbasis probabilistik. Sebagian besar penelitian hanya memfokuskan analisis pada subsistem CPP secara parsial, sehingga hubungan fungsional antar komponen serta ketidakpastian operasional sistem belum dimodelkan secara terpadu. Akibatnya, belum tersedia model yang mampu merepresentasikan struktur ketergantungan kegagalan dan variasi kondisi operasional sistem CPP secara menyeluruh. Sehingga terdapat kesenjangan penelitian dalam pengembangan model *Bayesian Network* yang terintegrasi, yang dapat menggambarkan interaksi antarkomponen, ketidakpastian sistem, serta mendukung analisis keandalan dan pengambilan keputusan pemeliharaan berbasis risiko (Wei et al., 2025).

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menerapkan metode Bayesian Network sebagai pendekatan kuantitatif dalam analisis keandalan sistem CPP pada kapal. Model Bayesian Network yang dikembangkan merepresentasikan hubungan fungsional antar subsistem utama CPP, meliputi mekanisme pitch, sistem hidrolis, hub propeller, dan poros penggerak, dengan mempertimbangkan ketidakpastian kondisi operasi serta degradasi komponen. Pendekatan ini diharapkan mampu menghasilkan estimasi keandalan sistem CPP yang lebih realistis dan mendukung identifikasi faktor dominan penyebab kegagalan. Dengan demikian, penelitian ini memperluas penerapan metode Bayesian Network dalam analisis keandalan sistem propulsi kapal dan memberikan kontribusi dalam mendukung pengambilan keputusan pemeliharaan serta manajemen risiko sistem CPP secara lebih efektif.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan pada bagian latar belakang, maka dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Bagaimana tingkat keandalan sistem CPP pada kapal AHTS yang dimodelkan menggunakan metode BN?
2. Bagaimana hubungan ketergantungan antar komponen utama dalam sistem CPP berdasarkan struktur BN?
3. Bagaimana strategi penyusunan rekomendasi pemeliharaan untuk meningkatkan keandalan sistem CPP pada kapal AHTS ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah di atas, penelitian ini dilakukan dengan tujuan:

1. Menganalisis tingkat keandalan komponen CPP pada kapal AHTS dengan menggunakan metode BN
2. Menyusun model BN yang menggambarkan hubungan ketergantungan antar komponen utama sistem CPP.
3. Menyusun rekomendasi strategi pemeliharaan berbasis keandalan untuk sistem CPP pada kapal AHTS guna meningkatkan keandalan operasional dan keselamatan pelayaran.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan sebagai fokus utama dalam penelitian ini:

1. Penelitian ini difokuskan pada sistem CPP AHTS sebagai objek penelitian, tanpa membahas sistem propulsi lain atau sistem bantu lainnya di kapal.
2. Analisis keandalan sistem CPP dilakukan menggunakan metode BN berdasarkan data historis kegagalan, data inspeksi, dan data operasional yang tersedia, dengan asumsi data tersebut akurat dan mewakili kondisi sebenarnya dari sistem CPP.
3. Pembahasan kegagalan dibatasi pada kegagalan fungsional dan operasional sistem CPP yang meliputi subsistem mekanik, hidraulik, kontrol, dan monitoring tanpa membahas aspek desain detail, perhitungan hidrodinamika, maupun sifat material secara mikro.
4. Model *Bayesian Network* yang digunakan bersifat statis, sehingga tidak mempertimbangkan perubahan kondisi komponen terhadap waktu, pengaruh degradasi jangka panjang, maupun kondisi lingkungan operasi yang ekstrem.
5. Rekomendasi yang dihasilkan dalam penelitian ini berupa usulan strategi pemeliharaan berbasis keandalan, yang disusun dari hasil analisis dan bersifat konseptual, tanpa membahas analisis biaya atau penerapan langsung di lapangan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat Teoritis:

1. Penelitian ini diharapkan dapat memperkaya khazanah keilmuan di bidang teknik perkapalan, khususnya dalam kajian analisis keandalan sistem propulsi kapal dengan penerapan metode BN sebagai pendekatan probabilistik yang mampu memodelkan hubungan sebab-akibat antar komponen pada sistem CPP.
2. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi dalam pengembangan model analisis keandalan berbasis *Bayesian Network* yang mampu mengintegrasikan data kegagalan, ketidakpastian operasional, serta interaksi antar subsistem CPP secara lebih komprehensif dibandingkan metode keandalan konvensional.
3. Penelitian ini dapat menjadi referensi akademik bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan keandalan, prediksi kegagalan, dan pengambilan keputusan berbasis probabilitas pada sistem propulsi kapal, khususnya pada kapal AHTS dan kapal pendukung operasi lepas pantai.

Manfaat Praktis:

1. Penelitian ini diharapkan dapat mendukung peningkatan keselamatan dan keandalan operasional kapal AHTS, terutama pada kondisi kerja kritis seperti manuver, dynamic positioning, dan operasi penarikan jangkar, dengan mengidentifikasi probabilitas kegagalan pada sistem CPP secara dini.
2. Hasil penelitian ini dapat menjadi acuan praktis bagi operator dan manajemen kapal dalam menerapkan strategi maintenance berbasis kondisi dan risiko pada sistem CPP, sehingga keputusan pemeliharaan tidak hanya bersifat reaktif tetapi juga prediktif dan terukur.
3. Model *Bayesian Network* yang dikembangkan diharapkan mampu membantu pihak manajemen kapal dalam mengurangi frekuensi kegagalan, downtime operasional, serta biaya pemeliharaan, sekaligus meningkatkan availability dan reliability sistem propulsi utama kapal, serta mendukung pemenuhan persyaratan keselamatan dan keandalan sesuai standar IMO dan badan klasifikasi kapal.

1.6 Rencana Luaran Penelitian

1. Publikasi artikel ilmiah yaitu jurnal nasional terakreditasi sinta 2.

2. Modul Analisis Keandalan Sistem *Controllable Pitch Propeller* dengan Metode *Bayesian Network*.
3. Publikasi Hak Cipta yaitu modul Analisis Keandalan Sistem *Controllable Pitch Propeller* dengan Metode *Bayesian Network*.